



**UCAM**

UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO  
Programa de Doctorado en Ciencias del Deporte

Efecto de la maduración biológica sobre las variables  
cineantropométricas y el rendimiento físico en jugadores y  
jugadoras de voleibol adolescentes

Autor:

D. Mario Demófilo Albaladejo Saura

Directores:

Dr. D. Francisco Esparza Ros

Dra. Dña. Raquel Vaquero Cristóbal

Murcia, junio de 2022





**UCAM**

UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO  
Programa de Doctorado en Ciencias del Deporte

Efecto de la maduración biológica sobre las variables  
cineantropométricas y el rendimiento físico en jugadores y  
jugadoras de voleibol adolescentes

Autor:

D. Mario Demófilo Albaladejo Saura

Directores:

Dr. D. Francisco Esparza Ros

Dra. Dña. Raquel Vaquero Cristóbal

Murcia, junio de 2022





# UCAM

UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE MURCIA

## AUTORIZACIÓN DE LOS DIRECTORES DE LA TESIS PARA SU PRESENTACIÓN

El Dr. D. Francisco Esparza Ros y la Dra. Dña. Raquel Vaquero Cristóbal como Directores de la Tesis Doctoral titulada “Efecto de la maduración biológica sobre las variables cineantropométricas y el rendimiento físico en jugadores y jugadoras de voleibol adolescentes” realizada por D. Mario Demófilo Albaladejo Saura en el Departamento de Ciencias del Deporte, **autorizan su presentación a trámite** dado que reúne las condiciones necesarias para su defensa.

Lo que firmamos, para dar cumplimiento al Real Decreto 99/2011, en Murcia a 10 de junio de 2022.

Dr. D. Francisco Esparza Ros

Dra. Dña. Raquel Vaquero Cristóbal



## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría agradecerles a mis directores todo el esfuerzo, dedicación y trabajo desde que comenzó nuestra relación académica siendo yo aún alumno interno de 4º curso de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte.

Al Dr. D. Francisco Esparza Ros, no solo por su esfuerzo en enseñarme y guiarme para ser un buen investigador y docente y por todo ese trabajo menos visible de incalculable valor sin el que tantos proyectos no saldrían adelante, sino también por aportarme incontables conocimientos a nivel personal que siempre perdurarán como “créditos de mundología” superados durante el doctorado.

A la Dra. Dña. Raquel Vaquero Cristóbal, por su profesionalidad, capacidad docente y liderazgo. Por estar siempre presente, enseñándome, ayudándome a mejorar y a ser mejor. Para mí siempre serás un ejemplo como profesional y como persona.

A los dos, mi más sincero agradecimiento por acompañarme y enseñarme lo que sé en el mundo de la investigación y la docencia.

A mi compañero, D. Adrián Mateo Orcajada, por acompañarme y ayudarme siempre que ha sido necesario durante estos dos últimos años, porque el camino es más fácil cuando es compartido.

A la UCAM por la beca de doctorado que me ha permitido dedicarme estos tres últimos años por completo a la investigación, y por el apoyo recibido en los proyectos de investigación.

A Nicolás, Malek, Aurora, Elisa y Marvin, por su inestimable ayuda durante las largas sesiones de tomas de datos.

A la Federación de Voleibol de la Región de Murcia, a los clubes participantes, a sus entrenadores y jugadores, por la oportunidad de desarrollar el presente trabajo con todos vosotros, permitiéndome aprender y conocer mejor la investigación de campo y colaborar en el avance del conocimiento científico acerca del voleibol.

A mis amigos, por animarme a seguir cuando las cosas no eran fáciles, por apoyarme desde la distancia incluso a pesar de que pudiéramos llevar meses sin vernos.

A mi familia, y en particular a mis padres, José Demófilo y María José. Es difícil expresar con palabras lo agradecido que puedo estar, por todo. Por el apoyo desde el primer instante en el que me planteaba este camino, por hacerlo posible, por estar presentes incluso cuando no sabía que lo necesitaba. La persona que soy hoy es el reflejo de vuestro esfuerzo, educación y sacrificio. Infinitas gracias.

A Gloria, por estar siempre ahí, por animarme a ser mejor, por tu ayuda y comprensión, por todo lo vivido y compartido en este camino.

A todos, muchas gracias



“Es la emoción del aprendizaje lo que separa la  
juventud de la vejez, mientras usted esté aprendiendo no  
será viejo”  
Rosalyn Yalow.



## ÍNDICE GENERAL

AUTORIZACIÓN DE LOS DIRECTORES DE LA TESIS PARA SU PRESENTACIÓN .....	5
AGRADECIMIENTOS .....	7
ÍNDICE GENERAL .....	11
SIGLAS Y ABREVIATURAS .....	17
ÍNDICE DE FIGURAS .....	19
ÍNDICE DE TABLAS .....	21
RESUMEN .....	25
ABSTRACT .....	27
I - INTRODUCCIÓN .....	29
II – JUSTIFICACIÓN .....	35
IIa – ESTUDIO 1: Métodos de estimación de la maduración biológica en deportistas en etapa de desarrollo y crecimiento: Revisión bibliográfica.....	39
1.1. – Resumen .....	41
1.2. – Introducción.....	41
1.2.1 Aproximación conceptual al término de maduración, edad cronológica, edad biológica y pico máximo de crecimiento.....	41
1.2.2. Factores asociados a la maduración .....	43
1.2.3. Influencia de la maduración biológica en el rendimiento deportivo.....	44
1.2.4. Introducción a los métodos de estimación de la maduración biológica	45
1.3. – Métodos para la evaluación de la maduración .....	45
1.3.1. Estudio de la maduración esquelética.....	45
1.3.2. Estudio de la maduración somática.....	47
1.3.3 Estudio de la maduración sexual .....	49
1.3.4. Estudio de la maduración dental .....	50
1.4. – Consideraciones en el uso de los métodos de valoración de la maduración biológica en deportistas adolescentes .....	50
1.4.1. Métodos basados en la maduración esquelética.....	54
1.4.2. Métodos basados en la maduración somática.....	56
1.4.3. Métodos basados en la maduración sexual .....	59
1.4.4. Métodos basados en radiografías dentales.....	60
1.5. – Limitaciones y futuras líneas de investigación .....	61
1.6. – Conclusiones .....	61
IIb – ESTUDIO 2: Relación entre la maduración biológica, la condición física y las variables cineantropométricas de los deportistas jóvenes: revisión sistemática con meta-análisis. ....	63
2.1. – Resumen .....	65
2.2. – Introducción.....	65

2.3. – Material y métodos .....	69
2.3.1. Estrategia de búsqueda .....	69
2.3.2. Extracción de datos y riesgo de sesgo .....	70
2.3.3. Evaluación de la calidad y del riesgo de sesgo .....	70
2.4. – Resultados .....	72
2.4.1. Búsqueda de datos y características de los estudios .....	72
2.4.2. Resultados de condición física .....	79
2.4.3. Resultados de las variables cineantropométricas .....	96
2.5. – Discusión .....	109
2.6. - Conclusiones.....	115
III - OBJETIVOS.....	117
3.1. OBJETIVO GENERAL .....	119
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	119
IV - HIPÓTESIS .....	121
4.1. HIPÓTESIS GENERAL .....	123
4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS .....	123
V – METODOS, RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	125
Va – ESTUDIO 1: El efecto de la edad, la maduración biológica y el cuartil de nacimiento en las diferencias cineantropométricas y de rendimiento físico entre los jugadores y jugadoras de voleibol adolescentes.....	129
1.1. – Resumen .....	131
1.2. – Introducción.....	132
1.3. – Material y métodos .....	134
1.3.1. Participantes.....	134
1.3.2. Procedimientos .....	135
1.3.3. Cuestionario sociodemográfico y evaluación del éxito de los jugadores .....	135
1.3.4. Mediciones antropométricas.....	136
1.3.5. Maduración biológica.....	137
1.3.6. Test de condición física.....	137
1.3.7. Análisis estadístico.....	138
1.4. – Resultados .....	139
1.4.1. Resultados del estado madurativo .....	139
1.4.2. Resultados de las variables cineantropométricas .....	142
1.4.3. Resultados de condición física .....	147
1.5. – Discusión .....	151
1.6. - Conclusiones.....	156

Vb – ESTUDIO 2: Influencia del estado madurativo en las variables cineantropométricas y de rendimiento físico en jugadoras de voleibol adolescentes .....	157
2.1. – Resumen .....	159
2.2. - Introducción.....	160
2.3. - Material y Métodos.....	162
2.3.1. Participantes.....	162
2.3.2. Procedimientos .....	162
2.3.3. Cuestionario de información sociodemográfica y deportiva.....	163
2.3.4. Evaluación de la maduración biológica .....	163
2.3.5. Evaluación cineantropométrica.....	164
2.3.6. Evaluación de la condición física .....	165
2.3.7. Análisis estadístico.....	167
2.4. – Resultados .....	168
2.4.1. Diferencias entre grupos de maduración en las variables antropométricas.....	171
2.4.2. Diferencias entre grupos de maduración en los test de condición física .....	177
2.4.3. Correlaciones y modelos de regresión .....	179
2.5. – Discusión .....	183
2.6. – Conclusiones .....	189
Vc – ESTUDIO 3: Influencia del estado de maduración biológica sobre determinadas variables antropométricas y físicas en adolescentes varones jugadores voleibol .....	191
3.1. – Resumen .....	193
3.2. – Introducción.....	194
3.3. - Material y métodos. ....	196
3.3.1. Sujetos .....	196
3.3.2. Diseño .....	196
3.3.3. Metodología .....	197
3.3.4. Análisis estadístico.....	198
3.4. – Resultados .....	199
3.5. – Discusión .....	224
3.6. – Conclusiones .....	231
Vd – ESTUDIO 4: Variables cineantropométricas y de condición física determinantes en la selección de jugadores y jugadoras adolescentes para equipos regionales que compiten en el campeonato nacional.....	233
4.1. – Resumen .....	235
4.2. – Introducción.....	236

4.3. - Material y métodos .....	237
4.3.1. Sujetos .....	237
4.3.2. Procedimientos .....	238
4.3.3. Análisis estadístico .....	240
4.4. – Resultados .....	241
4.5. – Discusión .....	248
4.6. – Conclusiones .....	253
Ve – ESTUDIO 5: ¿Qué variables permiten diferenciar a los jugadores de voleibol adolescentes más y menos exitosos? .....	255
5.1. –Resumen .....	257
5.2. – Introducción .....	258
5.3. – Material y métodos. ....	259
5.3.1. Participantes.....	259
5.3.2. Participantes.....	259
5.3.3. Medidas .....	260
5.3.4. Evaluación cineantropométrica y de la maduración biológica.....	260
5.3.5. Evaluación de la condición física .....	261
5.3.6. Diseño .....	262
5.3.7. Análisis estadístico .....	262
5.4. – Resultados .....	263
5.4.1. Maduración biológica .....	272
5.4.2. Cineantropometría .....	272
5.4.3. Test de condición física.....	272
VI – CONCLUSIONES .....	279
6.1.a – Conclusiones generales .....	281
6.2.a – Conclusiones específicas .....	281
6.1.b – General conclusions .....	283
6.2.b – Specific conclusions .....	283
VII – APLICACIONES PRÁCTICAS.....	287
VIII – REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	291
IX - ANEXOS.....	315
ANEXO I – APROBACIÓN COMITÉ DE ÉTICA.....	317
ANEXO II – CONSENTIMIENTO INFORMADO Y REVOCACIÓN DEL CONSENTIMIENTO .....	319
ANEXO III – CUESTIONARIO DE DATOS SOCIODEMOGRÁFICOS Y DEPORTIVOS.....	321
ANEXO IV – .....	323
INTRODUCCIÓN: ESTUDIO 1 .....	323
ANEXO V – INTRODUCCIÓN: ESTUDIO 2 .....	334

ANEXO VI – MÉTODOS, RESULTADOS Y DISCUSIÓN: ESTUDIO 1 .....	355
ANEXO VII – MÉTODOS, RESULTADOS Y DISCUSIÓN: ESTUDIO 2 .....	371
ANEXO VIII – MÉTODOS, RESULTADOS Y DISCUSIÓN: ESTUDIO 3.....	391





**SIGLAS Y ABREVIATURAS**

CMJ: Countermovement jump; salto con contramovimiento

CE: Coeficiente estandarizado

D.: Diámetro

DEM: Diferencia estandarizada de medias.

E: Maduradores en tiempo

EEE: Error estándar estimado

ERE: Efecto relativo de la edad

EPVC: Edad del pico de velocidad de crecimiento

GH: Growth hormone; hormona de crecimiento

IMC: Índice de masa corporal

ISAK: International Society for the Advancement in Kinanthropometry; Sociedad Internacional para el Avance de la Cineantropometría

L.: Longitud

LMI: Longitud del miembro inferior

MC: Masa corporal

MR: Jugadores con mejor rendimiento

NSCA: National Strength and Conditioning Association; Asociación Nacional de Fuerza y Acondicionamiento

Pr.: Perímetro

PR: Jugadores con peor rendimiento

PVC: Pico de velocidad de crecimiento.

SJ: Squat jump; salto en sentadilla.

Sub14: Categoría de competición para los menores de 14 años

Sub16: Categoría de competición para los menores de 16 años

T: Talla

TA: maduradores tardíos

TE: Maduradores tempranos

TS: Talla sentado



## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPITULO II - JUSTIFICACIÓN

#### **Estudio 2**

Figura S1: Funnel plot para las variables CMJ, talla y masa corporal .....	71
Figura 1. Diagrama de flujo de la búsqueda, cribado y artículos incluidos .....	73
Figura 2. Forest plot de los maduradores tempranos y tardíos para las pruebas de condición física .....	83
Figura 3. Forest plot de los maduradores tempranos y tardíos para las variables cineantropométricas.....	97



## ÍNDICE DE TABLAS

### CAPITULO II - JUSTIFICACIÓN

#### Estudio 1

Tabla 1. Métodos de estimación de la maduración mediante estudio de edad a la que se produce el pico de velocidad de crecimiento a través de variables antropométricas .....	49
Tabla 2. Resumen de las características de los principales métodos de estimación de la maduración biológica y su adecuación al campo de estudio de las ciencias del deporte .....	51

#### Estudio 2

Tabla 1. Extracción de datos de los estudios seleccionados .....	75
Tabla 2. Evaluación de la calidad de los estudios seleccionados .....	78
Tabla 3. Medias y diferencias estadísticas entre grupos de maduración en las variables de condición física y cineantropométricas.....	80
Tabla S1. Comparación entre grupos de maduración para la variable counter movement jump (CMJ).....	86
Tabla S2. Comparación entre grupos de maduración para la variable squat jump (SJ) .....	88
Tabla S3. Comparación entre grupos de maduración para la variable 20 metros sprint test.....	89
Tabla S4. Comparación entre grupos de maduración para la variable Yo-Yo test .....	90
Tabla S5. Comparación entre grupos de maduración para la variable fuerza de agarre manual.....	92
Tabla S6. Comparación entre grupos de maduración para la variable lanzamiento de balón medicinal .....	93
Tabla S7. Comparación entre grupos de maduración para la variable T-test ....	94
Tabla S8. Comparación entre grupos de maduración para la variable sit-and-reach test .....	95
Tabla S9. Comparación entre grupos de maduración para la variable talla.....	99

Tabla S10. Comparación entre grupos de maduración para la variable masa corporal.....	101
Tabla S11. Comparación entre grupos de maduración para la variable masa grasa .....	103
Tabla S12. Comparación entre grupos de maduración para la variable talla sentado.....	104
Tabla S13. Comparación entre grupos de maduración para la variable IMC ....	105
Tabla S14. Comparación entre grupos de maduración para la variable talla.....	106
Tabla S15. Comparación entre grupos de maduración para la variable masa corporal.....	107
Tabla S16. Comparación entre grupos de maduración para la variable IMC ....	108

## CAPÍTULO V - METODOS, RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### **Estudio 1**

Tabla 1. Diferencias entre grupos en las variables de maduración, cineantropometría y condición física y efectos principales de las covariables...	140
Tabla 2. Interacción entre los grupos de sexo y las covariables edad, desfase madurativo y cuartil de nacimiento .....	144
Tabla 3. Ajuste post hoc de Bonferroni para las diferentes covariables .....	148
Tabla 4. Diferencias entre hombres y mujeres en las variables de entrenamiento y selección.....	151

### **Estudio 2**

Tabla 1. Diferencias según el grupo de maduración, incluyendo los efectos principales e interacciones de la covariable edad.....	169
Tabla 2. Comparación post hoc entre grupos para las variables básicas, derivadas y de maduración.....	172
Tabla 3. Comparación post hoc entre grupos para las variables óseas y derivadas .....	173
Tabla 4. Comparación post hoc entre grupos para las variables medidas de los tejidos blandos .....	175
Tabla 5. Comparación post hoc entre grupos para las variables de composición corporal.....	176
Tabla 6. Comparación post hoc entre grupos para las variables de condición física .....	178

Tabla 7. Correlaciones entre las variables cineantropométricas y de condición física .....	180
Tabla 8. Modelos de regresión del rendimiento en las diferentes pruebas de condición física .....	183

### **Estudio 3**

Tabla 1. Datos descriptivos y diferencias según el grupo de maduración, incluyendo los efectos principales de la covariable edad y la intersección .....	200
Tabla 2. Comparación post hoc entre grupos con diferencias significativas en el análisis ANCOVA para las variables de estado de maduración y las variables cineantropométricas relacionadas con la estructura ósea .....	203
Tabla 3. Comparación post hoc entre grupos con diferencias significativas en el análisis ANCOVA para las variables cineantropométricas relacionadas con el músculo y la grasa, y las variables de composición corporal .....	205
Tabla 4. Comparación post hoc entre grupos con diferencias significativas en el análisis ANCOVA para las variables de condición física.....	207
Tabla 5. Correlaciones entre las variables antropométricas y de condición física .....	209
Tabla 6. Correlaciones entre las variables cineantropométricas relacionadas con el músculo y la grasa y las variables de condición física.....	210
Tabla 7. Modelos de regresión del rendimiento en las diferentes pruebas de condición física .....	211
Tabla 8. Correlaciones entre las variables antropométricas y de condición física en el grupo de 12 años .....	214
Tabla 9. Correlaciones entre las variables antropométricas y de condición física en el grupo de 13 años .....	215
Tabla 10. Correlaciones entre las variables antropométricas y de condición física en el grupo de 14 años.....	217
Tabla 11. Correlaciones entre las variables antropométricas y de condición física en el grupo de 15 años.....	218
Tabla 12. Modelos de regresión del rendimiento en las diferentes pruebas de condición física en el grupo de 12 años.....	220
Tabla 13. Modelos de regresión del rendimiento en las diferentes pruebas de condición física en el grupo de 13 años.....	221

Tabla 14. Modelos de regresión del rendimiento en las diferentes pruebas de condición física en el grupo de 14 años.....222

Tabla 15. Modelos de regresión del rendimiento en las diferentes pruebas de condición física en el grupo de 15 años.....223

#### **Estudio 4**

Tabla 1. Odds ratio de ser seleccionado para la competición nacional en relación con las variables cineantropométricas y de condición física.....242

Tabla 2. Odds ratio de ser seleccionado para la competición nacional en relación con las variables cineantropométricas y de condición física en el grupo masculino .....245

Tabla 3. Odds ratio de ser seleccionado para la competición nacional en relación con las variables cineantropométricas y de condición física en el grupo femenino .....247

#### **Estudio 5**

Tabla 1. Análisis descriptivo y comparación entre los jugadores masculinos Sub14 de MR y PR.....264

Tabla 2. Análisis descriptivo y comparación entre los jugadores masculinos Sub16 de MR y PR.....266

Tabla 3. Análisis descriptivo y comparación entre las jugadoras Sub14 de MR y PR .....268

Tabla 4. Análisis descriptivo y comparación entre las jugadoras Sub16 de MR y PR .....270



## RESUMEN

En los últimos años ha existido un gran interés en confeccionar programas de identificación de talentos entre los deportistas adolescentes. Es por ello, que desde las ciencias del deporte se ha buscado determinar cuáles son las variables que permitieran seleccionar y realizar el seguimiento de los jóvenes deportistas desde sus etapas de formación hasta llegar a convertirse en profesionales. Tradicionalmente, estos programas de identificación de talentos deportivos han basado sus criterios en las variables antropométricas y de condición física, debido a la relación directa que estas variables han mostrado con el rendimiento deportivo. Sin embargo, la caracterización de los requerimientos antropométricos y físicos de los deportistas de élite no siempre resulta extrapolable a los deportistas adolescentes en formación. En este sentido, se ha observado que la maduración biológica afecta de forma determinante a las variables antropométricas y de condición física, mostrando los sujetos más maduros mayores valores en las variables antropométricas y un mejor rendimiento en los test de condición física. Sin embargo, el estudio de la maduración biológica en relación al rendimiento y la identificación de talentos solo se ha incluido en los últimos años. El voleibol es un deporte en el que, debido al reglamento y las especificaciones propias, las características antropométricas y físicas de los jugadores tienen un papel crucial en el desempeño deportivo. A pesar de esto, hasta la fecha, la relación entre la maduración biológica, las variables antropométricas, la condición física y el rendimiento deportivo ha sido poco estudiada en población adolescente masculina y femenina.

Por todo lo anterior, los objetivos de la presente tesis doctoral fueron 1) analizar el efecto de los distintos ritmos de maduración biológica sobre las variables antropométricas y de rendimiento físico en jugadores y jugadoras de voleibol de 12 a 16 años de edad y sus implicaciones para el rendimiento en el deporte; 2) identificar las diferencias en cuanto a las variables cineantropométricas y de rendimiento físico entre jugadores y jugadoras de voleibol adolescentes en torno al pico de crecimiento, y analizar el efecto de la edad, la maduración biológica y el cuartil de nacimiento sobre ellas; 3) establecer la relación entre los estadios madurativos y las variables cineantropométricas y de condición física en jugadores y jugadoras de voleibol; 4) determinar cuáles son las variables antropométricas, físicas o madurativas clave en la selección de jugadores de voleibol a nivel regional en una muestra adolescente masculina y femenina; 5) establecer las diferencias entre los jugadores más y menos determinantes dentro de los equipos en función de las características cineantropométricas y de condición física.

Para ello se diseñó un estudio de corte transversal, en el que participaron un total de 200 jugadoras y jugadores de voleibol (152 jugadoras, edad=14,16±1,25 años; 48 jugadores, edad=14,17±0,73 años) en alguno de los cinco estudios que componen el compendio de publicaciones de la presente tesis, a los que se les realizó una valoración antropométrica, incluyendo la masa corporal, talla, talla sentado, envergadura, pliegues cutáneos, diámetros, circunferencias, longitudes y variables derivadas como la composición corporal, el somatotipo, perímetros corregidos y variables de proporcionalidad ósea; una evaluación de la condición física, incluyendo variables de flexibilidad de miembro superior e inferior (sit-and-reach, back scratch test), potencia de las extremidades inferior y superior (salto de longitud, salto con contramovimiento, Inzamiento de balón medicinal), velocidad (sprint de 20 metros) y agilidad (test de cambios de dirección). Se registró el rendimiento específico en voleibol mediante una clasificación resultante de la combinación de dos factores (la importancia del jugador/jugadora en el rendimiento del equipo, cumplimentada por el entrenador en base a unos criterios previamente establecidos en base a publicaciones anteriores, y la posición del equipo en la liga), y haber pertenecido a la selección autonómica para competir en el campeonato nacional la temporada anterior al registro de los datos. Todos los participantes en la presente tesis fueron informados previamente de los protocolos del estudio y se obtuvo el consentimiento informado firmado por sus padres, madres o tutores legales antes del comienzo del mismo.

A través de los estudios que componen la presente tesis doctoral se ha podido observar que existe una influencia de los distintos ritmos madurativos en las variables cineantropométricas y de condición física estudiadas en una población masculina y femenina de jugadores de voleibol. Se ha observado que aquellos deportistas, tanto chicos como chicas, cuyo proceso de maduración se encontraba más avanzado mostraron mayores valores en las variables antropométricas analizadas, así como un mejor rendimiento en las pruebas de condición física que se llevaron a cabo. Debido a la relación entre el rendimiento deportivo y estas variables analizadas, cuando lo que se pretende es buscar el rendimiento inmediato en categorías de formación aquellos jugadores y jugadoras con una maduración temprana pueden tener ventaja respecto a sus compañeros. Por otro lado, cuando se analizaron las variables más determinantes en éxito de los jugadores, la edad cronológica, la maduración biológica, las variables óseas y musculares y la capacidad de producir fuerza y potencia musculares con el tren superior e inferior se mostraron como la clave de los modelos predictivos.

**Palabras clave:** crecimiento, deportes de equipo, antropometría, maduración, rendimiento físico.

## ABSTRACT

In recent years there has been great interest in developing talent identification programs among adolescent athletes. For this reason, the sports sciences have sought to determine which are the variables that would allow the selection and follow-up of young athletes from their initial stages until they become professionals. Traditionally, these sports talent identification programs have based their criteria on anthropometric and physical condition variables, due to the direct relationship that these variables have shown with sports performance. However, the characterization of the anthropometric and physical requirements of elite athletes is not always extrapolable to adolescent athletes in growing periods. In this sense, it has been observed that biological maturation has a determining effect on anthropometric and physical condition variables, with more mature subjects showing higher values in anthropometric variables and better performance in physical condition tests. However, the study of biological maturation in relation to performance and talent identification has only been included in recent years. Volleyball is a sport in which, due to its rules and specifications, the anthropometric and physical characteristics of the players play a crucial role in sports performance. Despite this, to date, the relationship between biological maturation, anthropometric variables, physical condition and sports performance has been little studied in the male and female adolescent population.

Therefore, the objectives of this doctoral thesis were 1) to analyze the effect of different rhythms of biological maturation on anthropometric and physical performance variables in volleyball players aged 12 to 16 years and their implications for performance in sport; 2) to identify the differences in terms of kinanthropometric and physical performance variables between adolescent volleyball players around the growth spurt, and to analyze the effect of age, biological maturation and birth quartile on them; 3) to establish the relationship between maturational stages and kinanthropometric and physical fitness variables in male and female volleyball players; 4) to determine which are the key anthropometric, physical or maturational variables in the selection of volleyball players at the regional level in an adolescent male and female sample; 5) to establish the differences between the most and least determinant players within teams according to kinanthropometric and physical fitness characteristics.

For this purpose, a cross-sectional study was designed, in which a total of 200 volleyball players participated (152 female players, age=14.16±1.25 years old, 48 male players, age=14.17±0.73 years old); in the five studies that make up the compendium of publications of this thesis, who underwent an anthropometric assessment, including body mass, height, sitting height, arm span, skinfolds,

breadths, girths, lengths and derived variables such as body composition, somatotype, corrected girths and bone proportionality variables; an evaluation of physical condition, including variables of upper and lower limb flexibility (sit-and-reach, back scratch test), lower and upper limb power (long jump, countermovement jump, medicine ball throw), speed (20-meter sprint) and agility (change of direction test). Specific volleyball performance was recorded by means of a classification resulting from the combination of two factors (the importance of the player in the team's performance, completed by the coach based on criteria previously established on the basis of previous publications, and the team's position in the league), and having belonged to the region's national team to compete in the national championship the season prior to the recording of the data.

Through the studies that make up this doctoral thesis it has been possible to observe that there is an influence of the different maturational rhythms in the kinanthropometric and physical condition variables studied in a male and female population of volleyball players. It has been observed that those athletes, both boys and girls, whose maturation process was more advanced showed higher values in the anthropometric variables analyzed, as well as better performance in the physical condition tests carried out. Due to the relationship between sports performance and these variables analyzed, when the aim is to seek immediate performance in training categories, those players with early maturation may have an advantage over their peers. On the other hand, when analyzing the most determinant variables in the success of the players, chronological age, biological maturation, bone and muscle variables and the capacity to produce muscular strength and power with the upper and lower limbs were shown to be the key to the predictive models.

**Key words:** growth, team sports, anthropometry, maturation, physical performance.

# **I - INTRODUCCIÓN**



## I - INTRODUCCIÓN

La preocupación por el rendimiento deportivo siempre ha estado presente en el deporte, siendo el principal objetivo perseguido por el entrenamiento orientado a la competición, animando a los deportistas de todas las edades a buscar ser más rápidos, a llegar más alto y a ser más fuertes (Faigenbaum et al., 2016; Myer et al., 2011). Esta importancia del rendimiento ha llevado a los clubes profesionales de distintos deportes de equipo a realizar una búsqueda y creación de modelos que permitieran la identificación de talentos entre los niños y adolescentes que forman parte de las escuelas deportivas (Hertzog et al., 2018; Peña-González et al., 2018; Pion et al., 2015).

Se puede entender por talento en el ámbito deportivo, la exitosa respuesta a las demandas específicas del rendimiento propio del deporte (Pion et al., 2015). La identificación temprana de jóvenes talentos trae aparejados ciertos beneficios para los clubes que la implementan, como son una temprana especialización en las habilidades y capacidades propias del deporte, la incorporación de los jugadores jóvenes al primer equipo o la seguridad económica a largo plazo (Hertzog et al., 2018; Peña-González et al., 2018; Pion et al., 2015).

Para la confección de estos programas de identificación de talentos se han tenido en cuenta tradicionalmente distintos factores. La cineantropometría y las variables derivadas, como la composición corporal, el somatotipo o la proporcionalidad, se han erigido como un factor capital a la hora de identificar los perfiles típicos de deportistas de distintas disciplinas. Siguiendo esta línea, se ha buscado que los perfiles de los jóvenes deportistas se aproximen a los valores descritos para los deportistas profesionales de cada disciplina. Por este motivo, las variables cineantropométricas han sido incluidas en las investigaciones recientes como parte de los estudios que aspiran a predecir el futuro rendimiento de los deportistas jóvenes (Albaladejo-Saura et al., 2021; Johnston et al., 2018). A pesar de la relevancia demostrada de la cineantropometría como método para monitorizar el progreso en el rendimiento de los deportistas, son muchos los autores que advierten de que estas variables, por si solas, no son capaces de

diferenciar a los deportistas jóvenes en función de su nivel competitivo, por lo que se estima necesario seguir investigando en este campo (Gil et al., 2007; Till et al., 2013). Por otro lado, las variables de condición física también suelen ser un denominador común en la detección de talentos deportivos (Johnston et al., 2018). En las disciplinas deportivas, tanto individuales como en deportes de equipo, el rendimiento depende en gran medida de la capacidad de los deportistas de producir fuerza y potencia con las extremidades superiores, de la velocidad, de la agilidad o de distintas manifestaciones de resistencia, variables que han sido identificadas como determinantes para poder identificar a los jóvenes talentos deportivos (Johnston et al., 2018).

Además de la relación existente con el estudio del rendimiento físico en multitud de deportes, la cineantropometría ha estado estrechamente ligada al estudio de la maduración biológica en niños y adolescentes (Mirwald et al., 2002; Sandhu et al., 2005). Se ha observado una relación positiva entre la presencia de tejido adiposo abundante, sobrepeso u obesidad en la etapa prepuberal, con una maduración biológica y finalización del crecimiento más temprana, así como una mayor tendencia a sufrir obesidad en la adolescencia y adultez (Holmgren et al., 2017; Sandhu et al., 2005). Sin embargo este hecho no es igual en chicos y en chicas, pues investigaciones recientes han observado que mientras que en las chicas si se cumple de forma habitual, los chicos con sobrepeso u obesidad tienden a entrar más tarde en el periodo pubescente (Reinehr et al., 2017). Estas investigaciones aportan mucha información sobre parámetros de salud, pero son pocos los autores que incluyen el análisis del estado madurativo de los adolescentes como parte de un programa para predecir el posible rendimiento futuro de los deportistas adolescentes (Johnston et al., 2018).

Debido a esta falta de conocimiento sobre la influencia de la maduración biológica en el deporte, tradicionalmente se ha clasificado a los deportistas por grupos de edad, sin atender a la maduración biológica del sujeto (Meylan et al., 2010; Rommers et al., 2019). Esto ha provocado que aquellos adolescentes que experimentan una maduración temprana lleguen con mayor facilidad a ser seleccionados para formar parte de programas deportivos de alto nivel, ya que algunas de las características que influyen en el rendimiento muestran su pico de desarrollo durante la adolescencia (Pearson et al., 2006; Philippaerts et al., 2006; Rommers et al., 2019). Capacidades muy usadas en los programas de detección de



talento, como la velocidad, la agilidad y la coordinación general o las variables antropométricas, han demostrado verse influenciadas en gran medida por los ritmos de maduración del sujeto, favoreciendo a aquellos que se desarrollan antes (Rommers et al., 2019).

A día de hoy la investigación sobre las variables que pueden estar relacionadas con el rendimiento en jóvenes deportistas es un tema que despierta el interés de numerosos autores, habiéndose realizado estudios sobre la relación existente entre el rendimiento físico general, la cineantropometría y en menor medida la maduración biológica de los individuos, y el rendimiento físico propio del deporte, en distintas disciplinas deportivas como el fútbol, rugby, piragüismo, baloncesto o deportes gimnásticos (Hertzog et al., 2018; Johnston et al., 2018; López-Plaza et al., 2017b). A pesar de este interés, destaca el desconocimiento sobre las variables que determinan el rendimiento en muchos de los deportes, pues la mayoría de los estudios publicados se centran en el fútbol, rugby y deportes gimnásticos (Johnston et al., 2018). También existe un gran número de estudios publicados que no abordan las variables mencionadas anteriormente de forma conjunta, encontrando pocos que incidan en la relación entre la maduración biológica, la cineantropometría, el rendimiento físico general (Johnston et al., 2018).

La mayoría de estos estudios han sido realizados en población masculina, existiendo mucha menor evidencia sobre la influencia de los procesos madurativos sobre el rendimiento y las variables asociadas en población femenina (Johnston et al., 2018; López-Plaza et al., 2017b; Peña-González et al., 2018; Rommers et al., 2019). Dado que el nivel alcanzado por las mujeres en el deporte cada vez es mayor y se está alcanzando un nivel de profesionalización del deporte similar en ambos sexos, es necesario incluirlas también en estos modelos de predicción del rendimiento deportivo.

Debido a la ausencia de literatura científica que trate la relación entre el rendimiento, las variables antropométricas, la condición física y la maduración en poblaciones de ambos sexos en un deporte como el voleibol, en la presente tesis doctoral se abordará el efecto de los distintos ritmos de maduración biológica sobre las posibles diferencias en las variables antropométricas y de rendimiento físico en jugadores y jugadoras de voleibol de 12 a 16 años de edad, analizando cómo estas variables afectan al rendimiento y tratando de identificar las variables

clave para la identificación de talentos deportivos en voleibol, tanto en población masculina como femenina.

## **II – JUSTIFICACIÓN**



## II - JUSTIFICACIÓN

La justificación de la presente tesis se encuentra compuesta por dos artículos de revisión publicados en revistas con revisión por pares. Las referencias de los mencionados artículos se encuentran a continuación:

### **Artículo 1**

Albaladejo-Saura, M., Vaquero-Cristóbal, R., Esparza-Ros, F. (2022). Métodos de estimación de la maduración biológica en deportistas en etapa de desarrollo y crecimiento: Revisión bibliográfica. *Cultura, Ciencia y Deporte*, 17(53), 55-75.

### **Artículo 2**

Albaladejo-Saura, M., Vaquero-Cristóbal, R., González-Gálvez, N., & Esparza-Ros, F. (2021). Relationship between Biological Maturation, Physical Fitness, and Kinanthropometric Variables of Young Athletes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(1), 328 doi:10.3390/ijerph18010328.



**IIa – ESTUDIO 1: Métodos de estimación de la maduración biológica en deportistas en etapa de desarrollo y crecimiento: Revisión bibliográfica**





## II- ESTUDIO 1

### MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE LA MADURACIÓN BIOLÓGICA EN DEPORTISTAS EN ETAPA DE DESARROLLO Y CRECIMIENTO: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

#### 1.1. – Resumen

Los indicadores relacionados con la maduración biológica han sido estudiados desde hace décadas. Los cambios que produce la maduración afectan de forma trascendental al rendimiento de los jóvenes deportistas. El objetivo de esta revisión bibliográfica fue analizar los métodos de estimación de la maduración biológica más empleados en ciencias del deporte. Se han identificado cuatro métodos principales que abordan indicadores de la maduración biológica distintos: los métodos radiográficos, que estiman la edad biológica a través del desarrollo óseo; métodos antropométricos, que estiman el ritmo de la maduración biológica a través de cambios en la velocidad de crecimiento y la proporcionalidad; métodos de maduración sexual, basados en la manifestación de los caracteres sexuales masculinos y femeninos; y métodos de maduración dental, que estiman la edad biológica a través del desarrollo dental. El “gold standard” para estimar el estado madurativo son los métodos basados en radiografía de la mano y muñeca, sin embargo, sus limitaciones hacen que su empleo en la valoración de deportistas jóvenes se encuentre condicionado. Una alternativa muy utilizada son las antropométricas, que aunque no están exentas de limitaciones, han mostrado tener suficiente fiabilidad y validez. La maduración sexual o dental parecen no ser tan aplicables en este ámbito.

#### 1.2. – Introducción

##### **1.2.1 Aproximación conceptual al término de maduración, edad cronológica, edad biológica y pico máximo de crecimiento**

La maduración, en relación al crecimiento humano, se refiere al tiempo y al proceso de cambio desde la niñez hasta alcanzar el estado madurativo adulto (Malina & Bouchard, 1991). Estos procesos han sido ampliamente estudiados en sus diferentes etapas, pero tradicionalmente se ha prestado especial atención a los cambios endocrinos, estructurales, fisiológicos y psicológicos que se producen

durante la adolescencia, debido a la rapidez con la que estos se suceden en torno a la pubertad (Malina & Bouchard, 1991).

Tanto en el caso de los chicos como de las chicas, el inicio de la pubertad se asocia a un aumento de la actividad de las glándulas sexuales, adrenales y tiroidea, que se traduce en un aumento de la producción de las hormonas que catalizan los cambios puberales (Beunen et al., 2006). Más concretamente, en el caso de los chicos, se produce un aumento drástico en la concentración de la testosterona, llegando a ser 30 veces superior a los valores de etapas anteriores, lo que favorece el desarrollo de los caracteres sexuales, así como el aumento de la estructura ósea, influenciada por la hormona de crecimiento (GH), la masa corporal y la masa muscular mayoritariamente (Handelsman et al., 2018; Malina & Bouchard, 1991). En cambio, el inicio de la pubertad en las chicas se asocia un aumento en las concentraciones de estrógenos, que a su vez se encuentran estrechamente relacionados con el tejido adiposo presente antes del comienzo de esta etapa y con la distribución de este en etapas posteriores, además de influir en el desarrollo de los caracteres sexuales femeninos (Biro et al., 2014; Garnett et al., 2004).

Sin embargo, existen diferencias entre sexos, habiéndose identificado el inicio de la etapa prepuberal entre los 8,2-10,3 años en las chicas, mientras que en los chicos se encontró entre los 10,3 y los 12,1 años, observándose la edad a la que se produce el pico de crecimiento (EPVC) a los 11,4-12,2 y 13,8-14,4 años respectivamente (Beunen & Malina, 1988; Beunen et al., 2006; Malina & Bouchard, 1991). La EPVC ha sido definida como la edad a la que se produce un aumento drástico del ritmo de crecimiento en cuanto a la talla y la masa corporal de los adolescentes (Malina & Bouchard, 1991). Esta se caracteriza por un aumento de la talla a un ritmo aproximado de 9 cm/año y 10,3 cm/año, y un aumento de la masa corporal de 8,3 Kg/año y 9 Kg/año en niñas y niños respectivamente (Kelch & Beitins, 1994; Tanner, 1990).

Tanto la maduración, como el crecimiento y el desarrollo suelen ser comparados con la edad cronológica del individuo, entendida como el tiempo transcurrido desde el nacimiento hasta un día concreto (Lloyd et al., 2014), ya que no todos los individuos con la misma edad cronológica manifiestan los cambios asociados a la maduración de forma simultánea, existiendo evidencias de los diferentes ritmos de maduración entre individuos (Marshall & Tanner, 1968, 1969,

1970) Por otro lado, la edad biológica ha sido definida como la edad correspondiente al desarrollo de los cambios marcados por el desarrollo de la maduración biológica (Malina & Bouchard, 1991), pudiendo dar lugar a diferencias entre la edad cronológica y la edad biológica. Es el desfase entre la edad biológica y la edad cronológica lo que da lugar a los diferentes ritmos de maduración.

### **1.2.2. Factores asociados a la maduración**

Y es que estos procesos de maduración biológica y los indicadores que se manifiestan durante su desarrollo han demostrado tener un alto nivel de dependencia respecto a la genética (Thomis & Towne, 2006), pero también existen factores que pueden favorecer variaciones en el tiempo en el que se produce la maduración (Beunen et al., 2006). La nutrición es uno de los factores que puede afectar al ritmo de la maduración, habiéndose observado que una adecuada nutrición no tiene grandes efectos sobre el proceso madurativo, pero que la desnutrición si puede retrasar el desarrollo esquelético de los adolescentes (Malina & Bouchard, 1991). Otro factor que podría modificar el ritmo de la maduración es la cantidad de tejido adiposo presente antes de la etapa puberal, ya que se ha observado una relación entre el sobrepeso y la obesidad con un inicio más temprano de la maduración, siendo esta relación más marcada en las chicas (Beunen et al., 2006).

Hay más debate sobre la influencia de la práctica sistemática de ejercicio físico como modificador del ritmo de maduración. En este sentido, mientras que por un lado se ha observado como las atletas femeninas de élite de disciplinas estéticas suelen mostrar un proceso madurativo más tardío, lo que podría estar asociado a los bajos niveles de tejido adiposo y a la baja disponibilidad de energía durante largos periodos de tiempo (Beunen & Malina, 1996), la mayoría de los autores concluyen que no existe evidencia de que la práctica sistemática y continuada de ejercicio físico tenga un efecto relevante sobre el ritmo de maduración de los niños y adolescentes (Beunen & Malina, 1996).

### 1.2.3. Influencia de la maduración biológica en el rendimiento deportivo

En ciencias del deporte, el estudio de la maduración biológica en relación con el rendimiento deportivo ha sido un tema que ha despertado el interés tanto de los entrenadores como de la comunidad científica durante décadas, debido a la influencia que ésta tiene sobre variables directamente relacionadas con el rendimiento (Albaladejo-Saura et al., 2021).

En las distintas modalidades deportivas, cuando se trata de etapas de formación, se ha agrupado a los deportistas de acuerdo con su edad cronológica para tratar de confeccionar un proceso de formación estándar y un sistema de competición que resulte equitativo para sus participantes (Gutiérrez-Díaz del Campo, 2013). A pesar de esto, las diferencias en el ritmo de maduración individual hacen que se haya observado en distintas disciplinas deportivas, individuales y colectivas, como en fútbol, baloncesto, voleibol, balonmano, piragüismo o tenis, que los deportistas más maduros presentan mayores valores en variables antropométricas como la talla, la masa corporal y las variables relacionadas con la estructura ósea y la masa muscular, así como mejores resultados en variables de rendimiento físico como la fuerza y la potencia del tren superior e inferior, la velocidad de desplazamiento o la agilidad (Albaladejo-Saura et al., 2022a, 2022b; Albaladejo-Saura et al., 2021; Carvalho et al., 2017; Matthys et al., 2012; Söğüt et al., 2019).

Estas diferencias ocasionadas por los distintos ritmos de maduración han demostrado ocasionar una ventaja en las competiciones y procesos de selección que ocurren durante la etapa adolescente para los deportistas más maduros respecto a sus pares de la misma categoría de edad, aunque estas diferencias tiendan a igualarse hacia el final del proceso madurativo (Dugdale, McRobert, et al., 2021b; Dugdale, Sanders, et al., 2021; Vaeyens et al., 2008). Es por ello que cada vez más programas de identificación de talento deportivo abogan por la inclusión de variables de maduración biológica, como la EPVC o el desfase madurativo respecto a la edad cronológica, como parte de las características a evaluar en los deportistas (Johnston et al., 2018), aunque no existe consenso sobre qué método utilizar para su evaluación.

#### **1.2.4. Introducción a los métodos de estimación de la maduración biológica**

Debido a este interés en conocer las diferencias en la maduración biológica, se han desarrollado numerosos métodos con el objetivo de estimar el desfase madurativo biológica respecto a la edad cronológica o identificar el estadio madurativo en el que se encuentra el individuo (Malina et al., 2015). Dentro de los métodos más empleados, se encuentran aquellos basados en el desarrollo de los caracteres sexuales secundarios, dando lugar a clasificaciones en función del estadio de maduración sexual (Marshall & Tanner, 1969, 1970); los basados en el desarrollo esquelético durante la niñez y adolescencia, para establecer una clasificación de la edad esquelética (Greulich & Pyle, 1959; Tanner et al., 1975); aquellos que emplean medidas antropométricas para estimar la EPVC como medida de la maduración somática (Mirwald et al., 2002; Moore et al., 2015); o el estudio de la maduración dental para evaluar el estadio en el que se encuentra el individuo (Demirjian & Goldstein, 1976; Demirjian et al., 1973).

Como consecuencia de esto, existe un extenso debate acerca de la idoneidad de los distintos métodos para estimar la maduración biológica en el campo de estudio de las ciencias del deporte. Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación es realizar una revisión bibliográfica sobre los métodos de estimación de la maduración biológica más empleados en ciencias del deporte.

### **1.3. – Métodos para la evaluación de la maduración**

Para realizar una evaluación de la maduración biológica se puede atender a distintos indicadores que experimentan cambios en el transcurso de ésta. Dentro de los indicadores más comúnmente utilizados en ciencias del deporte se encuentran la maduración esquelética, evaluada por medio de métodos radiográficos; la maduración somática (basada en la velocidad del crecimiento), evaluada por medio de métodos antropométricos; la maduración sexual, evaluada por medio de métodos de desarrollo de caracteres sexuales secundarios; y la maduración dental, evaluada a través de radiografías dentales.

#### **1.3.1. Estudio de la maduración esquelética**

La valoración de la edad esquelética es uno de los indicadores más empleados como estudio de la maduración biológica. Estos métodos se basan en

la realización de radiografías de puntos óseos considerados de interés y la comparación de estas radiografías con modelos de referencia preestablecidos, rigiéndose por el principio de la progresiva calcificación de las epífisis de los huesos estudiados con el transcurso de la maduración (Greulich & Pyle, 1959; Roche et al., 1988; Tanner et al., 1975).

En este sentido, existen tres modelos que han sido los más utilizados a lo largo de los años:

- 1) *Greulich & Pyle method*: El método descrito por Greulich y Pyle (1959) es un método basado en un atlas de imágenes de referencia estandarizadas, tomadas en una población de niños y niñas caucásicos, en diferentes etapas de maduración desde el nacimiento hasta el desarrollo esquelético adulto, separadas entre sí en periodos de tiempo de un año o medio año. Este método implica la radiografía de la mano y muñeca izquierdas del individuo, para posteriormente ser comparada con las imágenes de referencia para determinar la edad esquelética que le corresponde. De este modo, si la radiografía tomada coincide con una de edad esquelética superior a la edad cronológica del individuo, será categorizado como madurador temprano, mientras que, si coincide con una de edad cronológica inferior, será categorizado como madurador tardío. Este método sigue siendo utilizado de acuerdo al protocolo descrito originalmente, y fue validado en una población de niños americanos caucásicos (Greulich & Pyle, 1959).
- 2) *Tanner-Whitehouse 1, 2 & 3*: El método propuesto por Tanner & Whitehouse (1975) está basado en la valoración mediante radiografía de la mano y la muñeca izquierdas, y la categorización de 13 o 20 huesos en diferentes regiones de interés, para posteriormente aplicar una serie de criterios relativos a la descripción y forma de los huesos analizados. Finalmente se obtiene un valor de edad esquelética, resultante de las valoraciones de la maduración de cada hueso de forma individual, que posteriormente es comparado a la edad cronológica del individuo valorado. De este modo, si el resultado de la edad esquelética es mayor a la edad cronológica del individuo, será clasificado como madurador temprano, mientras que si es menor será clasificado como madurador tardío. Este método, que ha sido revisado en tres ocasiones (TW1, TW2 y TW3), ha sido validado en una población de niños de origen británico

(TW1 y TW2) y en poblaciones europeas, sudamericanas, norteamericanas y japonesas (Tanner et al., 1975; Tanner et al., 2001).

- 3) *Fels study protocol*: Este método propuesto por Roche et al. (1988) se basa en la radiografía de mano y muñeca izquierdas, proponiendo indicadores de referencia en los huesos cúbito, radio, carpo, metacarpo y falanges del primer y quinto dedo. En este método se atribuye una graduación a cada hueso de acuerdo con la edad y el sexo de los participantes, incluyendo ratios entre la longitud y la anchura de los huesos largos y la osificación de los huesos medidos. Estos valores se utilizan para estimar la edad esquelética de cada individuo, para posteriormente, al ser comparada con la edad cronológica, clasificar a los individuos como maduradores tempranos o tardíos. Este método sigue siendo utilizado de acuerdo al protocolo descrito originalmente, y fue validado en una población de niños americanos caucásicos a los que se les realizó un seguimiento longitudinal de distintos indicadores madurativos (Roche et al., 1988).

### 1.3.2. Estudio de la maduración somática

Otro de los indicadores más empleados para valorar la maduración biológica es el estudio de la maduración somática. Esta se basa en la identificación del pico de velocidad de crecimiento (PVC) resultante del aumento en la concentración de GH, hormona tiroides y andrógenos y los cambios que provocan en la talla, el peso y la proporcionalidad de los distintos segmentos corporales (Malina & Bouchard, 1991). Estos métodos se caracterizan por la posibilidad de observar de forma directa el inicio del PVC en estudios longitudinales, caracterizado por un crecimiento de aproximadamente 9 cm/año en las chicas y de 10,3 cm/año en los chicos, mediante la realización de medidas antropométricas de forma continuada y su comparación con valores de referencia (Kelch & Beitins, 1994). Sin embargo, en los casos en los que los diseños transversales imposibiliten la toma de medidas repetidas existe la posibilidad de estimar la EPVC mediante medidas antropométricas, introducidas posteriormente en fórmulas de regresión. Dentro de los métodos de estimación mediante medidas antropométricas, los más empleados son:

- 1) *Método de Mirwald et al.*: El método propuesto por Mirwald et al. (2002) está basado en las diferentes ratios de crecimiento existentes entre la talla tronco-encefálica y la longitud del miembro inferior, así como el efecto que tiene este crecimiento sobre la talla total del individuo y la masa corporal entorno al PVC. De este modo, se crearon dos ecuaciones diferenciadas por sexos en las que se introducen como variables para el cálculo la edad cronológica, la masa corporal, la talla y la talla sentado del individuo y la longitud del miembro inferior. Estas fórmulas dan como resultado el desfase de la maduración biológica, que restado a la edad cronológica aporta la estimación de la EPVC. Las ecuaciones de predicción fueron desarrolladas en la población incluida en el estudio Saskatchewan Pediatric Bone Mineral Accrual Study (113 chicos y 115 chicas) (Mirwald et al., 2002).
- 2) *Método de Moore et al.*: El método propuesto por Moore et al. (2015) se basa en los mismos principios que identifican el cambio de velocidad en el ritmo de crecimiento de los adolescentes, mediante el estudio de la proporcionalidad entre el tronco y el miembro inferior, para crear ecuaciones de regresión para la estimación del EPVC. En él se proponen dos fórmulas diferenciadas por sexos, en las que se incluyen como variables independientes la edad y la talla sentado en el caso de los chicos y la edad y la talla en el caso de las chicas, para estimar desfase de la maduración biológica y posteriormente el EPVC. La validez de las fórmulas fue comparada con las poblaciones de dos estudios externos, el Harpenden Growth Study (419 chicos y 282 chicas británicos) y el HBS-III study (515 chicos y 556 chicas canadienses) (Moore et al., 2015).

Se pueden observar las fórmulas resultantes de cada método en la tabla 1.



Tabla 1. Métodos de estimación de la maduración mediante estudio de edad a la que se produce el pico de velocidad de crecimiento a través de variables antropométricas

Autores	Fórmula (desfase madurativo)	Indicador de validez	Población de validación
Mirwald et al. (2002)	Chicos= $-9,232+0,0002708*(LMI*TS)-0,001663*(Edad*LMI)+0,007216*(Edad*TS)+0,02292*(MC/T)$	R <sup>2</sup> =0,891 EEE=0,59 2	228 participantes del estudio Saskatchewan Pediatric Bone Mineral Accrual Study (113 chicos; 115 chicas)
	Chicas= $-9,37+0,0001882*(LMI*TS)-0,0022*(Edad*LMI)+0,005841*(Edad*TS)-0,002658*(Edad*MC)+0,07693*(MC/T)$	R <sup>2</sup> =0,890 EEE=0,56 9	1071 participantes del estudio HBS-III (515 chicos; 556 chicas)
Moore et al. (2015)	Chicos= $-8,128741+(0,0070346*(Edad*TS))$ Chicas= $-7,709133+(0,0042232*(Edad*T))$	R <sup>2</sup> =0,906 EEE=0,51 4 R <sup>2</sup> =0,898 EEE=0,52 8	1071 participantes del estudio HBS-III (515 chicos; 556 chicas)

LMI: Longitud del miembro inferior; TS: Talla sentado; T: Talla; MC: Masa corporal; EEE: Error estándar estimado.

### 1.3.3 Estudio de la maduración sexual

La evaluación de la maduración sexual como indicativo de la maduración biológica se basa en el paulatino desarrollo de los caracteres sexuales secundarios masculinos y femeninos que se inician con el aumento de las hormonas sexuales que se producen durante la etapa prepuberal (Marshall & Tanner, 1969, 1970).

Dentro del estudio de la maduración sexual, el más empleado es el propuesto por Marshall y Tanner (1969, 1970). En él se confeccionó una clasificación de cinco estadios basándose en dos escalas para cada sexo, centradas en el desarrollo de vello púbico tanto en los chicos como en las chicas, el desarrollo genital en el caso de los chicos y el desarrollo del tejido mamario en el caso de las chicas, contando con imágenes y descripción de cada uno de los estadios y las escalas propuestas. Esta metodología se ha propuesto para ser desarrollada durante un examen físico o para ser autocumplimentada por los sujetos (Marshall & Tanner, 1969, 1970).

### 1.3.4. Estudio de la maduración dental

El estudio de la maduración dental también ha sido considerado como un indicador de la maduración biológica debido a los diferentes estadios por los que pasa el desarrollo de los dientes definitivos desde su calcificación, marcando el inicio de la maduración, hasta que el extremo apical del canal radicular dental está completamente cerrado, marcando el final (Demirjian & Goldstein, 1976; Demirjian et al., 1973).

En este sentido, Demirjian & Goldstein (1976), desarrollaron un sistema de clasificación, mediante el empleo de radiografía panorámica, de la maduración dental dividiendo el proceso en seis u ocho fases, dependiendo de la pieza dental estudiada, que es posible aplicar a cada pieza dental. En esta metodología, se clasifica cada pieza dental en una escala de ocho valores para posteriormente calcular un índice conjunto entre todos los dientes analizados en el que la suma máxima de los valores es 100. Mediante este valor se le atribuye al sujeto una edad biológica basada en su maduración dental, que posteriormente se compara con su edad cronológica para establecer su desfase madurativo. Para ello, incluyen tanto imágenes como una descripción de las características que deben reunir las piezas dentales para ser incluidas en cada uno de los grupos propuestos. Este método fue confeccionado con una muestra de 1446 chicos y 1482 chicas canadienses.

### 1.4. – Consideraciones en el uso de los métodos de valoración de la maduración biológica en deportistas adolescentes

Cabe destacar que todos los métodos descritos con anterioridad han sido desarrollados y validados en primera instancia en un contexto clínico, en poblaciones de distintas edades no específicamente deportistas. Se puede encontrar un resumen de las características principales y las ventajas e inconvenientes de cada método en la tabla 2.

Tabla 2. Resumen de las características de los principales métodos de estimación de la maduración biológica y su adecuación al campo de estudio de las ciencias del deporte.

Tipo de método	Rapidez de medición	Coste económico	Facilidad de implementación	Adecuación al ámbito de ciencias del deporte	
				Ventajas	Inconvenientes
Maduración esquelética: Radiografía de mano y muñeca según Greulich & Pyle (1969)	*	***	*	Considerado "gold standard" para la estimación de la maduración biológica en ciencias del deporte, en contextos en los que se tenga acceso a su utilización.	No cuenta con la capacidad de adaptarse a investigaciones de campo, a la necesidad de personal especializado, al tiempo y al coste de su aplicación y a la radiación a la que se exponen los participantes
Maduración esquelética: Radiografía de mano y muñeca según Tanner & Whitehouse (1975)	*	***	*	Considerado "gold standard" para la estimación de la maduración biológica en ciencias del deporte, en contextos en los que se tenga acceso a su utilización.	No cuenta con la capacidad de adaptarse a investigaciones de campo, a la necesidad de personal especializado, al tiempo y al coste de su aplicación y a la radiación a la que se exponen los participantes
Maduración esquelética: Radiografía de	*	***	*	Considerado "gold standard" para la estimación de la	No cuenta con la capacidad de adaptarse a investigaciones de campo, a la necesidad de personal

mano y muñeca según Roche et al. (1988)				maduración biológica en ciencias del deporte, en contextos en los que se tenga acceso a su utilización.	especializado, al tiempo y al coste de su aplicación y a la radiación a la que se exponen los participantes
Maduración somática: Medidas antropométricas según Mirwald et al. (2002)	**	**	**	Método de fácil implementación, adaptable a trabajos de campo y que requiere poca formación por parte de los investigadores	Se deben tener en cuenta sus limitaciones para no introducir excesivo error en la estimación. Puede subestimar o sobreestimar el valor del desfase madurativo en los maduradores temprano o tardíos respectivamente. Es recomendable su uso para clasificar a los deportistas según su ritmo de maduración.
Maduración somática: Medidas antropométricas según Moore et al. (2015)	**	**	**	Método de fácil implementación, adaptable a trabajos de campo y que requiere poca formación por parte de los investigadores	Se deben tener en cuenta sus limitaciones para no introducir excesivo error en la estimación. Puede subestimar o sobreestimar el valor del desfase madurativo en los maduradores temprano o tardíos respectivamente. Es recomendable su uso para clasificar a los deportistas según su ritmo de maduración.

<p>Maduración somática: Medidas antropométricas según Sherar et al. (2005)</p>	**	**	***	<p>Método de fácil implementación, adaptable a trabajos de campo y que requiere poca formación por parte de los investigadores</p>	<p>Requiere la realización de medidas antropométricas de forma repetida en lapsos de tiempo de entre tres y 18 meses durante varios años y el posterior análisis individual de las curvas de crecimiento para poder obtener el resultado de la EPVC.</p>
<p>Maduración sexual: Caracteres sexuales según Marshall &amp; Tanner (1969, 1970)</p>	***	*	***	<p>Es un método fácil de implementar que no requiere instalaciones específicas, tiene un coste bajo, es rápido de realizar y puede ser autocumplimentado por el sujeto.</p>	<p>Puede ser considerado invasivo para la privacidad del individuo descontextualizado del ámbito clínico. Puede perder fiabilidad cuando se realiza de forma autocumplimentada por los sujetos.</p>
<p>Maduración dental: Radiografía dental según Demirjian &amp; Goldstein (1976)</p>	*	***	*	<p>Tiene una fiabilidad y validez similar a los métodos radiográficos de mano y muñeca para evaluar la maduración biológica del sujeto.</p>	<p>Cuenta con extrema especificidad en cuanto a campos de estudio abarcados. No es posible adaptarlo a investigaciones de campo, precisa de personal altamente especializado y expone a radiación a sus participantes.</p>

\*: bajo; \*\*: medio; \*\*\*: alto.

#### 1.4.1. Métodos basados en la maduración esquelética

Los métodos basados en radiografías han sido ampliamente utilizados en población deportista (Carling et al., 2012; Figueiredo et al., 2009; Gouvea et al., 2016; Söğüt et al., 2019; Valente-Dos-Santos et al., 2014). En ellos, el objetivo es obtener el valor de la edad biológica del sujeto en el momento de la medición, sirviéndose de la maduración esquelética como indicador de la maduración biológica del sujeto, que posteriormente será comparada con la edad cronológica para conocer el desfase madurativo. Estos métodos han sido considerados el “gold standard” para la estimación de la maduración biológica, debido a la gran cantidad de datos disponibles, a la reproducibilidad de los métodos, a la posibilidad de realizar el estudio desde la infancia hasta la adolescencia tardía o la adultez y a la consistencia en los resultados respecto a las curvas de desarrollo observadas en estudios longitudinales (Malina et al., 2015). Sin embargo, debido a las diferencias en los criterios de valoración de la maduración esquelética de los que se sirven para analizar la maduración biológica, estos métodos cuentan con ventajas e inconvenientes propios que hacen que no se pueda identificar uno de ellos como “gold standard” dentro de los métodos de maduración esquelética (Malina et al., 2015). Por otro lado, ninguno de los tres métodos descritos en la presente revisión puede destacarse como el más empleado en ciencias del deporte, ya que estos métodos se han empleado para valorar la maduración biológica de deportistas jóvenes independientemente de la disciplina deportiva (Albaladejo-Saura et al., 2021; Malina, 2011).

Estos métodos se han usado tanto para analizar la maduración biológica de los participantes de forma descriptiva, como para clasificarlos como maduradores tempranos, en tiempo, o tardíos, utilizando para ello la diferencia entre la edad esquelética y edad cronológica (Carling et al., 2012). Cuando se pretende clasificar a los deportistas adolescentes en base a la edad biológica evaluada mediante estos métodos, el procedimiento más habitual es restar maduración esquelética – edad cronológica y con el resultado establecer un rango de  $\pm 1$  año (diferencia de  $>-1$  a  $<+1$ ) en el que se situarían los deportistas cuya maduración se considera en tiempo, mientras que si la diferencia es positiva y mayor a un año (diferencia  $>+1$ ) se considerarían maduradores tempranos, y si la diferencia es negativa y mayor a un año (diferencia  $<-1$ ), maduradores tardíos (Carling et al., 2012; Figueiredo et al.,

2009). Existen otras propuestas de clasificación de la maduración biológica en función de la edad esquelética, como la clasificación en más maduros o menos maduros, sin grupo de maduradores en tiempo, atendiendo a si el resultado de la resta entre la edad esquelética y la edad cronológica es positivo o negativo, que son menos empleados (Söğüt et al., 2019).

A pesar de los beneficios de los métodos basados en radiografía, cabe destacar que no están exentos de limitaciones. Los tres métodos más empleados, propuestos por Greulich & Pyle (1959), Tanner & Whitehouse (1975) y Roche et al. (1988) están basados en los mismos principios para categorizar la maduración ósea, pero debido a las diferencias en la metodología empleada para obtener la maduración esquelética se considera que no son intercambiables entre sí (Malina et al., 2015).

Por otro lado, resultan métodos con un alto coste económico, que conllevan una gran cantidad de tiempo para poder ser implementados y no son adaptables a mediciones fuera del contexto de laboratorio, lo que limita su uso en el contexto de ciencias del deporte (Malina et al., 2015; Towlson et al., 2021). Además, estos métodos precisan ser empleados por personal especializado que cuente con la cualificación necesaria para llevarlos a cabo, ya que de otra forma su validez y fiabilidad desciende (Lloyd et al., 2014; Towlson et al., 2021). Al tratarse de métodos basados en el empleo de rayos-X, algunos autores defienden que son métodos invasivos cuyo uso no está justificado en adolescentes, puesto que consideran que sólo se debería aplicar radiación a individuos en crecimiento en el contexto de un diagnóstico clínico, no estando justificado en la investigación en ciencias del deporte (Gómez-Campos et al., 2013). Sin embargo, otros autores sí abogan por su uso, justificando que, con las técnicas e instrumentos actuales, la radiación a la que se somete al individuo durante la valoración es mínima, y no supondría una cantidad perjudicial para la salud (Malina et al., 2015). Estas limitaciones hacen que sea un método accesible principalmente para deportes con un alto nivel de ingresos económicos o acceso a las instalaciones adecuadas, como es el caso del fútbol (Carling et al., 2012; Figueiredo et al., 2009; Gouvea et al., 2016; Valente-Dos-Santos et al., 2014).

#### 1.4.2. Métodos basados en la maduración somática

Los métodos de estimación de la maduración somática basados en las medidas antropométricas son unos de los más usados en la valoración de deportistas adolescentes debido a que son métodos poco invasivos, a su facilidad de uso, la posibilidad de realizar las mediciones tanto en investigaciones de laboratorio como de campo, el bajo coste del material necesario para su implementación y el relativo poco entrenamiento que se necesita por parte de los investigadores (Albaladejo-Saura et al., 2022a, 2022b, 2022c; Arede et al., 2019; Guimarães et al., 2019; Hammami et al., 2018). En ellos, el indicador de la maduración biológica es el ritmo de crecimiento y la edad a la que se produce el incremento en la velocidad del crecimiento, en comparación con la edad cronológica del sujeto. Estos métodos no permiten la estimación de la edad biológica del sujeto en el momento de la medición, sino que son indicativo del ritmo de la maduración biológica (Drenowatz et al., 2010; Drenowatz et al., 2013).

Estos métodos, de forma similar a los métodos radiológicos, se han utilizado de forma descriptiva en poblaciones de deportistas adolescentes (Albaladejo-Saura et al., 2022c) o para clasificarlos como maduradores tempranos, en tiempo o tardíos (Albaladejo-Saura et al., 2022a, 2022b; Arede et al., 2019; Guimarães et al., 2019; Hammami et al., 2018).

En este caso, existen algunas diferencias remarcables entre los métodos basados en la observación del PVC y los que realizan su estimación a través de fórmulas. En el caso del método de observación del PVC, es necesaria la realización de varias sesiones de medición, espaciadas entre sí entre 3 y 18 meses para poder establecer la velocidad de crecimiento del individuo, a lo largo de los años en los que se produce de forma teórica el PVC para poder identificarlo en relación a las curvas de crecimiento observadas (Kelch & Beitins, 1994; Malina & Bouchard, 1991; Sherar et al., 2005; Tanner, 1990).

Sin embargo, este método también cuenta con limitaciones. La principal limitación encontrada es que es un método disponible únicamente para diseños experimentales longitudinales de larga duración, debido a la necesidad de espaciar en el tiempo las mediciones realizadas (Kelch & Beitins, 1994; Malina & Bouchard, 1991; Sherar et al., 2005; Tanner, 1990). Por otro lado, debido a la metodología empleada, el rango de edad en el que este método es aplicable se



reduce a los años entorno al PHV, teniendo además que realizarse un estudio individualizado de la curva de crecimiento debido a las variaciones individuales (Sherar et al., 2005).

Por el contrario, en las fórmulas desarrolladas por Mirwald et al. (2002) y Moore et al. (2015), sólo es necesario que se evalúen las medidas antropométricas una única vez, ya que, en las fórmulas propuestas, una de las variables de predicción es la edad cronológica del sujeto en el momento de la valoración. Estas fórmulas ofrecen como resultado el tiempo en años que falta hasta que el individuo valorado alcance el PVC (si el resultado es negativo) o el tiempo en años que ha pasado desde que el individuo ha pasado el PVC (si el resultado es positivo), denominado desfase madurativo. El desfase madurativo, restado a la edad cronológica del individuo es utilizado para calcular la EPVC (EPVC = edad cronológica – desfase madurativo) (Mirwald et al., 2002; Moore et al., 2015). Este valor se puede utilizar directamente para categorizar a los deportistas en maduradores tempranos, en tiempo o tardíos, de acuerdo con diferentes criterios.

Tradicionalmente se han usado los rangos indicados por Malina & Bouchard (1991) en los que típicamente se observa el PVC, a los 11,4-12,2 para las chicas y 13,8-14,4 para los chicos, para clasificar a los deportistas como maduradores tempranos, cuando su EPVC se encontraba dentro del rango indicado; maduradores tempranos cuando su EPVC era menor al rango indicado; y tardíos cuando su EPVC era superior al rango indicado. Sin embargo, este criterio de evaluación cuenta con la limitación de que, como se ha observado en investigaciones recientes, la estimación de la EPVC puede verse alterada por la edad cronológica (Malina, Coelho-E-Silva, et al., 2021; Towlson et al., 2021), por lo que solo sería válido para poblaciones en un rango de edad reducido, que se encontrase en torno a la EPVC teórica.

Actualmente, debido a la heterogeneidad que es posible encontrar en los grupos de adolescentes evaluados en ciencias del deporte en cuanto a la edad cronológica, los métodos de clasificación más utilizados basan su criterio en el cálculo de la EPVC, estableciendo los rangos que marcan la agrupación como maduradores tempranos, en tiempo o tardíos en la media y la desviación estándar (DT) del grupo respecto a esta variable (Figueiredo et al., 2009; Hammami et al., 2018; Mirwald et al., 2002; Moore et al., 2015). De esta forma, hay autores que proponen un rango de  $\pm 1$  año en la EPVC respecto a la media del grupo, en el que

se situarían los deportistas cuya EPVC se considera en tiempo, mientras que si la EPVC tiene una diferencia mayor a un año tanto por debajo como por encima del de la media se considerarían maduradores tempranos y tardíos, respectivamente (Hammami et al., 2018; Mirwald et al., 2002; Moore et al., 2015). El establecimiento del criterio de un rango de  $\pm 1$  año respecto a la EPVC del grupo para clasificar a los deportistas en los distintos grupos de maduración se debe a que las muestras en las que fueron validadas las fórmulas de Mirwald et al. (2002) y Moore et al. (2015) mostraron una  $DT \approx 1$  año cuando se evaluó su maduración biológica mediante radiografía. Pero el establecimiento de este rango tiene ciertas limitaciones cuando las muestras son homogéneas, ya que, si la DT de la EPVC del grupo es menor a 1 año, casi todos los deportistas serían clasificados como maduradores en tiempo. Es por ello que cuando la DT de la EPVC del grupo sea menor a 1 año, algunos autores han propuesto la utilización de rangos de  $\pm 0,5$  años de la EPVC, encontrándose dentro de este rango los considerados maduradores en tiempo, por debajo de ese rango los maduradores tempranos y por encima de ese rango los maduradores tardíos (Albaladejo-Saura et al., 2022a, 2022b; Arede et al., 2019; Drenowatz et al., 2010; Guimaraes et al., 2019; Wickel & Eisenmann, 2007).

Sin embargo, las fórmulas de estimación del EPVC también cuentan con limitaciones que se deben tener en cuenta. Por un lado, a pesar de ser métodos muy utilizados en ciencias del deporte y contar con buenos índices de validez ( $R^2=0.896-0.890$ ) (Albaladejo-Saura et al., 2021; Mirwald et al., 2002; Moore et al., 2015), se ha observado que suelen introducir cierto grado de error que limita su uso en ocasiones ya que están basados en ecuaciones de regresión (error estándar= 0.542-0.569 años) (Malina et al., 2016; Malina, Coelho-E-Silva, et al., 2021). Por otro lado, se ha observado que las ecuaciones tienden a subestimar el valor del desfase de la maduración para los maduradores tempranos, mientras que lo sobrestiman para los maduradores tardíos (Towlson et al., 2021). Debido a estas limitaciones, algunos autores han recomendado utilizar estos métodos solamente en población adolescente, limitando su uso en población infantil (Malina, Coelho-E-Silva, et al., 2021; Towlson et al., 2017; Towlson et al., 2021), controlar el efecto de la edad cronológica en las estimaciones ya que se ha observado que la estimación de la maduración somática cambia de forma estable con el avance de la edad, y utilizar los métodos basados en antropometría para

clasificar a los deportistas en maduradores tempranos, en tiempo o tardíos, en lugar de como medida descriptiva de la maduración biológica, ya que indican el ritmo de maduración permitiendo la comparación entre individuos, pero no el cálculo de la edad biológica (Malina, Coelho-E-Silva, et al., 2021). A pesar de estas limitaciones, se ha recomendado su uso en población deportista adolescente cuando el método “gold standard” sea imposible de utilizar (Towlson et al., 2021)

### 1.4.3. Métodos basados en la maduración sexual

Los métodos basados en el desarrollo de caracteres sexuales secundarios también han sido empleados en los estudios realizados en población deportista (Figueiredo et al., 2009; Matta et al., 2014). En estos métodos, el indicador de la maduración biológica es el grado de desarrollo que los caracteres sexuales secundarios presentan en comparación con la escala propuesta en el momento de la valoración. Sin embargo, son menos usados que los métodos basados en la maduración esquelética o somática (Albaladejo-Saura et al., 2021). El método descrito por Marshall & Tanner (1962) clasifica en cinco estadios el desarrollo de los caracteres sexuales secundarios, atribuyéndosele al estadio 1 un tiempo anterior a la pubertad (prepúber), los estadios 2-4 se consideran el desarrollo de la pubertad, y el estadio 5 el desarrollo adulto (Gómez-Campos et al., 2013). Los estadios de maduración sexual se han relacionado también con otros indicadores de maduración biológica, como con el “gold standard” (Figueiredo et al., 2009). Así se observó que los participantes clasificados como maduradores tardíos de entre 11 y 12 años fueron mayoritariamente clasificados en el estadio pre-puberal (88%) del método descrito por Marshall y Tanner (1969, 1970), mientras que los clasificados como maduradores en tiempo y tempranos de 13 y 14 años de edad cronológica se encontraron entre los estadios 3 y 4 del mencionado método.

Este método cuenta con la ventaja de su facilidad de aplicación, al tratarse de un set de imágenes con el que comparar el estado actual de los caracteres del individuo, así como al proponer la posibilidad de que sea el propio sujeto el que realice la evaluación (Marshall & Tanner, 1969, 1970).

Las características específicas de la evaluación de la maduración sexual hacen que se deban tener en cuenta los posibles inconvenientes cuando se pretenda emplear esta metodología. Se debe tener en cuenta que su uso está

limitado a la etapa prepuberal y puberal, ya que fuera de ese rango no se detallan categorías para la clasificación de las características de los individuos (Marshall & Tanner, 1969, 1970). Por otro lado, una de las limitaciones principales cuando se pretende su uso en el ámbito de ciencias del deporte es que se trata de una técnica invasiva para el participante debido a los aspectos que se valoran para la clasificación, en la que se deben tener en cuenta los aspectos éticos y culturales (Gómez-Campos et al., 2013). Esto es debido a que es una metodología originalmente desarrollada para ser llevada a cabo en el contexto clínico, en exploración física del paciente por parte de personal sanitario (Marshall & Tanner, 1968). Para tratar de solventar este problema, en ocasiones se ha abogado por la autovaloración por parte del participante, hecho que podría disminuir la validez y fiabilidad del instrumento (Gómez-Campos et al., 2013).

#### **1.4.4. Métodos basados en radiografías dentales**

Los métodos basados en la maduración dental son ampliamente utilizados en contextos clínicos, odontológicos, forenses y antropológicos (De Donno et al., 2021), siendo el más empleado el propuesto por Demirjian & Goldstein (1976), mientras que en contextos de valoración deportiva su uso está menos extendido (Albaladejo-Saura et al., 2021; Beunen et al., 2006; Johnston et al., 2018; Malina, Martinho, et al., 2021). Este método utiliza el desarrollo dental como indicador de la maduración biológica. Este método comparte las ventajas de los métodos de estimación de la edad esquelética, contando con una gran reproducibilidad, un amplio rango de edades de implementación desde la infancia hasta la etapa adulta, y la consistencia en los resultados respecto a las curvas de crecimiento observado (De Donno et al., 2021; Demirjian & Goldstein, 1976; Demirjian et al., 1973; Gómez-Campos et al., 2013).

Sin embargo, también cuenta con similares limitaciones. Utilizan rayos-X para la valoración, lo que implica la exposición a radiación que no estaría justificada en los estudios en ciencias del deporte (Gómez-Campos et al., 2013), su uso requiere mucho tiempo, instalaciones específicas, personal cualificado y conlleva un alto gasto económico (De Donno et al., 2021; Malina et al., 2015), razones por las que su uso en los estudios en deportistas jóvenes podría ser escaso.

### 1.5. – Limitaciones y futuras líneas de investigación

La presente investigación no se encuentra exenta de limitaciones. En ella se han revisado los métodos más empleados en la valoración de distintos indicadores de la maduración biológica en el contexto deportivo. Sin embargo, existen otros métodos de valoración de la maduración biológica que no se han analizado, como los métodos radiográficos de estructuras óseas distintas a la mano y la muñeca, o los métodos basados en el análisis de la concentración hormonal, más empleados en el contexto clínico. Por otro lado, tampoco se han analizado los métodos menos empleados o que carecieran de suficiente validación.

Futuras revisiones sobre los métodos de estimación de la maduración biológica podrían abordar la inclusión de los distintos métodos, independientemente del contexto en el que sean utilizados.

Las líneas de investigación derivadas de la presente revisión podrían estar orientadas a analizar la validez, fiabilidad y adecuación de los distintos métodos de estimación respecto a las curvas de desarrollo observadas en estudios longitudinales, así como la inclusión de variables relacionadas con el rendimiento y la salud que puedan verse afectadas por las diferencias individuales en el desarrollo madurativo.

### 1.6. – Conclusiones

En el ámbito deportivo, cuando se pretenden realizar evaluaciones de deportistas en edad de crecimiento, es indispensable tener en cuenta el estado madurativo de éstos, debido a la gran influencia que la maduración biológica tiene sobre numerosas variables asociadas de forma directa con el rendimiento. Existen métodos de estimación de la maduración que han mostrado ser herramientas útiles para llevar a cabo una valoración del proceso madurativo de los adolescentes, como son la maduración ósea, somática, sexual y dental. En este sentido, el método avalado por la literatura científica como “gold standard” para la estimación de la maduración biológica en poblaciones de deportistas adolescentes es el método de maduración ósea, el cual se basa en la realización de radiografías de mano y muñeca, aunque se debe tener en cuenta que sus limitaciones, entre las que destacan el coste económico, el tiempo y las

instalaciones requeridas para su implementación, la necesidad de evaluadores altamente cualificados y la radiación a la que se expone a los sujetos pueden condicionar su uso en la mayoría de las situaciones aplicables a los estudios en ciencias del deporte. En el caso de que el empleo del método radiográfico no se encuentre disponible, la valoración de la maduración somática a través de las fórmulas que emplean variables antropométricas para su cálculo son una opción ampliamente utilizada, fiable y válida, y además cuentan con las ventajas de su facilidad de aplicación y su adaptabilidad a investigaciones de campo. Sin embargo, se ha de tener en cuenta que estos métodos pueden introducir cierto error en la estimación, subestimar o sobreestimar el valor del desfase madurativo en los maduradores temprano o tardíos respectivamente, y que es recomendable su uso para clasificar a los deportistas según su ritmo de maduración, puesto que los métodos de estimación de la maduración somática basados en antropometría son un indicador del ritmo de la maduración biológica, pero no de la edad biológica, lo que constituye una de sus principales limitaciones. Por último, la valoración de los caracteres sexuales y del desarrollo dental son métodos de estimación de la maduración menos utilizados en ciencias del deporte, principalmente por su carácter clínico, por las implicaciones éticas, y por la dificultad en su aplicación.

**IIb – ESTUDIO 2: Relación  
entre la maduración biológica,  
la condición física y las  
variables cineantropométricas  
de los deportistas jóvenes:  
revisión sistemática con meta-  
análisis.**





## II- ESTUDIO 2

### RELACIÓN ENTRE LA MADURACIÓN BIOLÓGICA, LA CONDICIÓN FÍSICA Y LAS VARIABLES CINEANTROPOMÉTRICAS DE LOS DEPORTISTAS JÓVENES: REVISIÓN SISTEMÁTICA CON META-ANÁLISIS

#### 2.1. – Resumen

Existe un creciente interés por conocer la relación entre la maduración biológica y las variables relacionadas con el rendimiento deportivo de los jóvenes atletas. El objetivo de este estudio es analizar la relación entre la maduración biológica, la condición física y las variables cineantropométricas de los atletas durante su período de crecimiento, según su sexo. La revisión sistemática y el meta-análisis siguieron la declaración PRISMA y el protocolo de búsqueda se registró en PROSPERO, código: CRD420208397. Se realizó una búsqueda en las bases de datos PubMed, Web of Sciences y EBSCO. Se seleccionaron 423 estudios y se incluyeron 13 en el meta-análisis. El meta-análisis se completó utilizando la media y la desviación estándar de cada variable según cada estado de maduración (temprana, en tiempo o tardía). Se encontraron diferencias en función de la maduración en la condición física, con mejores resultados en los grupos de maduración temprana en la población masculina (diferencia estandarizada de medias (DEM) = 0,17-2,31;  $p < 0,001-0,05$ ). Se encontraron diferencias en función de la maduración para las variables cineantropométricas en los varones (DEM = 0,37-2,31;  $p < 0,001-0,002$ ) y la talla y la masa corporal en las mujeres (DEM = 0,96-1,19;  $p < 0,001$ ). En conclusión, el grupo de maduración temprana mostró valores más altos en las variables cineantropométricas y mejores resultados en la condición física, destacando la importancia del proceso madurativo en los programas de selección de talentos. A pesar de ello, se necesitan más investigaciones para aclarar la relación de la maduración con las demás variables en las poblaciones femeninas y los cambios en las variables musculares y óseas durante los procesos de maduración de ambos sexos

#### 2.2. – Introducción

La identificación temprana de jóvenes talentos aporta ciertos beneficios a los clubes que aplican este proceso. Entre las ventajas se encuentran una

especialización temprana en las habilidades y capacidades del deporte, la incorporación de jóvenes jugadores al equipo de alto nivel o la seguridad económica a largo plazo (Hertzog et al., 2018; Peña-González et al., 2018; Pion et al., 2015). Además, en los deportes con menores ingresos, la identificación temprana y el seguimiento de los talentos deportivos es de vital importancia para la optimización de los recursos económicos (Hertzog et al., 2018). Como consecuencia, en la última década ha crecido el interés por crear modelos que permitan identificar e incluso predecir futuros talentos entre los jóvenes deportistas (Hertzog et al., 2018; Peña-González et al., 2018).

El talento en el deporte podría definirse como la capacidad de dar una respuesta correcta a las exigencias específicas del rendimiento deportivo (Pion et al., 2015). Entre los factores analizados en los programas de identificación de talentos en el deporte, el rendimiento físico desempeña un papel importante, ya que se considera uno de los factores más determinantes en el futuro rendimiento deportivo de los jóvenes atletas (Johnston et al., 2018). Otros componentes principales de los modelos de identificación de talentos son las variables cineantropométricas, debido a su relación con el rendimiento deportivo (López-Plaza et al., 2017b). De hecho, la cineantropometría se ha utilizado para caracterizar los requisitos morfológicos de diferentes disciplinas deportivas (Booyesen et al., 2019; Carter, 1982; Sánchez Muñoz et al., 2020). Sin embargo, hay que tener en cuenta que los valores de referencia observados en deportistas de élite adultos no deben extrapolarse a los deportistas que están en proceso de crecimiento, ya que la etapa de maduración puede afectar a las características cineantropométricas y al rendimiento físico (López-Plaza et al., 2017a).

La maduración, en relación con el crecimiento humano, se refiere al tiempo necesario y al proceso de cambio hasta alcanzar el estado de maduración adulto (Malina & Bouchard, 1991). Los cambios físicos y fisiológicos que se producen durante el progreso de la maduración biológica evolucionan a un ritmo diferente, dependiendo del sujeto (Malina & Bouchard, 1991). Debido a la influencia de la maduración biológica en el rendimiento deportivo, parece necesario evaluar el estado de maduración en el que se encuentran actualmente los deportistas adolescentes, siendo el pico de velocidad de crecimiento (PVC) uno de los indicadores más útiles del estado de maduración (Malina & Bouchard, 1991; Mirwald et al., 2002). Además, existen diferencias entre hombres y mujeres en

cuanto a la edad de inicio de la PVC y a la edad en la que se produce el pico de velocidad de crecimiento (EPVC). Es habitual observar que esto ocurre entre los 9,3 y los 15 años de edad en las mujeres, y entre los 12 y los 15,8 años en los hombres (Malina & Bouchard, 1991).

El *gold standard* para estimar la PVC es la evaluación radiológica de huesos específicos de la mano y la muñeca (Greulich & Pyle, 1959; Tanner et al., 1975). Este método es una forma precisa de evaluar la maduración de los adolescentes y está ampliamente utilizado y validado (Greulich & Pyle, 1959; Tanner et al., 1975), pero requiere investigadores muy experimentados para garantizar la validez y fiabilidad de los resultados, y el equipo necesario es inaccesible en la mayoría de los casos (Mills et al., 2017). Además, se han utilizado otros métodos alternativos, como las variables cineantropométricas mediante fórmulas de regresión (Mirwald et al., 2002), por su validez y fiabilidad, con otras ventajas como que es fácil, barato, transportable e inocuo (Ayvaz & Çimen, 2011; Mattsson & Thomas, 2006); o la evaluación de la maduración basada en el desarrollo de los caracteres sexuales secundarios (Marshall & Tanner, 1969, 1970). Este último método se basa en una evaluación autodeclarada basada en los factores sexuales secundarios influidos por la maduración, y es fácil de realizar por los sujetos (Marshall & Tanner, 1969, 1970). Sin embargo, es una evaluación subjetiva (Desmangles et al., 2006), y en determinadas situaciones podría considerarse personalmente intrusiva (Mirwald et al., 2002).

Existe un creciente interés por conocer las relaciones entre la maduración biológica, las variables cineantropométricas y el rendimiento físico de los jóvenes deportistas por su influencia en estos parámetros, que están relacionados con el rendimiento deportivo (Johnston et al., 2018). En las etapas de formación académica, se ha observado que los jóvenes deportistas que maduran antes que sus compañeros de la misma edad cronológica tienen más posibilidades de ser seleccionados para programas de alto rendimiento (Sierra-Díaz et al., 2017), aunque adquieren un rendimiento de alto nivel cuando termina el periodo de crecimiento (Isorna-Folgar et al., 2014). Esto se debe a que durante el proceso de maduración se producen cambios físicos y fisiológicos que afectan al rendimiento deportivo, ofreciendo madurar antes una ventaja competitiva en la mayoría de los casos (Malina & Bouchard, 1991). En esta línea, y en lo que respecta al tejido muscular y óseo, se produce un aumento significativo debido a los cambios

hormonales propios de la adolescencia, y esto es más acusado cuando existe una práctica sistemática de ejercicio físico (Hulthén et al., 2001; Malina & Bouchard, 1991). Sin embargo, este aumento no se produce por igual en ambos sexos, observándose similitudes en las primeras etapas del desarrollo y un mayor aumento de la fuerza y la masa muscular en los varones en el pico de crecimiento y en las últimas etapas del desarrollo (Kanehisa et al., 1995; Neu et al., 2002). En cuanto a la masa grasa, que ha sido una de las variables más analizadas por su relación con el rendimiento deportivo (Holway & Garavaglia, 2009; Keogh et al., 2009; Knechtle & Rosemann, 2009; Tanda & Knechtle, 2013), se ha observado que una mayor acumulación de grasa se relaciona con una maduración más temprana en las mujeres y más tardía en los varones (Holmgren et al., 2017; Sandhu et al., 2005).

En cuanto a las condiciones físicas, se ha observado que los jóvenes deportistas que maduran más temprano tienen mejores resultados en las pruebas de resistencia (Guimarães et al., 2019), en la fuerza de los miembros superiores e inferiores (López-Plaza et al., 2017a) y en la capacidad de sprint (Carling et al., 2012), siendo estas características decisivas para el rendimiento deportivo. Se ha encontrado una tendencia similar en ambos sexos (Arede et al., 2019; Söğüt et al., 2019). Los mejores resultados mostrados por los maduradores tempranos son factores determinantes en el futuro rendimiento deportivo, ya que las capacidades de producción de velocidad y potencia han demostrado ser un factor discriminatorio entre los atletas de élite y los que no lo son (Murtagh et al., 2018). Estas variables de condición física mejoran durante la pubertad, lo que favorece la selección de los maduradores tempranos para los programas de identificación de talentos cuando no se evalúa la maduración biológica (Gil, Zabala-Lili, et al., 2014). A pesar de ello, algunas variables, como la resistencia, son las que más mejoran después de la PVC (Carvalho et al., 2017).

Sin embargo, a pesar de la clara influencia que las diferencias de maduración pueden tener sobre las condiciones físicas y las características cineantropométricas de los jóvenes deportistas, existe cierta discrepancia sobre el peso específico de estas variables para explicar las diferencias de rendimiento en función de la maduración (Beets et al., 2005; Bidaurrezaga-Letona et al., 2015; Bidaurrezaga-Letona et al., 2019; Gil, Badiola, et al., 2014). Además, se ha encontrado una gran heterogeneidad entre los estudios en cuanto a participantes,

deportes analizados y pruebas incluidas (Arede et al., 2019; Carling et al., 2012; López-Plaza et al., 2017a; Matthys et al., 2012; Sögüt et al., 2019). Por ello, el objetivo de este estudio es analizar la relación de la maduración biológica, la condición física y las variables cineantropométricas de los deportistas en el periodo de crecimiento, en función de su sexo.

### 2.3. – Material y métodos

Esta revisión sistemática y metaanálisis siguió la declaración de los Elementos de Información Preferidos para la Revisión Sistemática y el Metaanálisis (Preferred Reporting Item for Systematic reviews and Meta-Analyses, PRISMA) (Liberati et al., 2009), y la estrategia de búsqueda, los criterios de inclusión y la información adicional se registraron previamente en el registro internacional prospectivo de revisión sistemática PROSPERO (código: CRD420208397).

#### 2.3.1. Estrategia de búsqueda

Se realizó una búsqueda en las bases de datos Pubmed, Web of Sciences y EBSCO hasta el 18 de septiembre de 2020. Las palabras clave utilizadas fueron "biological matur\*", "sport performance", "training", "anthropometry", "kinanthropometry", "body composition" y "somatotype", combinadas con los operadores booleanos "AND" y "OR": (Biological matur\* AND (sport performance OR physical fitness) AND (anthropometry OR kinanthropometry OR body composition OR somatotype). Los estudios que examinaron la relación de los ritmos de la maduración biológica con diferentes tipos de rendimiento físico o variables cineantropométricas fueron incluidos para el meta-análisis.

Los criterios de inclusión fueron: a) estudios observacionales; b) mediciones de resultados basadas en el rendimiento físico, en variables cineantropométricas o en ambas; c) resultados divididos por grupos de maduración; d) participantes con edades comprendidas entre los 9 y los 15 años en el caso de las mujeres y entre los 12 y los 16 años en el caso de los hombres, por ser el rango de edad en el que se produce la EPVC (Malina & Bouchard, 1991); e) escritos en inglés o en español; f) población activa que participara en una disciplina deportiva concreta. El criterio de exclusión fue a) grupos con menos de cinco participantes (Eberbach et al., 2017).

### **2.3.2. Extracción de datos y riesgo de sesgo**

Dos revisores (M.A.-S. y R.V.-C) realizaron la búsqueda de forma independiente, examinaron los títulos y resúmenes de los resultados de la búsqueda y revisaron el texto completo seleccionado antes de la inclusión en el metanálisis. Se consultó a un tercer revisor (F.E.-R.) para resolver cualquier desacuerdo relativo a la inclusión. Para determinar la fiabilidad entre revisores se calculó el estadístico Kappa de Cohen (McHugh, 2012), que mostró un fuerte nivel de acuerdo (Kappa = 0,901).

### **2.3.3. Evaluación de la calidad y del riesgo de sesgo**

Se utilizó la declaración Strengthening Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE) (von Elm et al., 2008) para evaluar la calidad de los estudios incluidos. La evaluación de la calidad fue realizada por dos revisores (M.A.-S. y R.V.-C). Se consultó a un tercer revisor para resolver cualquier desacuerdo (F.E.-R.). Se utilizó la estadística de sesgo de Egger (Egger et al., 1997) y la N a prueba de fallos de Rosenthal (Rosenthal, 1979) para evaluar el riesgo de sesgo y se crearon gráficos de embudo (Funnel plots) (Figura S1). Cuando un metanálisis se basa en un número reducido de estudios, la capacidad de la prueba de Egger para detectar el sesgo es limitada (Sterne et al., 2011). Por lo tanto, esta prueba debe realizarse cuando hay al menos diez estudios incluidos en el metanálisis (Egger et al., 1997).

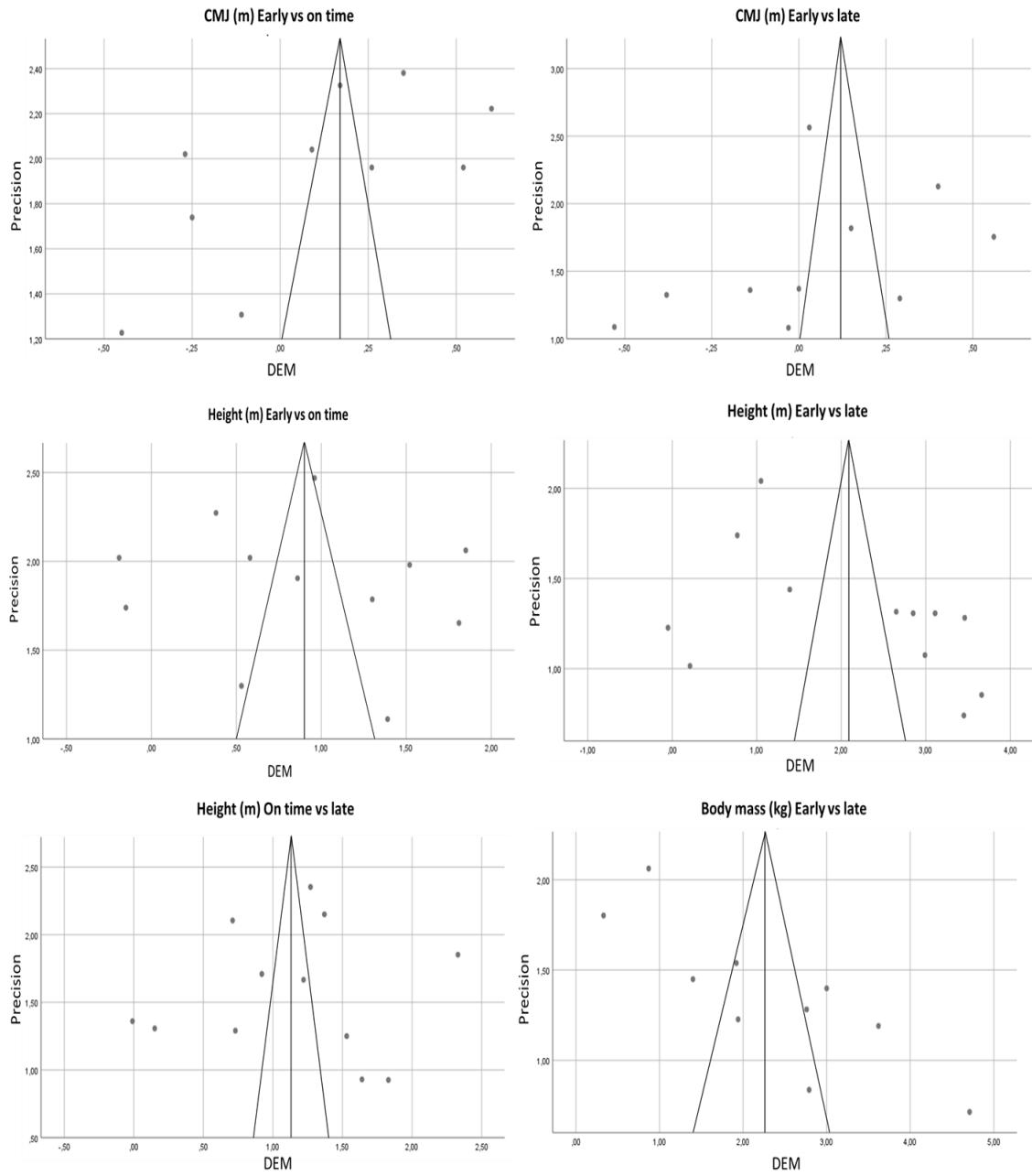


Figura S1: Funnel plot para las variables CMJ, talla y masa corporal.

#### 2.3.4. Análisis estadístico

El análisis estadístico y el meta-análisis se realizaron utilizando el programa Comprehensive Meta-Analysis (versión 3, Englewook, Estados Unidos). El meta-análisis se completó en las variables que presentaban datos continuos utilizando la media y la desviación estándar de cada variable y según cada estado de maduración (temprana, en tiempo o tardía). Esta información se extrajo directamente de los estudios. El análisis se realizó cuando se incluyeron al menos dos grupos para la misma variable. Cuando un estudio incluía más de un grupo separado por rango de edad o deporte, se incluyeron todos los grupos en los análisis. En el caso de los estudios que no incluían los datos necesarios, se calculó la desviación estándar y se imputó cuando fue posible mediante errores estándar e intervalos de confianza. Se utilizó el método de agrupación de DerSimonian-Laird (Cohen), y se evaluó la heterogeneidad mediante la prueba Q de Cochrane ( $\text{Chi}^2$ ), el I<sup>2</sup> de Higgins y la significación (p), para determinar la conveniencia de aplicar un modelo de efectos fijos o aleatorios para el análisis agrupado (Ioannidis, 2008). Se realizó un metanálisis con un modelo de efectos aleatorios para inferir la diferencia estandarizada de medias estandarizada (DEM) estimada conjunta (Higgins & Thompson, 2004; Knapp & Hartung, 2003). La DEM de DerSimonian-Laird (Cohen) se interpretó mediante Cohen (Cohen, 1988) como pequeña (0 a 0,2), media (0,3 a 0,7) y grande (>0,8). Se estableció el nivel de significación en  $p < 0,05$ .

### 2.4. – Resultados

#### 2.4.1. Búsqueda de datos y características de los estudios

Se seleccionaron 423 estudios y finalmente se incluyeron 13 en el metanálisis (Figura 1).



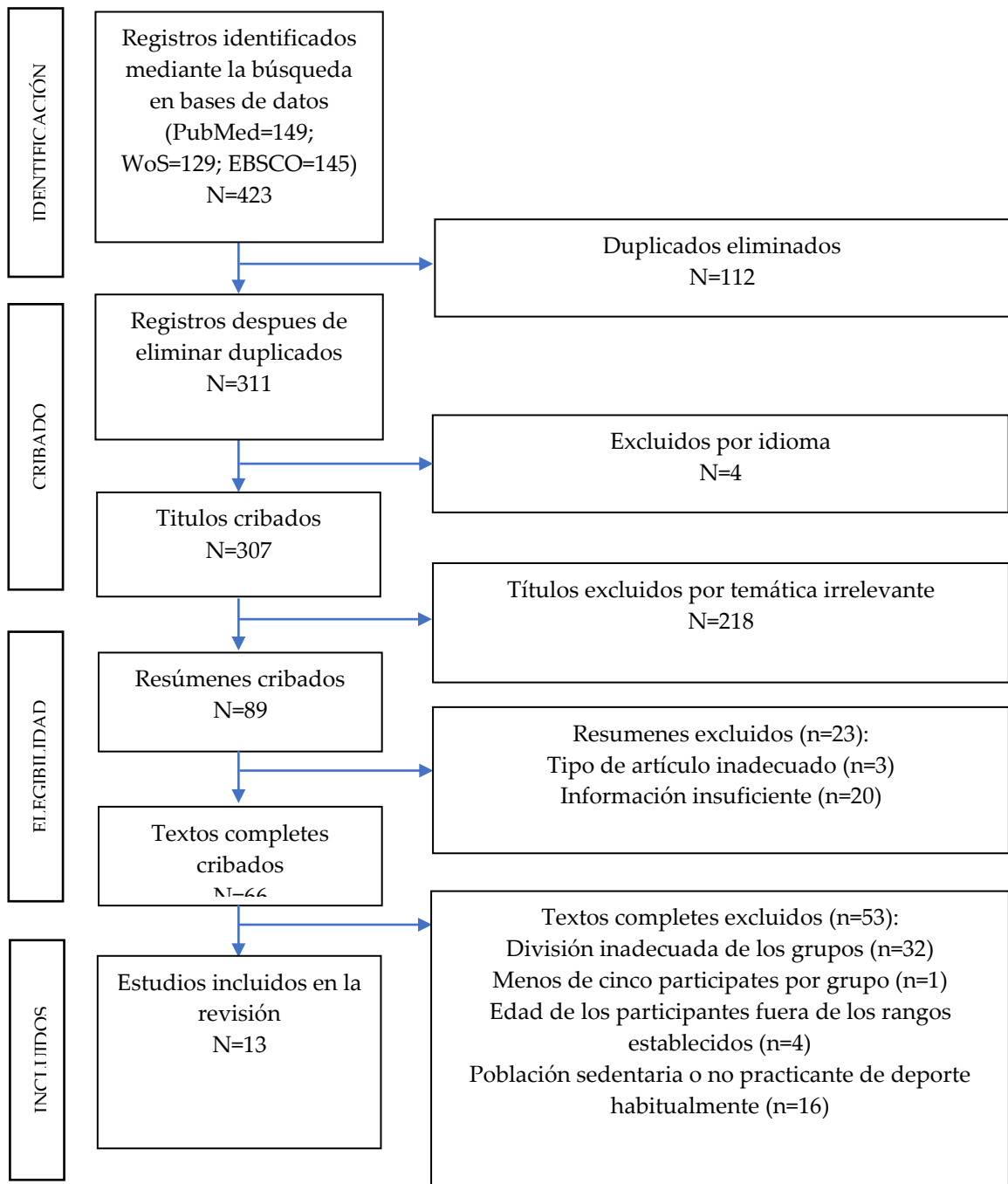


Figura 2. Diagrama de flujo de la búsqueda, cribado y artículos incluidos.

Las características de los estudios analizados pueden observarse en la Tabla 1. La calidad de los estudios seleccionados, evaluada con la escala STROBE, puede observarse en la Tabla 2. Todos los estudios siguieron un diseño

descriptivo (rango de puntuación en la escala STROBE 15-20), con un total de 1431 sujetos (1323 varones; 108 mujeres). El tamaño medio de la muestra fue de  $79,50 \pm 43,13$  (rango 28-168). Dos estudios se realizaron con mujeres (15,38%) (Leonardi et al., 2018; Söğüt et al., 2019), y 11 se realizaron con hombres (84,62%) (Arede et al., 2019; Carling et al., 2012; Figueiredo et al., 2009; Gastin et al., 2013; Gouvea et al., 2016; Guimarães et al., 2019; Hammami et al., 2018; López-Plaza et al., 2017a; Matta et al., 2014; Matthys et al., 2012; Valente-Dos-Santos et al., 2014). El deporte más representado fue el fútbol ( $n=5$ ; 38,46%) (Carling et al., 2012; Figueiredo et al., 2009; Gouvea et al., 2016; Matta et al., 2014; Valente-Dos-Santos et al., 2014), seguido del baloncesto ( $n=3$ ; 23,07%) (Arede et al., 2019; Guimarães et al., 2019; Leonardi et al., 2018) y el balonmano ( $n=2$ ; 15,38%) (Hammami et al., 2018; Matthys et al., 2012).

Seis estudios (46,15%) utilizaron la fórmula de estimación del EPVC basada en mediciones cineantropométricas (Arede et al., 2019; Gastin et al., 2013; Guimarães et al., 2019; Hammami et al., 2018; López-Plaza et al., 2017a; Matthys et al., 2012), cinco estudios (38,46%) utilizaron métodos radiográficos (Carling et al., 2012; Figueiredo et al., 2009; Gouvea et al., 2016; Söğüt et al., 2019; Valente-Dos-Santos et al., 2014) y dos estudios (15,38%) utilizaron métodos de madurez sexual (Leonardi et al., 2018; Matta et al., 2014) para evaluar la madurez de la muestra. La mayoría de los estudios dividieron la muestra en tres grupos madurativos ( $n=10$ ; 76,93%) (Arede et al., 2019; Carling et al., 2012; Figueiredo et al., 2009; Gouvea et al., 2016; Guimarães et al., 2019; Leonardi et al., 2018; López-Plaza et al., 2017a; Matta et al., 2014; Matthys et al., 2012; Valente-Dos-Santos et al., 2014)[9,31-33,42,54,55,57,59,60], y tres de ellos en grupos más maduros o menos maduros ( $n=3$ ; 23,07%) (Gastin et al., 2013; Hammami et al., 2018).

Tabla 1. Extracción de datos de los estudios seleccionados

Autor/es	Sexo (n)	Edad (X±DE)	Nivel competitivo	Deporte	Estimación del desfase madurativo	Estadio madurativo	Test de condición física	Medidas antropométricas y composición corporal
Arede et al. (2018)	M (34)	14.6±0.23	Nacional	Baloncesto	Método: cineantropometría; Ecuación: Mirwald et al. (2002)	Pre-puberal, puberal, post-puberal	SJ, CMJ, ABK, lanzamiento de balón medicinal (2 kg), sprint (20 m), Yo-Yo test, agilidad (T-test), sit-and-reach	Masa corporal, talla, talla sentado
Carling et al. (2012)	M (158)	13.5±0.4	Élite	Fútbol	Método: Radiografía de mano y muñeca; Greulich & Pyle (1959)	Atrasado, en la media, avanzado	CMJ, sprint (10, 20 y 40 m), VO2máx, fuerza isocinética de cuádriceps	Masa corporal, talla, cuatro pliegues cutáneos (tríceps, bíceps, subescapular, cresta iliaca), porcentaje de masa grasa (Método: cineantropometría; ecuación: Durnin & Womersley)
Figueiredo et al. (2009)	M (87) M (72)	11.0 to 12.0 (11.8±0.53) 13.0 to 14.9 (14.4±0.56)	Regional	Fútbol	Método: Radiografía de mano y muñeca; Roche (1988) & Tanner (1962)	Tardío, en tiempo, temprano	SJ, CMJ, Yo-Yo test, protocolo de siete sprints, agilidad (shuttle run)	Masa corporal, talla, talla sentado, cuatro pliegues cutáneos (tríceps, subescapular, cresta iliaca, pierna)
Gastin et al. (2013)	M (52)	-	Regional	Fútbol australiano	Método: cineantropometría; Ecuación: Mirwald et al. (2002)	Menos maduro, más maduro	20 m shuttle run test, sprint (20 m)	Masa corporal, talla, talla sentado
Gouvea et al. (2016)	M (28)	12.8±1.2	Semi-profesional	Fútbol	Método: Radiografía de mano y muñeca; Greulich & Pyle (1959)	Tardío, en tiempo, temprano	SJ, CMJ, fuerza de agarre manual, sit-and-reach test, sit-up test, Yo-Yo test	Masa corporal, talla, porcentaje de masa grasa (Método: Bod Pod; ecuación: Lohman), IMC

Guimaraes et al. (2019)	M (152)	13.3±0.7	Regional	Baloncesto	Método: cineantropometría; Ecuación: Mirwald et al. (2002)	Tardío, en tiempo, temprano	SJ, CMJ, lanzamiento de balón medicinal (3kg), Yo-Yo test, sprint (20 m), agilidad (T-test), fuerza de agarre manual	Masa corporal, talla, talla sentado, longitud de la pierna
Hammami et al. (2017)	M (56)	12 to 14	Élite	Balonmano	Método: cineantropometría; ecuación: Moore et al. (2015)	Pre-PVC, post-PVC	SJ, CMJ, SLJ, H-CMJ, H-SJ, 3HOPT, sprint (10, 20, 30 m), agilidad (T-half test), CODAT	Masa corporal, talla, porcentaje de masa grasa (Método: cineantropometría; ecuación: Slaughter)
Leonardi et al. (2018)	F (47)	13.5 (11.5-15.6)	Regional	Baloncesto	Método: maduración sexual; Edad de menarquia	Tardío, en tiempo, temprano	CMJ, Yo-Yo test, Line Drill test	Masa corporal, talla, BMI, cuatro pliegues cutáneos (tríceps, subescapular, cresta ilíaca, pierna)
López-Plaza et al. (2016)	M (89)	13.7±0.6	Élite	Kayak	Método: cineantropometría; Ecuación: Mirwald et al. (2002)	Pre-PVC, circum-PVC, post-PVC	SJ, CMJ, lanzamiento de balón medicinal (3kg), VO2max	Masa corporal, talla, talla sentado, IMC, seis pliegues cutáneos(tríceps, subescapular, bíceps, cresta ilíaca, supraespinal, pierna), porcentaje de masa grasa (Método: cineantropometría; ecuación: Slaughter), porcentaje de masa muscular (Método: cineantropometría; ecuación: Poortmans)
	M (82)	13.7±0.6	Élite	Canoa				
Matta et al. (2014)	M (114)	14.2±0.5	Regional	Fútbol	Método: maduración sexual sexual; Marshall & Tanner (1962)	Maduración sexual P3, P4, P5	SJ, CMJ, Yo-Yo test, RAST, sprint (5, 30 m), agilidad (T-test)	Masa corporal, talla, cuatro pliegues cutáneos (tríceps, subescapular, cresta ilíaca, pierna)
Matthys et al. (2012)	M (168)	14.5±0.13	Regional y Nacional	Balonmano	Método: cineantropometría; Ecuación: Mirwald et al. (2002)	Tardío, en tiempo, temprano	Test de cinco saltos, fuerza de agarre manual, sprint (5, 20 m)	Masa corporal, talla, talla sentado, porcentaje de grasa corporal (Método: impedancia bioeléctrica)

Sögüt et al. (2019)	F (61)	11.8±0.8	Nacional	Tenis	Método: Radiografía de mano y muñeca; Lohman & Roche (1988)	Tardío, temprano	Fuerza de agarre manual, agilidad (hexagon test)	Masa corporal, talla, talla sentado, dos pliegues cutáneos (tríceps, pierna), porcentaje de masa grasa (Método: cineantropometría; ecuación: Slaughter)
Valente-Dos Santos et al. (2014)	M (36)	12	Regional	Fútbol	Método: Radiografía de mano y muñeca; Roche (1988) Malina (2004)	Tardío, en tiempo, temprano	CMJ, agilidad (shuttle run test), velocidad de regateo	Masa corporal, talla, dos pliegues cutáneos (tríceps, pierna), porcentaje de masa grasa (Método: cineantropometría; ecuación: Slaughter), masa libre de grasa.
	M (53)	13						
	M (91)	14						
	M (51)	15						

X: media; DE: desviación estándar; M: masculino; F: femenino; P3: etapa de maduración que se produce en torno a los 12 años (mujeres) y 13 años (hombres); P4: etapa de maduración que se produce en torno a los 13 años (mujeres) y 14 años (hombres); P5: etapa de maduración que se produce en torno a los 15 años (hombres y mujeres); SJ: squat jump; CMJ: countermovement jump; ABK: salto abalakov; SLJ: squat long jump; H-CMJ: countermovement horizontal jump; H-SJ: squat jump horizontal; 3HOPT: prueba de tres saltos; CODAT: prueba de cambio de dirección y aceleración; RAST: prueba de sprint anaeróbico en carrera.

Tabla 2. Evaluación de la calidad de los estudios seleccionados.

Estudio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	100%	Total	
Arede et al. (2018)(Arede et al., 2019)	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	68.18	15	
Carling et al. (2012)	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	77.27	17	
Figueiredo et al. (2009)	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	68.18	15	
Gastin et al. (2013)	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	77.27	17	
Gouvea et al. (2016)	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	81.82	18
Guimaraes et al. (2019)	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	90.91	20
Hammani et al. (2017)	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	77.27	17
Leonardi et al. (2018)	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	77.27	17	
López-Plaza et al. (2016)	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	86.36	19	
Matta et al. (2014) (Matta et al., 2014)	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	72.73	16	
Matthys et al. (2012)	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	81.82	18	
Söğüt et al. (2019)	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	86.36	19	
Valente-Dos Santos et al. (2014)	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	86.36	19	
Media de las puntuaciones totales																							79.37	17.46	

#### 2.4.2. Resultados de condición física

En los 13 artículos incluidos en el análisis se utilizaron hasta 26 pruebas de condición física diferentes. Todos los estudios incluidos en el meta-análisis realizaron los test de condición física en varones ( $n=11$ ; 84,62%). Ninguna de las pruebas de condición física se repitió en los dos artículos que incluían mujeres ( $n=2$ ; 15,38%) y el meta-análisis no pudo realizarse en este grupo de población.

La tabla 3 muestra la media y la DE de cada variable de condición física según la maduración temprana, en tiempo y tardía, y los datos del metaanálisis (DME: diferencia de medias estandarizada; IC del 95%: intervalo de confianza del 95%, a: prueba del efecto global, p: significación). Para el análisis temprano vs. en tiempo, y para el análisis temprano vs. tardío, una DME positiva indica un valor más alto para la maduración temprana que para la maduración en tiempo o tardía. Para el análisis a tiempo frente al tardío, una DME positiva indica un valor más alto para el grupo de maduración a tiempo que para el grupo de maduración tardía. El meta-análisis mostró diferencias estadísticas entre los grupos de maduración temprana y a tiempo en el squat jump (SJ) (DEM=0,23;  $p=0,04$ ), counter movement jump (CMJ) (DEM=0,17;  $p=0,04$ ), lanzamiento de balón medicinal (DEM=0,99;  $p<0,001$ ) y fuerza de agarre de la mano (DEM=1,31;  $p<0,001$ ), con un mejor rendimiento para el grupo de maduración temprana. El análisis de las diferencias entre los grupos de maduración temprana y tardía mostró diferencias estadísticas en el CMJ (DEM=0,38;  $p=0,03$ ), el lanzamiento de balón medicinal (DEM=1,58;  $p<0,001$ ), la fuerza de agarre de manos (DEM=2,31;  $p<0,001$ ), el sprint (DEM=-0,94;  $p<0,001$ ) y la prueba T de agilidad (DEM=-0,52;  $p=0,001$ ), obteniendo mejores resultados el grupo de maduración temprana. Las pruebas de sprint (DEM=-0,42;  $p=0,05$ ), fuerza de agarre de manos (DEM=1,09;  $p<0,001$ ) y lanzamiento de balón medicinal (DEM=0,89;  $p<0,001$ ) mostraron diferencias estadísticas cuando se compararon los grupos en tiempo y los tardíos, obteniendo mejores resultados el grupo de maduradores en tiempo. El test Yo-Yo y el test de sit-and-reach no mostraron diferencias estadísticas en ninguno de los grupos comparados.

Tabla 3. Medias y diferencias estadísticas entre grupos de maduración en las variables de condición física y cineantropométricas.

	Número de estudios	Temprana (mean ± SD)	En tiempo (mean ± SD)	Tardía (mean ± SD)	Temprana vs en tiempo				Temprana vs tardía				En tiempo vs tardía			
					DEM	95% CI	Z	p	DEM	95% CI	Z	p	DEM	95% CI	Z	p
CMJ (m)	8 (tabla S1)	0,32±0,05	0,31±0,05	0,30±0,05	0,17	0,01 to 0,33	2,06	0,04	0,38	0,04 to 0,73	2,18	0,03	0,12	-0,07 to 0,31	1,20	0,23
SJ (m)	6 (tabla S2)	0,28±0,04	0,27±0,05	0,26±0,06	0,23	0,01 to 0,45	2,08	0,04	0,35	-0,21 to 0,92	1,22	0,22	0,04	-0,26 to 0,33	0,24	0,81
Balón medicinal (m)	3 (tabla S6)	5,96±0,94	5,19±0,71	4,60±0,76	0,99	0,73 to 1,25	7,40	<0,001	1,58	0,94 to 2,23	4,83	<0,001	0,89	0,60 to 1,18	6,04	<0,001
Fuerza de agarre manual (kg)	3 (tabla S5)	42,50±7,60	33,75±6,35	26,40±5,85	1,31	0,96 to 1,67	7,20	<0,001	2,31	1,79 to 2,84	8,70	<0,001	1,09	0,79 to 1,39	7,12	<0,001
Sprint 20 m (s)	6 (tabla S3)	3,24±0,23	3,39±0,20	3,43±0,22	-0,52	-1,07 to 0,04	1,81	0,07	-0,94	-1,54 to -0,34	3,08	<0,001	-0,42	-0,82 to 0,01	1,93	0,05
Yo-Yo test (m)	6 (tabla S4)	1150,41±488,92	1243,48±487,34	1154,44±374,73	-0,21	-0,54 to 0,12	1,22	0,22	0,05	-1,08 to 0,08	1,69	0,09	-0,16	-0,37 to 0,05	1,47	0,14
Agilidad T-test (s)	3 (tabla S7)	9,99±0,64	10,10±0,56	10,20±0,50	-0,19	-0,82 to 0,43	0,61	0,54	-0,52	-0,83 to 0,20	3,18	0,001	-0,13	-0,42 to 0,15	0,90	0,37
Sit-and-	4 (tabla S8)	0,12±0,08	0,11±0,09	0,11±0,07	0,23	-0,08 to 0,08	1,45	0,15	0,31	-0,08 to 0,08	1,56	0,12	0,02	-0,35 to 0,08	0,09	0,93



reach (m)						0,54				0,70				0,38			
Masa corporal (kg)	11 (tabla S10) M	63,47±8,47	54,37±8,00	45,96±7,26	1,07	0,77 to 1,38	6,84	<0,001	2,26	1,49 to 3,02	5,81	<0,001	1,29	0,99 to 1,59	8,41	<0,001	
Talla (m)	11 (tabla S9) M	1,69±0,06	1,63±0,07	1,56±0,13	0,90	0,50 to 1,29	4,44	<0,001	2,09	1,37 to 2,81	5,67	<0,001	1,13	0,76 to 1,50	6,04	<0,001	
Talla sentado (m)	3 (tabla S12) M	86,15±2,96	81,42±2,85	79,91±3,23	1,64	0,92 to 2,36	4,46	<0,001	2,56	1,22 to 3,91	3,74	<0,001	1,76	0,77 to 2,75	3,47	<0,001	
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	1 (tabla S13) M	21,93±2,59	20,52±2,38	18,76±1,73	0,54	0,20 to 0,88	3,13	0,002	1,35	0,65 to 2,05	3,80	<0,001	0,82	0,36 to 1,28	3,52	<0,001	
Masa grasa (%)	5 (tabla S11) M	15,76±5,32	13,75±4,60	12,49±4,77	0,37	0,06 to 0,67	2,33	0,02	0,52	-0,06 to 1,09	1,77	0,07	0,47	0,22 to 0,72	3,65	<0,001	
Masa corporal (kg)	2 (tabla S15) F	54,8±10,10	-	44,75±8,80	-	-	-	-	0,96	0,54 to 1,39	4,42	<0,001	-	-	-	-	
Talla (m)	2 (tabla S14) F	1,62±0,06	-	1,53±0,08	-	-	-	-	1,19	0,75 to 1,63	5,31	<0,001	-	-	-	-	
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	2 (tabla S16) F	20,5±3,27	-	18,65±2,54	-	-	-	-	0,56	-0,21 to 1,32	1,43	0,15	-	-	-	-	

SJ: Squat jump; CMJ: Counter movement jump; IMC: índice de masa corporal; DEM: Diferencia estandarizada de medias.

Se crearon *forest plots* en los casos en los que había al menos tres estudios y cuando al menos una de las comparaciones entre las variables era significativa (grupo de maduración temprano frente a tardío, temprano frente a en tiempo, o en tiempo frente a tardío). La figura 2 muestra los *forest plots* para T-test de SJ, CMJ, lanzamiento de balón medicinal, sprint de 20 m y agilidad. La prueba de Egger no evidenció un sesgo de publicación en el CMJ entre los maduradores en tiempo frente a los tardíos (SE=0,514; IC95%=-0,197-1,296; p=0,128), aunque se observó una ligera evidencia de sesgo de publicación para el CMJ entre los maduradores tempranos frente a en tiempo (SE=0,643; IC95%=0,031-2,180; p=0,045).

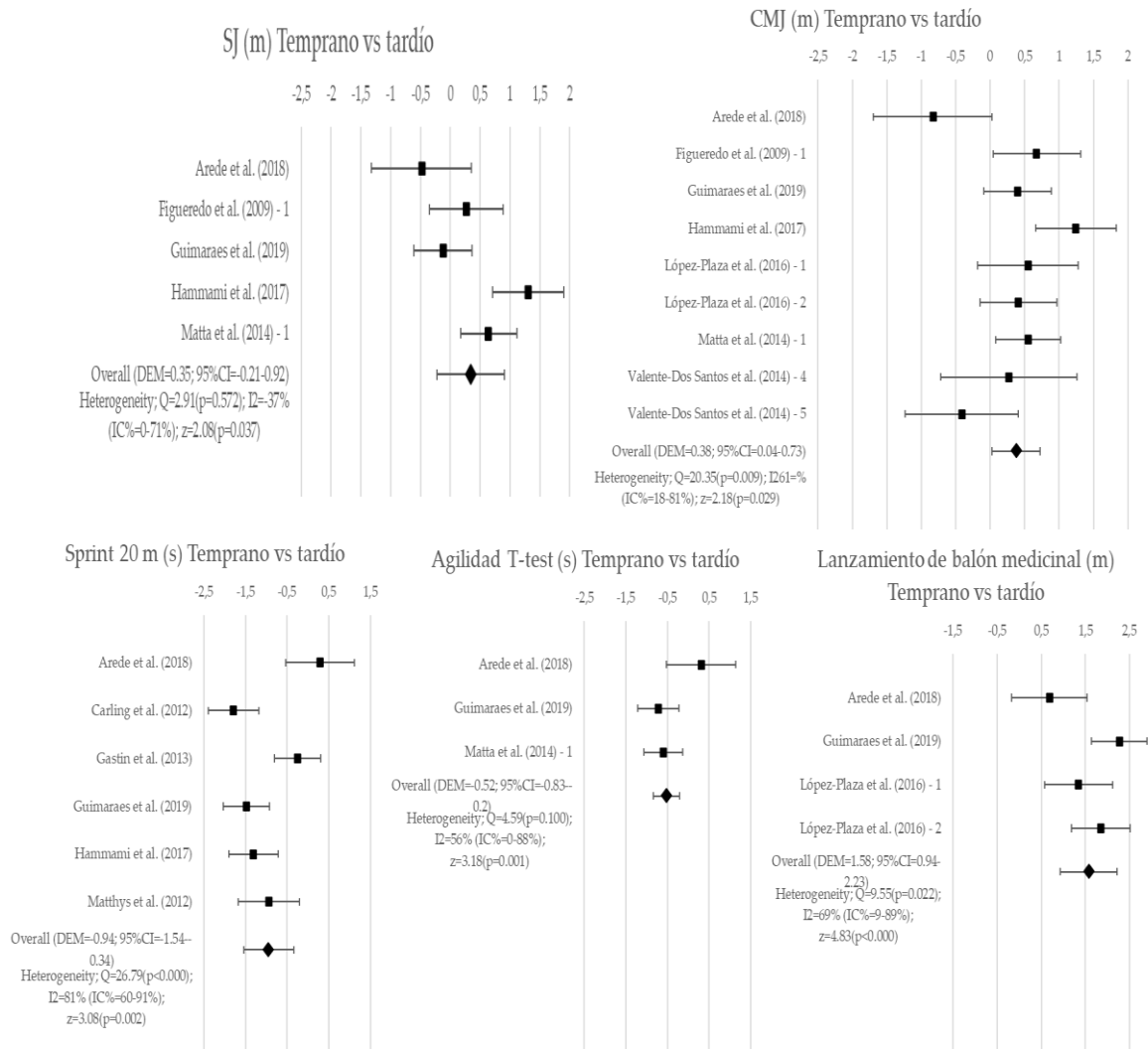


Figura 2. Forest plot de los maduradores tempranos y tardíos para las pruebas de condición física.

La prueba más utilizada fue el CMJ, encontrado en 11 artículos (84,61%). Dos artículos (18,18%) encontraron diferencias estadísticas para esta variable entre los grupos de maduración temprana y a tiempo (Figueiredo et al., 2009; López-Plaza et al., 2017a)[9,55] (Tabla S1); cuatro artículos (36,36%) encontraron diferencias entre los grupos de maduración temprana y tardía (Arede et al., 2019; Figueiredo et al., 2009; Hammami et al., 2018; Matta et al., 2014) (Tabla S1); y sólo uno (9,09%) entre los grupos de maduración a tiempo y tardía (Figueiredo et al., 2009) (Tabla S1). El test SJ y el test de sprint para diferentes distancias se utilizaron en siete artículos (53,85%, respectivamente). En el test de SJ se encontraron diferencias estadísticas entre los grupos de precocidad y de tiempo en un artículo (14,28%) (Figueiredo et al., 2009) (Tabla S2), y entre los de maduración temprana y tardía en dos de ellos (28,57%) (Hammami et al., 2018; Matta et al., 2014) (Tabla S2). En ninguno de los artículos analizados se encontraron diferencias en los grupos en tiempo y tardíos en el test de SJ (0%) (Tabla S2). Para la prueba de sprint, se encontraron diferencias en dos artículos (28,57%) cuando se compararon los grupos de maduración temprana y a tiempo (Carling et al., 2012; Guimarães et al., 2019) (Tabla S3); en cuatro artículos (57,14%) cuando se compararon los grupos de maduración temprana y tardía (Carling et al., 2012; Guimarães et al., 2019; Hammami et al., 2018; Matthys et al., 2012) (Tabla S3), y en dos (28,57%) artículos cuando los grupos comparados fueron a tiempo frente a los tempranos (Carling et al., 2012; Matthys et al., 2012) (Tabla S3). Para la prueba de recuperación intermitente del Yo-Yo (n=6; 46,15%), dos artículos (33,33%) encontraron diferencias estadísticas entre los grupos tempranos y los tardíos (Guimarães et al., 2019; Valente-Dos-Santos et al., 2014) (Tabla S4), cuatro artículos (66,67%) encontraron diferencias cuando se compararon los grupos de maduración temprana y tardía (Arede et al., 2019; Figueiredo et al., 2009; Guimarães et al., 2019; Valente-Dos-Santos et al., 2014) (Tabla S4), y dos artículos (33,33%) encontraron diferencias entre los grupos tempranos y los tardíos (Figueiredo et al., 2009; Valente-Dos-Santos et al., 2014) (Tabla S4). La prueba de fuerza de agarre de la mano (n=4; 30,76%), mostró diferencias estadísticas entre los tres grupos en todos los artículos (100%) que analizaron esta variable (Gouvea et al., 2016; Guimarães et al., 2019; Matthys et al., 2012; Söğüt et al., 2019) (Tabla S5). Todos los artículos que incluyeron el lanzamiento de balón medicinal (n=3; 23,08%) en la prueba de condición física

encontraron diferencias estadísticas entre los grupos (66,67%), excepto uno (33,33%) (Arede et al., 2019) (Tabla S6). En la prueba T de agilidad (n=3; 23,08%), se encontraron diferencias estadísticas para los grupos temprano y a tiempo en un artículo (33,33%)(Guimarães et al., 2019) (Tabla S7), para los grupos tardío y temprano en dos artículos (66,67%) (Guimarães et al., 2019; Matta et al., 2014) (Tabla S7), y para los grupos a tiempo y tardío en un artículo (33,33%) (Matta et al., 2014) (Tabla S7). No se encontraron diferencias en la prueba sit-and-reach (n=2; 15,38%), excepto en un artículo en la comparación entre maduradores tempranos y tardíos (50%) (López-Plaza et al., 2017a) (Tabla S8). Se puede encontrar información más detallada sobre las diferencias entre grupos en la prueba de condición física, incluyendo los tamaños de las muestras de cada grupo en los diferentes estudios y el peso específico (%), en los materiales suplementarios (Tablas S1-S8).

Tabla S1. Comparación entre grupos de maduración para la variable counter movement jump (CMJ) (cm).

	Authors	Grupo A		Grupo B		DEM	95% CI		z	p	Peso específico (%)
		N	Media±DE	N	Media±DE		Min	Max			
Temprana (Grupo A) and En tiempo (Grupo B)	Arede et al. (2018)	15	30,04±5,00	10	32,04±3,04	-0,45	-1,26	0,37	1,08	0,281	4,0
	Figueiredo et al. (2009) - 1	25	26,30±5,20	45	25,80±5,50	0,09	-0,40	0,58	0,37	0,713	11,0
	Figueiredo et al. (2009) - 2	23	33,90±3,90	45	31,50±4,90	0,52	0,01	1,03	1,99	0,047	10,1
	Guimaraes et al. (2019)	30	31,60±6,00	84	29,50±6,00	0,35	-0,07	0,77	1,62	0,104	14,9
	López-Plaza et al. (2016) - 1	44	38,00±7,00	36	34,00±6,00	0,60	0,15	1,05	2,62	0,008	12,9
	López-Plaza et al. (2016) - 2	30	35,00±8,00	30	33,00±7,00	0,26	-0,25	0,77	1,01	0,311	10,1
	Matta et al. (2014)	41	31,10±5,50	41	30,20±5,00	0,17	-0,26	0,60	0,77	0,443	13,9
	Valente-Dos Santos et al. (2014) - 2	8	28,40±3,50	37	29,00±5,70	-0,11	-0,87	0,66	0,28	0,779	4,5
	Valente-Dos Santos et al. (2014) - 3	21	30,20±5,80	62	31,80±5,80	-0,27	-0,77	0,22	1,08	0,280	10,6
	Valente-Dos Santos et al. (2014) - 4	21	32,90±3,60	27	34,00±4,90	-0,25	-0,82	0,33	0,85	0,398	8,0
Diferencia estandarizada de medias agrupadas						0,17	0,01	0,33	2,06	0,038	100
Temprana (Grupo A) and Tardía (Grupo C)	Authors	N	Media±DE	N	Media±DE	DEM	95% CI		z	p	Peso específico (%)
	Arede et al. (2018)	15	30,04±5,00	9	34,70±6,14	-0,83	-1,69	0,04	1,87	0,061	8,7
	Figueiredo et al. (2009) - 1	25	26,30±5,20	17	22,70±5,40	0,67	0,03	1,30	2,07	0,038	11,6
	Guimaraes et al. (2019)	30	31,60±6,00	36	29,30±5,30	0,40	-0,09	0,89	1,62	0,106	13,8
	Hammami et al. (2017)	22	30,42±5,39	34	24,76±3,86	1,24	0,65	1,82	4,13	<0,001	12,3
	López-Plaza et al. (2016) - 1	44	38,00±7,00	9	34,00±8,00	0,55	-0,18	1,28	1,49	0,137	10,3
	López-Plaza et al. (2016) - 2	30	35,00±8,00	22	32,00±6,00	0,41	-0,15	0,97	1,44	0,149	12,7
	Matta et al. (2014)	41	31,10±5,50	32	28,30±4,30	0,55	0,08	1,02	2,30	0,021	14,1
	Valente-Dos Santos et al. (2014) - 2	8	28,40±3,50	8	27,40±3,50	0,27	-0,72	1,26	0,54	0,591	7,4
	Valente-Dos Santos et al. (2014) - 3	21	30,20±5,80	8	32,60±5,40	-0,41	-1,23	0,41	0,98	0,329	9,1
Diferencia estandarizada de medias agrupadas						0,38	0,04	0,73	2,18	0,029	100
En tiempo (Grupo B) and Tardía (Grupo C)	Authors	N	Media±DE	N	Media±DE	DEM	95% CI		z	p	Peso específico (%)
	Arede et al. (2018)	10	32,04±3,04	9	34,70±6,14	-0,53	-1,45	0,39	1,14	0,255	4,4
	Figueiredo et al. (2009) - 1	45	25,80±5,50	17	22,70±5,40	0,56	-0,01	1,13	1,93	0,053	11,5
	Gouvea et al. (2016)	18	28,40±3,60	6	28,50±3,90	-0,03	-0,95	0,90	0,06	0,955	4,3

Guimaraes et al. (2019)	84	29,50±6,00	36	29,30±5,30	0,03	-0,36	0,42	0,17	0,863	24,2
López-Plaza et al. (2016) - 1	36	34,00±6,00	9	34,00±8,00	0,00	-0,73	0,73	0,00	1,000	6,9
López-Plaza et al. (2016) - 2	30	33,00±7,00	22	32,00±6,00	0,15	-0,40	0,70	0,53	0,595	12,2
Matta et al. (2014)	41	30,20±5,00	32	28,30±4,30	0,40	-0,07	0,87	1,68	0,093	16,9
Valente-Dos Santos et al. (2014) - 1	22	26,50±5,10	10	28,30±3,00	-0,38	-1,14	0,37	1,00	0,318	6,5
Valente-Dos Santos et al. (2014) - 2	37	29,00±5,70	8	27,40±3,50	0,29	-0,48	1,06	0,74	0,457	6,3
Valente-Dos Santos et al. (2014) - 3	62	31,80±5,80	8	32,60±5,40	-0,14	-0,87	0,60	0,37	0,714	6,8
Diferencia estandarizada de medias agrupadas					0,12	-0,07	0,31	1,20	0,229	100

Figueiredo et al. (2009) – 1: 11.0-12.9 años; Figueiredo et al. (2009) – 2: 13.0-14.9 años; López-Plaza et al. (2016) – 1: kayak; López-Plaza et al. (2016) – 2: canoa; Valente-Dos Santos et al. (2014) – 1: 12 años; Valente-Dos Santos et al. (2014) – 2: 13 años; Valente-Dos Santos et al. (2014) – 3: 14 años; Valente-Dos Santos et al. (2014) – 4: 15 años.

Tabla S2. Comparación entre grupos de maduración para la variable squat jump (SJ) (cm).

Temprana (Grupo A) and En tiempo (Grupo B)	Authors	Grupo A		Grupo B		DEM	95% CI		z	p	Peso específico (%)
		N	Media±DE	N	Media±DE		Min	Max			
	Arede et al. (2018)	15	30,91±2,07	10	30,83±4,76	0,02	-0,78	0,82	0,06	0,955	7,6
	Figueiredo et al. (2009) - 1	25	24,90±5,60	45	24,70±5,10	0,04	-0,45	0,53	0,15	0,880	20,3
	Figueiredo et al. (2009) - 2	23	30,60±4,00	45	28,40±3,70	0,57	0,06	1,08	2,19	0,028	18,5
	Guimaraes et al. (2019)	30	25,50±6,20	84	24,70±5,80	0,13	-0,28	0,55	0,63	0,527	27,9
	Matta et al. (2014)	41	27,80±4,50	41	26,40±4,30	0,32	-0,12	0,75	1,42	0,156	25,6
	Diferencia estandarizada de medias agrupadas					0,23	0,01	0,45	2,08	0,037	100
Temprana (Grupo A) and Tardía (Grupo C)	Authors	Grupo A		Grupo C		DEM	95% CI		z	p	Peso específico (%)
		N	Media±DE	N	Media±DE		Min	Max			
	Arede et al. (2018)	15	30,91±2,07	9	33,02±6,56	-0,48	-1,31	0,36	1,11	0,267	16,5
	Figueiredo et al. (2009) - 1	25	24,90±5,60	17	23,30±6,30	0,27	-0,35	0,89	0,84	0,398	19,7
	Guimaraes et al. (2019)	30	25,50±6,20	36	26,30±6,90	-0,12	-0,60	0,37	0,48	0,627	21,7
	Hammami et al. (2017)	22	29,05±3,88	34	23,88±3,88	1,31	0,72	1,91	4,34	<0,001	20,1
	Matta et al. (2014)	41	27,80±4,50	32	24,90±4,50	0,64	0,16	1,11	2,63	0,008	21,9
	Diferencia estandarizada de medias agrupadas					0,35	-0,21	0,92	1,22	0,221	100
En tiempo (Grupo B) and Tardía (Grupo C)	Authors	Grupo B		Grupo C		DEM	95% CI		z	p	Peso específico (%)
		N	Media±DE	N	Media±DE		Min	Max			
	Arede et al. (2018)	10	30,83±4,76	9	33,02±6,56	-0,37	-1,28	0,54	0,79	0,427	9,2
	Figueiredo et al. (2009) - 1	45	24,70±5,10	17	23,30±6,30	0,25	-0,31	0,81	0,89	0,374	20,8
	Gouvea et al. (2016)	18	29,20±4,70	6	28,50±3,90	0,15	-0,78	1,07	0,32	0,751	8,9
	Guimaraes et al. (2019)	84	24,70±5,80	36	26,30±6,90	-0,26	-0,65	0,13	1,29	0,195	34,0
	Matta et al. (2014)	41	26,40±4,30	32	24,90±4,50	0,34	-0,13	0,80	1,42	0,154	27,1
	Diferencia estandarizada de medias agrupadas					0,04	-0,26	0,33	0,24	0,809	100

Figueiredo et al. (2009) - 1: 11.0-12.9 años; Figueiredo et al. (2009) - 2: 13.0-14.9 años



Tabla S3. Comparación entre grupos de maduración para la variable 20 metros sprint test (s).

Temprana (Grupo A) and En tiempo (Grupo B)	Authors	Grupo A		Grupo B		DEM	95% CI		z	p	Peso específico (%)
		N	Media±DE	N	Media±DE		Min	Max			
	Arede et al. (2018)	15	3,17±0,13	10	3,11±0,12	0,46	-0,35	1,27	1,11	0,267	19,5
	Carling et al. (2012)	34	3,23±0,12	98	3,34±0,13	-0,86	-1,26	-0,45	4,16	<0,001	28,3
	Guimaraes et al. (2019)	30	3,40±0,20	84	3,70±0,30	-1,07	-1,51	-0,63	4,78	<0,001	27,5
	Matthys et al. (2012)	13	3,36±0,22	135	3,42±0,22	-0,27	-0,84	0,30	0,93	0,350	24,7
	Diferencia estandarizada de medias agrupadas					-0,52	-1,07	0,04	1,81	0,069	100
Temprana (Grupo A) and Tardía (Grupo C)	Authors	Grupo A		Grupo C		DEM	95% CI		z	p	Peso específico (%)
		N	Media±DE	N	Media±DE		Min	Max			
	Arede et al. (2018)	15	3,17±0,13	9	3,13±0,14	0,29	-0,54	1,12	0,68	0,495	14,8
	Carling et al. (2012)	34	3,23±0,12	26	3,44±0,11	-1,79	-2,40	-1,18	5,76	<0,001	17,1
	Gastin et al. (2013)	25	3,50±0,40	25	3,60±0,40	-0,25	-0,80	0,31	0,87	0,386	17,6
	Guimaraes et al. (2019)	30	3,40±0,20	36	3,70±0,20	-1,48	-2,03	-0,93	5,28	<0,001	17,6
	Hammami et al. (2017)	22	2,80±0,30	34	3,16±0,25	-1,31	-1,90	-0,72	4,34	<0,001	17,2
	Matthys et al. (2012)	13	3,36±0,22	20	3,56±0,20	-0,94	-1,68	-0,20	2,49	0,012	15,7
	Diferencia estandarizada de medias agrupadas					-0,94	-1,54	-0,34	3,08	0,002	100
En tiempo (Grupo B) and Tardía (Grupo C)	Authors	Grupo B		Grupo C		DEM	95% CI		z	p	Peso específico (%)
		N	Media±DE	N	Media±DE		Min	Max			
	Arede et al. (2018)	10	3,11±0,12	9	3,13±0,14	-0,15	-1,05	0,75	0,32	0,749	14,3
	Carling et al. (2012)	98	3,34±0,13	26	3,44±0,11	-0,79	-1,23	-0,34	3,48	<0,001	28,3
	Guimaraes et al. (2019)	84	3,70±0,30	36	3,70±0,20	0,00	-0,39	0,39	0,00	1,000	30,4
	Matthys et al. (2012)	135	3,42±0,22	20	3,56±0,20	-0,64	-1,12	-0,17	2,64	0,008	27,0
	Diferencia estandarizada de medias agrupadas					-0,42	-0,84	0,01	1,93	0,053	100

Tabla S4. Comparación entre grupos de maduración para la variable Yo-Yo test (m).

	Authors	Grupo A		Grupo B		DEM	95% CI		z	p	Peso específico (%)
		N	Media±DE	N	Media±DE		Min	Max			
Temprana (Grupo A) and En tiempo (Grupo B)	Arede et al. (2018)	15	817,14±328,62	10	1062,22±371,54	-0,68	-1,51	0,14	1,62	0,104	8,8
	Figueiredo et al. (2009) - 1	25	1208,00±788,00	45	1308,00±657,00	-0,14	-0,63	0,35	0,56	0,574	13,6
	Figueiredo et al. (2009) - 2	23	2617,00±902,00	45	2478,00±935,00	0,15	-0,35	0,65	0,58	0,562	13,4
	Guimaraes et al. (2019)	30	882,70±362,20	84	728,60±370,20	0,42	0,00	0,84	1,94	0,052	14,8
	Matta et al. (2014)	41	682,40±380,50	41	639,00±395,00	0,11	-0,32	0,54	0,50	0,616	14,6
	Valente-Dos Santos et al. (2014) - 2	8	820,00±420,00	37	1044,00±332,00	-0,63	-1,41	0,14	1,60	0,110	9,4
	Valente-Dos Santos et al. (2014) - 3	21	950,00±334,00	62	1286,00±402,00	-0,86	-1,37	-0,35	3,29	<0,001	13,2
	Valente-Dos Santos et al. (2014) - 4	21	1226,00±396,00	27	1402,00±436,00	-0,41	-0,99	0,16	1,40	0,160	12,2
Diferencia estandarizada de medias agrupadas						-0,21	-0,54	0,12	1,22	0,222	100
	Authors	Grupo A		Grupo C		DEM	95% CI		z	p	Peso específico (%)
		N	Media±DE	N	Media±DE		Min	Max			
Temprana (Grupo A) and Tardía (Grupo C)	Arede et al. (2018)	15	817,14±328,62	9	1164,44±194,37	-1,17	-2,07	-0,27	2,54	0,011	14,7
	Figueiredo et al. (2009) - 1	25	1208,00±788,00	17	1774,00±725,00	-0,73	-1,36	-0,09	2,24	0,025	18,0
	Guimaraes et al. (2019)	30	882,70±362,20	36	712,20±277,10	0,53	0,04	1,02	2,10	0,035	19,7
	Matta et al. (2014)	41	682,40±380,50	32	720,00±469,90	-0,09	-0,55	0,37	0,37	0,708	20,0
	Valente-Dos Santos et al. (2014) - 2	8	820,00±420,00	8	1382,00±286,00	-1,48	-2,62	-0,33	2,53	0,011	12,1
	Valente-Dos Santos et al. (2014) - 3	21	950,00±334,00	8	1174,00±296,00	-0,67	-1,51	0,16	1,57	0,115	15,5
Diferencia estandarizada de medias agrupadas						-0,50	-1,08	0,08	1,69	0,091	100
	Authors	Grupo B		Grupo C		DEM	95% CI		z	p	Peso específico (%)
		N	Media±DE	N	Media±DE		Min	Max			
Grupo B) and Tardía (Grupo C)	Arede et al. (2018)	10	1062,22±371,54	9	1164,44±194,37	-0,34	-1,25	0,57	0,73	0,464	5,6
	Figueiredo et al. (2009) - 1	45	1308,00±657,00	17	1774,00±725,00	-0,69	-1,26	-0,12	2,37	0,018	14,0
	Gouvea et al. (2016)	18	655,60±185,20	6	520,00±207,10	0,71	-0,24	1,66	1,47	0,140	5,1
	Guimaraes et al. (2019)	84	728,60±370,20	36	712,20±277,10	0,05	-0,34	0,44	0,24	0,811	30,1

Matta et al. (2014)	41	639,00±395,00	32	720,00±469,90	-0,19	-0,65	0,27	0,80	0,424	21,4
Valente-Dos Santos et al. (2014) - 1	22	962,00±274,00	10	978,00±416,00	-0,05	-0,80	0,70	0,13	0,896	8,2
Valente-Dos Santos et al. (2014) - 2	37	1044,00±332,00	8	1382,00±286,00	-1,04	-1,84	-0,24	2,56	0,010	7,3
Valente-Dos Santos et al. (2014) - 3	62	1286,00±402,00	8	1174,00±296,00	0,29	-0,45	1,02	0,76	0,448	8,4
Diferencia estandarizada de medias agrupadas					-0,16	-0,37	0,05	1,47	0,141	100

Figueiredo et al. (2009) – 1: 11.0-12.9 años; Figueiredo et al. (2009) – 2: 13.0-14.9 años; Valente-Dos Santos et al. (2014) – 1: 12 años; Valente-Dos Santos et al. (2014) – 2: 13 años; Valente-Dos Santos et al. (2014) – 3: 14 años; Valente-Dos Santos et al. (2014) – 4: 15 años.

Tabla S5. Comparación entre grupos de maduración para la variable fuerza de agarre manual (Kg).

Temprana (Grupo A) and En tiempo (Grupo B)	Hand grip strength (kg)	Grupo A		Grupo B		DEM	95% CI		z	p	Peso específico (%)
	N	Media±DE	N	Media±DE	Min		Max				
	Guimaraes et al. (2019)	30	33,00±6,00	84	25,70±5,60	1,27	0,82	1,72	5,54	<0,001	63,4
	Matthys et al. (2012)	13	52,00±9,20	135	41,80±7,10	1,39	0,80	1,98	4,61	<0,001	36,6
	Diferencia estandarizada de medias agrupadas					1,31	0,96	1,67	7,20	<0,001	100
Temprana (Grupo A) and Tardía (Grupo C)	Hand grip strength (kg)	Grupo A		Grupo C		DEM	95% CI		z	p	Peso específico (%)
	N	Media±DE	N	Media±DE	Min		Max				
	Guimaraes et al. (2019)	30	33,00±6,00	36	21,00±4,60	2,25	1,62	2,87	7,04	<0,001	69,5
	Matthys et al. (2012)	13	52,00±9,20	20	31,80±7,10	2,47	1,53	3,41	5,13	<0,001	30,5
	Diferencia estandarizada de medias agrupadas					2,31	1,79	2,84	8,70	<0,001	100
En tiempo (Grupo B) and Tardía (Grupo C)	Hand grip strength (kg)	Grupo B		Grupo C		DEM	95% CI		z	p	Peso específico (%)
	N	Media±DE	N	Media±DE	Min		Max				
	Gouvea et al. (2016)	18	28,90±7,60	6	21,20±3,30	1,08	0,10	2,07	2,16	0,030	9,3
	Guimaraes et al. (2019)	84	25,70±5,60	36	21,00±4,60	0,88	0,47	1,28	4,23	<0,001	54,2
	Matthys et al. (2012)	135	41,80±7,10	20	31,80±7,10	1,40	0,91	1,90	5,54	<0,001	36,5
	Diferencia estandarizada de medias agrupadas					1,09	0,79	1,39	7,12	<0,001	100

Tabla S6. Comparación entre grupos de maduración para la variable lanzamiento de balón medicinal (m).

Temprana (Grupo A) and En tiempo (Grupo B)	Authors	Grupo A		Grupo B		DEM	95% CI		z	p	Peso específico (%)
		N	Media±DE	N	Media±DE		Min	Max			
	Arede et al. (2018)	15	6,20±0,73	10	5,96±0,33	0,38	-0,43	1,19	0,93	0,353	10,5
	Guimaraes et al. (2019)	30	4,50±0,80	84	3,60±0,60	1,36	0,91	1,81	5,87	<0,001	33,3
	López-Plaza et al. (2016) - 1	44	6,64±1,12	36	5,85±1,00	0,73	0,28	1,19	3,15	0,001	33,1
	López-Plaza et al. (2016) - 2	30	6,48±1,11	30	5,36±0,89	1,10	0,55	1,64	3,95	<0,001	23,1
	Diferencia estandarizada de medias agrupadas					0,99	0,73	1,25	7,40	<0,001	100
Temprana (Grupo A) and Tardía (Grupo C)	Authors	Grupo A		Grupo C		DEM	95% CI		z	p	Peso específico (%)
		N	Media±DE	N	Media±DE		Min	Max			
	Arede et al. (2018)	15	6,20±0,73	9	5,58±1,06	0,69	-0,16	1,55	1,59	0,111	22,3
	Guimaraes et al. (2019)	30	4,50±0,80	36	3,00±0,50	2,27	1,64	2,90	7,08	<0,001	27,2
	López-Plaza et al. (2016) - 1	44	6,64±1,12	9	5,20±0,65	1,34	0,57	2,10	3,43	<0,001	24,2
	López-Plaza et al. (2016) - 2	30	6,48±1,11	22	4,61±0,81	1,85	1,19	2,51	5,47	<0,001	26,4
	Diferencia estandarizada de medias agrupadas					1,58	0,94	2,23	4,83	<0,001	100
En tiempo (Grupo B) and Tardía (Grupo C)	Authors	Grupo B		Grupo C		DEM	95% CI		z	p	Peso específico (%)
		N	Media±DE	N	Media±DE		Min	Max			
	Arede et al. (2018)	10	5,96±0,33	9	5,58±1,06	0,50	-0,42	1,41	1,06	0,288	10,0
	Guimaraes et al. (2019)	84	3,60±0,60	36	3,00±0,5	1,05	0,64	1,46	4,98	<0,001	49,4
	López-Plaza et al. (2016) - 1	36	5,85±1,00	9	5,20±0,65	0,69	-0,06	1,43	1,81	0,070	15,2
	López-Plaza et al. (2016) - 2	30	5,36±0,89	22	4,61±0,81	0,87	0,30	1,45	2,98	0,002	25,4
	Diferencia estandarizada de medias agrupadas					0,89	0,60	1,18	6,04	<0,001	100

López-Plaza et al. (2016) – 1: kayak; López-Plaza et al. (2016) – 2: canoa.

Tabla S7. Comparación entre grupos de maduración para la variable T-test (s).

	Authors	Grupo A		Grupo B		DEM	95% CI		z	p	Peso específico (%)
		N	Media±DE	N	Media±DE		Min	Max			
Temprana (Grupo A) and En tiempo (Grupo B)	Arede et al. (2018)	15	10,18±0,63	10	9,88±0,37	0,53	-0,28	1,35	1,28	0,199	25,6
	Guimaraes et al. (2019)	30	9,50±0,60	84	10,00±0,70	-0,74	-1,16	-0,31	3,37	<0,001	37,3
	Matta et al. (2014)	41	10,30±0,70	41	10,40±0,60	-0,15	-0,59	0,28	0,69	0,492	37,1
	Diferencia estandarizada de medias agrupadas					-0,19	-0,82	0,43	0,61	0,543	100
	Authors	Grupo A		Grupo C		DEM	95% CI		z	p	Peso específico (%)
		N	Media±DE	N	Media±DE		Min	Max			
Temprana (Grupo A) and Tardía (Grupo C)	Arede et al. (2018)	15	10,18±0,63	9	10,00±0,39	0,31	-0,52	1,15	0,74	0,460	14,6
	Guimaraes et al. (2019)	30	9,50±0,60	36	9,90±0,50	-0,72	-1,22	-0,22	2,82	0,004	40,3
	Matta et al. (2014)	41	10,30±0,70	32	10,70±0,60	-0,60	-1,07	-0,13	2,49	0,012	45,1
	Diferencia estandarizada de medias agrupadas					-0,52	-0,83	-0,20	3,18	0,001	100
	Authors	Grupo B		Grupo C		DEM	95% CI		z	p	Peso específico (%)
		N	Media±DE	N	Media±DE		Min	Max			
En tiempo (Grupo B) and Tardía (Grupo C)	Arede et al. (2018)	10	9,88±0,37	9	10,00±0,39	-0,30	-1,21	0,60	0,65	0,513	9,9
	Guimaraes et al. (2019)	84	10,00±0,70	36	9,90±0,50	0,15	-0,24	0,54	0,77	0,441	53,2
	Matta et al. (2014)	41	10,40±0,60	32	10,70±0,60	-0,49	-0,96	-0,03	2,06	0,038	36,9
	Diferencia estandarizada de medias agrupadas					-0,13	-0,42	0,15	0,90	0,369	100

Tabla S8. Comparación entre grupos de maduración para la variable sit-and-reach test (cm).

Temprana (Grupo A) and En tiempo (Grupo B)	Authors	Grupo A		Grupo B		DEM	95% CI		z	p	Peso específico (%)
		N	Media±DE	N	Media±DE		Min	Max			
	Arede et al. (2018)	15	21,54±10,57	10	20,58±11,86	0,08	-0,72	0,88	0,20	0,837	14,8
	López-Plaza et al. (2016) - 1	44	9,19±6,43	36	7,84±6,34	0,21	-0,23	0,65	0,93	0,353	48,6
	López-Plaza et al. (2016) - 2	30	5,69±8,24	30	3,17±7,84	0,31	-0,20	0,82	1,19	0,233	36,6
	Diferencia estandarizada de medias agrupadas					0,23	-0,08	0,54	1,45	0,148	100
Temprana (Grupo A) and Tardía (Grupo C)	Authors	Grupo A		Grupo C		DEM	95% CI		z	p	Peso específico (%)
		N	Media±DE	N	Media±DE		Min	Max			
	Arede et al. (2018)	15	21,54±10,57	9	24,9±8,85	-0,34	-1,17	0,50	0,79	0,427	22,1
	López-Plaza et al. (2016) - 1	44	9,19±6,43	9	7,58±5,52	0,26	-0,46	0,97	0,70	0,485	29,7
	López-Plaza et al. (2016) - 2	30	5,69±8,24	22	0,52±7,75	0,64	0,08	1,21	2,23	0,025	48,2
	Diferencia estandarizada de medias agrupadas					0,31	-0,08	0,70	1,56	0,11947	100
En tiempo (Grupo B) and Tardía (Grupo C)	Authors	Grupo B		Grupo C		DEM	95% CI		z	p	Peso específico (%)
		N	Media±DE	N	Media±DE		Min	Max			
	Arede et al. (2018)	10	20,58±11,86	9	24,9±8,85	-0,41	-1,32	0,50	0,88	0,378	16,1
	Gouvea et al. (2016)	18	28,00±6,60	6	31,40±7,40	-0,50	-1,44	0,43	1,05	0,294	15,3
	López-Plaza et al. (2016) - 1	36	7,84±6,34	9	7,58±5,52	0,04	-0,69	0,77	0,11	0,910	25,1
	López-Plaza et al. (2016) - 2	30	3,17±7,84	22	0,52±7,75	0,34	-0,21	0,89	1,20	0,229	43,5
	Diferencia estandarizada de medias agrupadas					0,02	-0,35	0,38	0,09	0,931	100

López-Plaza et al. (2016) – 1: kayak; López-Plaza et al. (2016) – 2: canoa.

### 2.4.3. Resultados de las variables cineantropométricas

En los 13 artículos analizados, se utilizaron un total de 11 variables cineantropométricas. La tabla 3 muestra los resultados de las diferencias entre grupos para las variables cineantropométricas, incluyendo las medias y desviaciones estándar, la diferencia de medias estandarizada (DME), el IC del 95%, el efecto de tamaño global (Z) y la significación (p). El meta-análisis se realizó en cinco variables cineantropométricas en los varones (masa corporal, talla, talla sentado, IMC, porcentaje de masa grasa) debido a la falta de información proporcionada sobre las otras variables. De éstas, sólo se pudieron incluir la masa corporal, la talla y el IMC en el análisis de los artículos realizados con mujeres, y no hubo posibilidad de incluir el grupo de maduración en tiempo.

En los varones, todas las variables utilizadas para comparar los tres grupos mostraron diferencias estadísticas (DME=0,37-2,56;  $p<0,001-0,02$ ), mostrando que una maduración temprana se relaciona con valores más altos de masa corporal, talla, talla sentado, IMC y porcentaje de masa grasa. En las mujeres, hubo diferencias estadísticas entre los maduradores tempranos y tardíos en la masa corporal (DEM=0,96;  $p<0,001$ ) y la talla (DEM=1,19;  $p<0,001$ ), encontrando valores más altos en estas variables para los individuos más maduros (Tabla 3).

La figura 3 muestra los *forest plots* para la talla, la talla sentado, la masa corporal y la masa grasa. Al igual que en el caso de las variables de condición física, los *forest plots* se crearon cuando había al menos tres estudios y cuando al menos una de las comparaciones entre las variables era significativa (maduración temprana frente a tardía, temprana frente a en tiempo, o en tiempo frente a tardía). La prueba de Egger no reveló ninguna evidencia de sesgo de publicación para la talla en la comparación de maduración temprana frente a en tiempo (SE=0,152; IC del 95%=-1,876-2,925;  $p=0,637$ ); ni la talla entre los grupos de maduración temprana frente a la tardía (SE=-0.083; IC 95%: -3.183-2.512;  $p=0,798$ ); ni la talla entre maduradores en tiempo y tarde (SE=0.540; IC 95%=-0.137-2.883;  $p=0,070$ ), ni en el peso entre maduradores tempranos y tardíos (SE=-0.489; IC 95%=-3.421-0.632;  $p=0,151$ ).



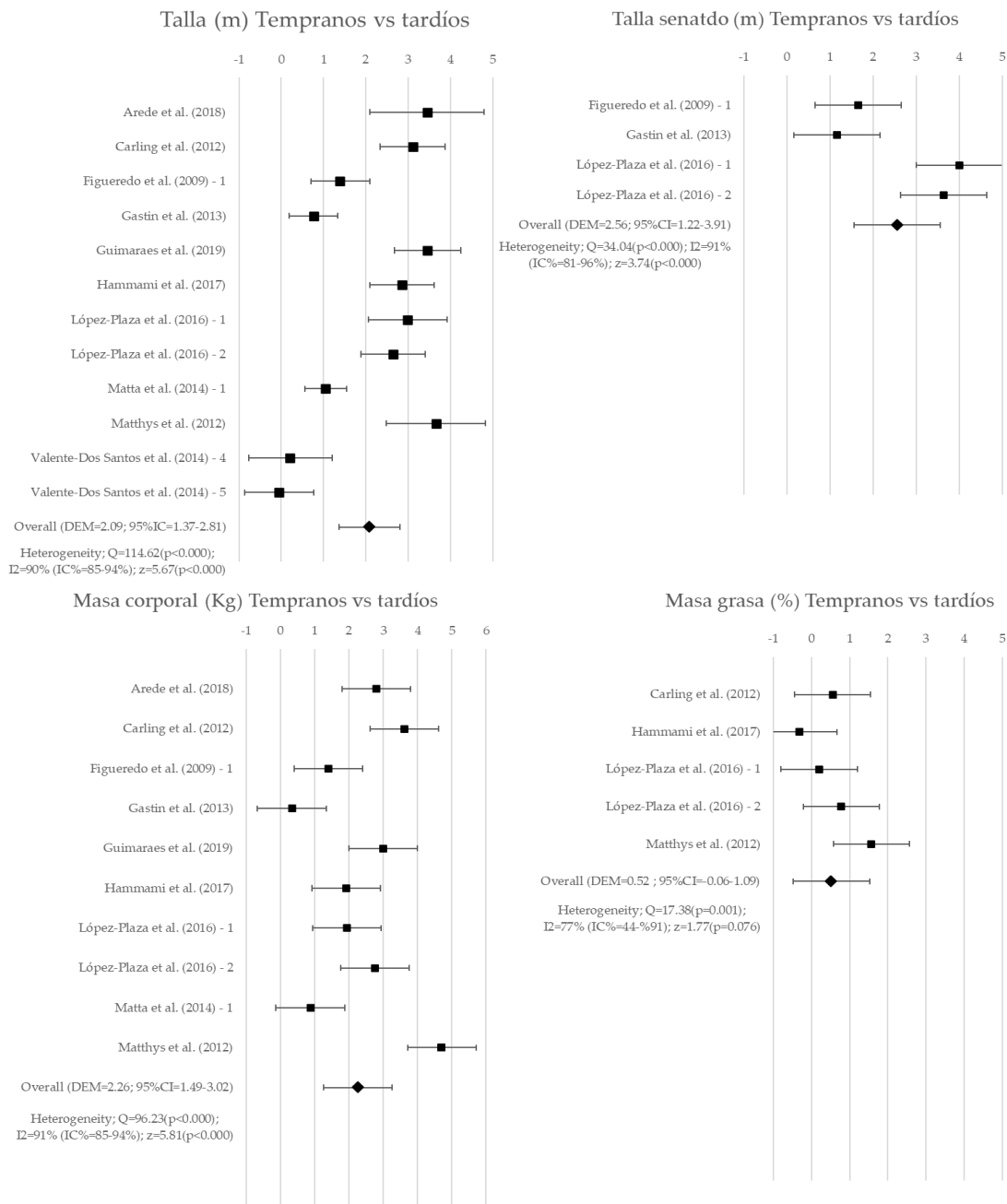


Figura 3. Forest plot de los maduradores tempranos y tardíos para las variables cineantropométricas.

Todos los artículos proporcionaron información sobre la talla y la masa corporal de los participantes (n=13; 100%). Se encontraron diferencias estadísticas entre los tres grupos para la talla, excepto en un artículo (7,7%) (Valente-Dos-Santos et al., 2014) (Tablas S9, S14). Todos los artículos informaron de diferencias estadísticas en la masa corporal entre los grupos, excepto Matta et al. (2014) (7,7%) cuando se compararon los grupos tempranos y a tiempo, y Gastin et al. (2013) (7,7%) cuando se compararon los grupos tempranos y tardíos (Tablas S10, S15). El porcentaje de masa grasa se evaluó en siete artículos (53,84%). Sólo un artículo encontró diferencias estadísticas en el porcentaje de masa grasa entre los grupos tempranos y a tiempo (14,28%) (Matthys et al., 2012) (Tabla S11); tres artículos encontraron diferencias estadísticas entre los grupos tempranos y tardíos (42,86%) (Carling et al., 2012; López-Plaza et al., 2017a; Matthys et al., 2013) (Tabla S11); y cuatro artículos encontraron diferencias entre los grupos en tiempo y tardíos (57,14%) (Carling et al., 2012; Gouvea et al., 2016; López-Plaza et al., 2017a; Matthys et al., 2012) (Tabla S11). La talla sentado se utilizó en seis artículos (46,16%), pero sólo tres incluyeron los datos en los resultados (Figueiredo et al., 2009; Gastin et al., 2013; López-Plaza et al., 2017a). Se encontraron diferencias estadísticas para todos los grupos en la talla sentado (100%) (Figueiredo et al., 2009; Gastin et al., 2013; López-Plaza et al., 2017a) (Tabla S12). Las diferencias en el IMC se analizaron en tres artículos (23,07%). Se encontraron diferencias estadísticas para todos los grupos, excepto en la comparación entre maduradores tardíos y tempranos según Söğüt et al. (2019) (33,33%), y en la comparación entre maduradores a tiempo y tardíos según López-Plaza et al. (2017a) (33,33%) (Tablas S13, S16). Información más detallada sobre las diferencias entre grupos para las variables cineantropométricas, incluyendo los tamaños de las muestras de cada grupo en los diferentes estudios y el peso específico (%), se puede encontrar en los materiales suplementarios (Tablas S9-S16).

**Variables cineantropométricas: Hombres**

Tabla S9. Comparación entre grupos de maduración para la variable talla (cm).

	Authors	Grupo A		Grupo B		DEM	95% CI		z	p	Peso específico (%)
		N	Media±DE	N	Media±DE		Min	Max			
Temprana (Grupo A) and En tiempo (Grupo B)	Arede et al. (2018)	15	187,35±5,11	10	179,45±6,05	1,39	0,49	2,29	3,01	0,002	6,6
	Carling et al. (2012)	34	171,00±6,20	98	163,50±8,20	0,96	0,56	1,37	4,63	<0,001	9,1
	Figueiredo et al. (2009) - 1	25	148,40±7,30	45	144,60±5,90	0,58	0,09	1,08	2,30	0,021	8,7
	Figueiredo et al. (2009) - 2	23	169,10±6,00	45	162,20±8,80	0,86	0,33	1,38	3,20	0,001	8,5
	Guimaraes et al. (2019)	30	177,90±5,70	84	164,30±7,80	1,85	1,36	2,33	7,49	<0,001	8,7
	López-Plaza et al. (2016) - 1	44	172,94±4,75	36	165,70±4,65	1,52	1,02	2,03	5,94	<0,001	8,6
	López-Plaza et al. (2016) - 2	30	170,73±5,56	30	162,30±7,17	1,30	0,74	1,86	4,54	<0,001	8,4
	Matta et al. (2014)	41	167,90±6,80	41	165,20±7,30	0,38	-0,06	0,82	1,70	0,089	9,0
	Matthys et al. (2012)	13	182,60±7,60	135	171,60±5,90	1,81	1,20	2,41	5,84	<0,001	8,1
	Valente-Dos Santos et al. (2014) - 2	8	155,30±7,00	37	151,60±6,80	0,53	-0,24	1,30	1,35	0,177	7,3
	Valente-Dos Santos et al. (2014) - 3	21	160,10±7,60	62	161,40±6,40	-0,19	-0,69	0,30	0,76	0,448	8,7
	Valente-Dos Santos et al. (2014) - 4	21	167,10±6,10	27	168,00±6,10	-0,15	-0,72	0,43	0,50	0,618	8,3
	Diferencia estandarizada de medias agrupadas						0,90	0,50	1,29	4,44	<0,001
Temprana (Grupo A) and Tardía (Grupo C)	Authors	N	Media±DE	N	Media±DE	DEM	95% CI		z	p	Peso específico (%)
	Arede et al. (2018)	15	187,35±5,11	9	170,70±3,76	3,45	2,10	4,80	5,01	<0,001	7,1
	Carling et al. (2012)	34	171,00±6,20	26	152,90±5,10	3,11	2,34	3,87	7,92	<0,001	8,5
	Figueiredo et al. (2009) - 1	25	148,40±7,30	17	139,40±4,50	1,39	0,70	2,09	3,96	<0,001	8,7
	Gastin et al. (2013)	25	168,50±11,30	25	159,50±11,80	0,77	0,19	1,34	2,61	0,009	8,9
	Guimaraes et al. (2019)	30	177,90±5,70	36	154,50±7,40	3,46	2,68	4,24	8,72	<0,001	8,5
	Hammami et al. (2017)	22	175,05±5,12	34	156,71±7,00	2,85	2,09	3,62	7,29	<0,001	8,5
	López-Plaza et al. (2016) - 1	44	172,94±4,75	9	158,30±5,21	2,99	2,06	3,92	6,30	<0,001	8,2
	López-Plaza et al. (2016) - 2	30	170,73±5,56	22	153,13±7,69	2,65	1,89	3,41	6,80	<0,001	8,5
	Matta et al. (2014)	41	167,90±6,80	32	159,10±9,90	1,05	0,56	1,54	4,16	<0,001	9,0
	Matthys et al. (2012)	13	182,60±7,60	20	157,80±5,90	3,66	2,49	4,83	6,12	<0,001	7,6
	Valente-Dos Santos et al. (2014) - 2	8	155,30±7,00	8	149,10±38,50	0,21	-0,77	1,20	0,42	0,672	8,0
	Valente-Dos Santos et al. (2014) - 3	21	160,10±7,60	8	161,50±52,70	-0,05	-0,86	0,77	0,12	0,905	8,4

		Diferencia estandarizada de medias agrupadas				2,09	1,37	2,81	5,67	<0,001	100
En tiempo (Grupo B) and Tardía (Grupo C)	Authors	Grupo B		Grupo C		DEM	95% CI		z	p	Peso específico (%)
		N	Media±DE	N	Media±DE		Min	Max			
	Arede et al. (2018)	10	179,45±6,05	9	170,70±3,76	1,64	0,56	2,71	2,99	0,002	5,9
	Carling et al. (2012)	98	163,50±8,20	26	152,90±5,10	1,37	0,91	1,84	5,78	<0,001	9,9
	Figueiredo et al. (2009) - 1	45	144,60±5,90	17	139,40±4,50	0,92	0,34	1,51	3,11	0,001	9,1
	Gouvea et al. (2016)	18	160,70±11,00	6	142,00±4,10	1,83	0,75	2,91	3,31	<0,001	5,8
	Guimaraes et al. (2019)	84	164,30±7,80	36	154,50±7,40	1,27	0,84	1,69	5,87	<0,001	10,2
	López-Plaza et al. (2016) - 1	36	165,70±4,65	9	158,30±5,21	1,53	0,73	2,33	3,73	<0,001	7,5
	López-Plaza et al. (2016) - 2	30	162,30±7,17	22	153,13±7,69	1,22	0,62	1,82	3,98	<0,001	8,9
	Matta et al. (2014)	41	165,20±7,30	32	159,10±9,90	0,71	0,23	1,18	2,91	0,003	9,8
	Matthys et al. (2012)	135	171,60±5,90	20	157,80±5,90	2,33	1,79	2,87	8,48	<0,001	9,4
	Valente-Dos Santos et al. (2014) - 1	22	146,90±6,20	10	117,50±70,60	0,73	-0,04	1,51	1,87	0,062	7,7
	Valente-Dos Santos et al. (2014) - 2	37	151,60±6,80	8	149,10±38,50	0,15	-0,62	0,91	0,38	0,706	7,8
	Valente-Dos Santos et al. (2014) - 3	62	161,40±6,40	8	161,50±52,70	-0,01	-0,74	0,73	0,01	0,988	8,0
	Diferencia estandarizada de medias agrupadas					1,13	0,76	1,50	6,04	<0,001	100

Figueiredo et al. (2009) – 1: 11.0-12.9 años; Figueiredo et al. (2009) – 2: 13.0-14.9 años; López-Plaza et al. (2016) – 1: kayak; López-Plaza et al. (2016) – 2: canoa; Valente-Dos Santos et al. (2014) – 1: 12 años; Valente-Dos Santos et al. (2014) – 2: 13 años; Valente-Dos Santos et al. (2014) – 3: 14 años; Valente-Dos Santos et al. (2014) – 4: 15 años.

Tabla S10. Comparación entre grupos de maduración para la variable masa corporal (kg).

	Authors	Grupo A		Grupo B		DEM	95% CI		z	p	Peso específico (%)
		N	Media±DE	N	Media±DE		Min	Max			
Temprana (Grupo A) and En tiempo (Grupo B)	Arede et al. (2018)	15	78,63±7,79	10	69,13±7,20	1,21	0,33	2,09	2,70	0,006	7,0
	Carling et al. (2012)	34	60,60±6,60	98	52,00±8,20	1,09	0,68	1,51	5,19	<0,001	12,8
	Figueiredo et al. (2009) - 1	25	42,10±7,10	45	37,50±5,10	0,77	0,27	1,28	2,99	0,002	11,5
	Figueiredo et al. (2009) - 2	23	60,20±8,70	45	52,30±9,00	0,88	0,35	1,40	3,28	0,001	11,2
	Guimaraes et al. (2019)	30	65,70±7,60	84	54,80±9,00	1,25	0,80	1,70	5,47	<0,001	12,3
	López-Plaza et al. (2016) - 1	44	64,78±8,66	36	56,35±6,80	1,06	0,59	1,53	4,40	<0,001	12,0
	López-Plaza et al. (2016) - 2	30	64,82±8,60	30	54,36±9,63	1,13	0,58	1,68	4,05	<0,001	10,9
	Matta et al. (2014)	41	58,20±12,30	41	54,50±9,10	0,34	-0,10	0,77	1,52	0,127	12,5
	Matthys et al. (2012)	13	76,20±8,90	135	58,40±8,00	2,19	1,57	2,82	6,90	<0,001	9,9
	Diferencia estandarizada de medias agrupadas						1,07	0,77	1,38	6,84	<0,001
	Authors	Grupo A		Grupo C		DEM	95% CI		z	p	Peso específico (%)
		N	Media±DE	N	Media±DE		Min	Max			
Temprana (Grupo A) and Tardía (Grupo C)	Arede et al. (2018)	15	78,63±7,79	9	57,58±6,34	2,79	1,59	3,98	4,57	<0,001	8,9
	Carling et al. (2012)	34	60,60±6,60	26	40,60±3,40	3,62	2,78	4,46	8,42	<0,001	10,0
	Figueiredo et al. (2009) - 1	25	42,10±7,10	17	33,60±3,60	1,40	0,71	2,09	3,97	<0,001	10,4
	Gastin et al. (2013)	25	58,20±13,60	25	53,40±15,40	0,33	-0,23	0,88	1,14	0,253	10,7
	Guimaraes et al. (2019)	30	65,70±7,60	36	43,10±7,30	3,00	2,29	3,72	8,21	<0,001	10,3
	Hammami et al. (2017)	22	66,70±8,92	34	48,33±9,77	1,92	1,27	2,57	5,78	<0,001	10,5
	López-Plaza et al. (2016) - 1	44	64,78±8,66	9	48,40±6,27	1,94	1,12	2,75	4,67	<0,001	10,1
	López-Plaza et al. (2016) - 2	30	64,82±8,60	22	42,97±6,55	2,76	1,98	3,54	6,94	<0,001	10,1
	Matta et al. (2014)	41	58,20±12,30	32	48,60±8,80	0,87	0,39	1,36	3,52	<0,001	10,9
	Matthys et al. (2012)	13	76,20±8,90	20	43,00±5,20	4,71	3,31	6,11	6,61	<0,001	8,2
Diferencia estandarizada de medias agrupadas						2,26	1,49	3,02	5,81	<0,001	100
	Authors	Grupo B		Grupo C		DEM	95% CI		z	p	Peso específico (%)
		N	Media±DE	N	Media±DE		Min	Max			
En tiempo (Grupo B) and Tardía (Grupo C)	Arede et al. (2018)	10	69,13±7,20	9	57,58±6,34	1,62	0,55	2,69	2,97	0,003	5,8
	Carling et al. (2012)	98	52,00±8,20	26	40,60±3,40	1,52	1,04	1,99	6,28	<0,001	14,0
	Figueiredo et al. (2009) - 1	45	37,50±5,10	17	33,60±3,60	0,81	0,23	1,39	2,76	0,005	12,0
	Gouvea et al. (2016)	18	49,30±11,90	6	34,50±3,00	1,35	0,34	2,37	2,61	0,008	6,2

Guimaraes et al. (2019)	84	54,80±9,00	36	43,10±7,30	1,36	0,93	1,79	6,24	<0,001	14,9
López-Plaza et al. (2016) - 1	36	56,35±6,80	9	48,40±6,27	1,16	0,39	1,94	2,96	0,003	8,9
López-Plaza et al. (2016) - 2	30	54,36±9,63	22	42,97±6,55	1,32	0,71	1,93	4,25	<0,001	11,4
Matta et al. (2014)	41	54,50±9,10	32	48,60±8,80	0,65	0,18	1,13	2,69	0,007	13,9
Matthys et al. (2012)	135	58,40±8,00	20	43,00±5,20	1,99	1,47	2,51	7,49	<0,001	13,0
Diferencia estandarizada de medias agrupadas					1,29	0,99	1,59	8,41	<0,001	100

Figueiredo et al. (2009) – 1: 11.0-12.9 años; Figueiredo et al. (2009) – 2: 13.0-14.9 años; López-Plaza et al. (2016) – 1: kayak; López-Plaza et al. (2016) – 2: canoa.

Tabla S11. Comparación entre grupos de maduración para la variable masa grasa (%).

Temprana (Grupo A) and En tiempo (Grupo B)	Authors	Grupo A		Grupo B		DEM	95% CI		z	p	Peso específico (%)
		N	Media±DE	N	Media±DE		Min	Max			
	Carling et al. (2012)	34	12,90±2,50	98	12,40±2,20	0,22	-0,17	0,61	1,09	0,274	30,8
	López-Plaza et al. (2016) - 1	44	16,39±6,39	36	15,47±4,64	0,16	-0,28	0,60	0,71	0,475	27,1
	López-Plaza et al. (2016) - 2	30	18,16±9,00	30	15,43±7,36	0,33	-0,18	0,84	1,26	0,207	22,8
	Matthys et al. (2012)	13	15,60±3,40	135	11,70±4,20	0,94	0,36	1,52	3,17	0,001	19,3
	Diferencia estandarizada de medias agrupadas					0,37	0,06	0,67	2,33	0,019	100
Temprana (Grupo A) and Tardía (Grupo C)	Authors	Grupo A		Grupo C		DEM	95% CI		z	p	Peso específico (%)
		N	Media±DE	N	Media±DE		Min	Max			
	Carling et al. (2012)	34	12,90±2,50	26	11,50±2,50	0,55	0,03	1,07	2,08	0,037	21,7
	Hammami et al. (2017)	22	12,26±6,41	34	14,45±6,47	-0,33	-0,88	0,21	1,22	0,224	21,4
	López-Plaza et al. (2016) - 1	44	16,39±6,39	9	15,11±6,05	0,20	-0,52	0,92	0,54	0,587	18,7
	López-Plaza et al. (2016) - 2	30	18,16±9,00	22	12,30±4,45	0,78	0,20	1,35	2,66	0,007	20,9
	Matthys et al. (2012)	13	15,60±3,40	20	9,10±4,40	1,57	0,76	2,38	3,81	<0,001	17,4
	Diferencia estandarizada de medias agrupadas					0,52	-0,06	1,09	1,77	0,076	100
En tiempo (Grupo B) and Tardía (Grupo C)	Authors	Grupo B		Grupo C		DEM	95% CI		z	p	Peso específico (%)
		N	Media±DE	N	Media±DE		Min	Max			
	Carling et al. (2012)	98	12,40±2,20	26	11,50±2,50	0,39	-0,04	0,83	1,78	0,075	33,2
	Gouvea et al. (2016)	18	11,70±3,20	6	8,70±4,00	0,85	-0,11	1,81	1,74	0,082	6,8
	López-Plaza et al. (2016) - 1	36	15,47±4,64	9	15,11±6,05	0,07	-0,66	0,80	0,19	0,847	11,8
	López-Plaza et al. (2016) - 2	30	15,43±7,36	22	12,30±4,45	0,49	-0,07	1,05	1,72	0,086	20,2
	Matthys et al. (2012)	135	11,70±4,20	20	9,10±4,40	0,61	0,14	1,09	2,53	0,011	28,0
	Diferencia estandarizada de medias agrupadas					0,47	0,22	0,72	3,65	<0,001	100

López-Plaza et al. (2016) - 1: kayak; López-Plaza et al. (2016) - 2: canoa.

Tabla S12. Comparación entre grupos de maduración para la variable talla sentado (cm).

Temprana (Grupo A) and En tiempo (Grupo B)	Authors	Grupo A		Grupo B		DEM	95% CI		z	p	Peso específico (%)
		N	Media±DE	N	Media±DE		Min	Max			
	Figueiredo et al. (2009) - 1	25	75,00±2,70	45	72,70±2,70	0,84	0,33	1,35	3,24	0,001	25,8
	Figueiredo et al. (2009) - 2	23	85,50±3,60	45	80,30±4,20	1,28	0,73	1,83	4,57	<0,001	25,3
	López-Plaza et al. (2016) - 1	44	92,91±2,64	36	86,89±2,19	2,44	1,85	3,02	8,14	<0,001	24,8
	López-Plaza et al. (2016) - 2	30	91,17±2,90	30	85,77±2,30	2,04	1,41	2,67	6,33	<0,001	24,1
	Diferencia estandarizada de medias agrupadas					1,64	0,92	2,36	4,46	<0,001	100
Temprana (Grupo A) and Tardía (Grupo C)	Authors	Grupo A		Grupo C		DEM	95% CI		z	p	Peso específico (%)
		N	Media±DE	N	Media±DE		Min	Max			
	Figueiredo et al. (2009) - 1	25	75,00±2,70	17	70,60±2,50	1,65	0,93	2,37	4,49	<0,001	25,7
	Gastin et al. (2013)	25	92,00±3,60	25	87,40±4,20	1,16	0,55	1,76	3,76	<0,001	26,2
	López-Plaza et al. (2016) - 1	44	92,91±2,64	9	82,07±2,83	4,00	2,93	5,07	7,34	<0,001	23,6
	López-Plaza et al. (2016) - 2	30	91,17±2,90	22	79,60±3,42	3,64	2,73	4,55	7,82	<0,001	24,6
	Diferencia estandarizada de medias agrupadas					2,56	1,22	3,91	3,74	<0,001	100
En tiempo (Grupo B) and Tardía (Grupo C)	Authors	Grupo B		Grupo C		DEM	95% CI		z	p	Peso específico (%)
		N	Media±DE	N	Media±DE		Min	Max			
	Figueiredo et al. (2009) - 1	45	72,70±2,70	17	70,60±2,50	0,78	0,21	1,36	2,67	0,007	35,7
	López-Plaza et al. (2016) - 1	36	86,89±2,19	9	82,07±2,83	2,04	1,19	2,89	4,68	<0,001	30,8
	López-Plaza et al. (2016) - 2	30	85,77±2,30	22	79,60±3,42	2,15	1,45	2,85	6,04	<0,001	33,6
	Diferencia estandarizada de medias agrupadas					1,63	0,69	2,57	3,39	<0,001	100

Figueiredo et al. (2009) – 1: 11.0-12.9 años; Figueiredo et al. (2009) – 2: 13.0-14.9 años; López-Plaza et al. (2016) – 1: kayak; López-Plaza et al. (2016) – 2: canoa.



Tabla S13. Comparación entre grupos de maduración para la variable IMC (kg/m<sup>2</sup>).

Temprana (Grupo A) and En tiempo (Grupo B)	Authors	Grupo A		Grupo B		DEM	95% CI		z	p	Peso específico (%)
		N	Media±DE	N	Media±DE		Min	Max			
	López-Plaza et al. (2016) - 1	44	21,63±2,49	36	20,49±1,98	0,50	0,05	0,94	2,17	0,029	57,3
	López-Plaza et al. (2016) - 2	30	22,22±2,69	30	20,55±2,79	0,60	0,08	1,12	2,28	0,022	42,7
	Diferencia estandarizada de medias agrupadas					0,54	0,20	0,88	3,13	0,001	100
Temprana (Grupo A) and Tardía (Grupo C)	Authors	Grupo A		Grupo C		DEM	95% CI		z	p	Peso específico (%)
		N	Media±DE	N	Media±DE		Min	Max			
	López-Plaza et al. (2016) - 1	44	21,63±2,49	9	19,27±1,79	0,97	0,23	1,71	2,56	0,010	46,6
	López-Plaza et al. (2016) - 2	30	22,22±2,69	22	18,25±1,68	1,69	1,04	2,33	5,12	<0,001	53,4
	Diferencia estandarizada de medias agrupadas					1,35	0,65	2,05	3,80	<0,001	100
En tiempo (Grupo B) and Tardía (Grupo C)	Authors	Grupo B		Grupo C		DEM	95% CI		z	p	Peso específico (%)
		N	Media±DE	N	Media±DE		Min	Max			
	López-Plaza et al. (2016) - 1	36	20,49±1,98	9	19,27±1,79	0,62	-0,13	1,36	1,63	0,103	38,1
	López-Plaza et al. (2016) - 2	30	20,55±2,79	22	18,25±1,68	0,95	0,37	1,53	3,20	0,001	61,9
	Diferencia estandarizada de medias agrupadas					0,82	0,36	1,28	3,52	<0,001	100

López-Plaza et al. (2016) – 1: kayak; López-Plaza et al. (2016) – 2: canoa.

**Variables cineantropométricas: Mujeres**

Tabla S14. Comparación entre grupos de maduración para la variable talla (cm).

Temprana (Grupo A) and Tardía (Grupo C)	Authors	Grupo A		Grupo C		DEM	95% CI		z	p	Peso específico (%)
		N	Media±DE	N	Media±DE		Min	Max			
	Leonardi et al. (2018)	27	166,00±6,22	12	158,10±9,79	1,04	0,32	1,76	2,82	0,004	37,1
	Söğüt et al. (2019)	30	157,50±6,80	31	148,80±6,60	1,28	0,73	1,84	4,53	<0,001	62,9
	Diferencia estandarizada de medias agrupadas					1,19	0,75	1,63	5,31	<0,001	100

Tabla S15. Comparación entre grupos de maduración para la variable masa corporal (kg).

Temprana (Grupo A) and Tardía (Grupo C)	Authors	Grupo A		Grupo C		DEM	95% CI		z	p	Peso específico (%)
	N	Media±DE	N	Media±DE	Min		Max				
	Leonardi et al. (2018)	27	61,80±9,79	12	48,90±11,20	1,24	0,50	1,97	3,28	0,001	33,5
	Söğüt et al. (2019)	30	47,80±10,40	31	40,60±6,40	0,83	0,30	1,35	3,09	0,002	66,5
	Diferencia estandarizada de medias agrupadas					0,96	0,54	1,39	4,42	<0,001	100

Tabla S16. Comparación entre grupos de maduración para la variable IMC (kg/m<sup>2</sup>).

Temprana (Grupo A) and Tardía (Grupo C)	Authors	Grupo A		Grupo C		DEM	95% CI		z	p	Peso específico (%)
		N	Media±DE	N	Media±DE		Min	Max			
	Leonardi et al. (2018)	27	22,20±3,04	12	19,10±3,08	1,00	0,28	1,71	2,71	0,006	44,5
	Söğüt et al. (2019)	30	18,80±3,50	31	18,20±2,00	0,21	-0,29	0,71	0,81	0,416	55,5
	Diferencia estandarizada de medias agrupadas					0,56	-0,21	1,32	1,43	0,153	100

## 2.5. – Discusión

El objetivo principal de la presente revisión con meta-análisis fue mostrar las relaciones entre las diferentes etapas de maduración biológica y la condición física de los jóvenes atletas. La maduración biológica demostró tener una relación estadísticamente significativa con la condición física en los varones. Cuando se realizó una comparación entre diferentes grupos de maduración, se observó una tendencia a obtener mejores resultados cuando el proceso de maduración era más avanzado. Analizando las diferencias globales entre los grupos de maduración, se encontraron diferencias significativas en las pruebas de lanzamiento de balón medicinal y de fuerza de agarre de la mano. Además, se encontraron diferencias significativas en el CMJ entre los grupos temprano y en tiempo, y temprano y tardío; en el sprint entre los grupos temprano y tardío, y en tiempo y tardío; en la prueba SJ entre los grupos temprano y en tiempo; y en las pruebas T de agilidad entre los grupos temprano y tardío. Todas las pruebas en las que se encontraron diferencias estaban relacionadas con la capacidad de producir potencia y fuerza (Arede et al., 2019; López-Plaza et al., 2017a). La producción de fuerza depende de factores neuronales en las primeras etapas de las adaptaciones del entrenamiento, pero también está muy influenciada por el aumento de la masa muscular (Moritani & deVries, 1979; Petré et al., 2018). Entre los factores que afectan positivamente a la producción de fuerza muscular, se ha observado que uno de los factores clave es la masa muscular, existiendo una relación entre el aumento de la masa muscular y la producción de fuerza (Fitts et al., 1991; Kraemer & Newton, 2000). La testosterona, que es un índice del eje hipotálamo-hipófisis-gonadal, un sistema neuroendocrino primario implicado en el avance de la pubertad, tiene un marcado incremento durante la adolescencia en los varones (Fitts et al., 1991; Handelsman et al., 2018). Después de la adolescencia, los sujetos masculinos podrían tener hasta 30 veces más testosterona (Handelsman et al., 2018). Esta hormona esteroidea juega un papel determinante en el rendimiento deportivo, por el efecto que produce en la ganancia de masa muscular magra (Handelsman et al., 2018; Vingren et al., 2010). Esto podría explicar los mejores resultados obtenidos por los sujetos más maduros respecto a sus compañeros menos maduros en la prueba de condición física que dependía directamente de la masa muscular. Sin embargo, de los estudios analizados, sólo dos incluyeron variables relacionadas con la masa muscular (López-Plaza et al., 2017a; Valente-

Dos-Santos et al., 2014). López-Plaza et al. (2017a) analizaron el porcentaje de masa muscular, sin encontrar diferencias entre grupos. Debido al uso de un valor relativo para evaluar la masa muscular (%) en lugar del peso absoluto de la masa muscular (kg) (López-Plaza et al., 2017a), y junto con el hecho de que otras masas corporales como la masa grasa pueden aumentar durante el periodo de crecimiento, como se encontró en el presente estudio, el uso de porcentajes musculares podría indicar que falta alguna información sobre las diferencias absolutas entre los grupos de maduración en relación con la masa muscular, lo que podría explicar las diferencias en el rendimiento. Valente dos Santos et al. (2014), evaluaron la masa libre de grasa restando la masa grasa a la masa corporal total. La masa libre de grasa incluye varios tejidos como la masa ósea, la masa cutánea o la masa visceral, además de la masa muscular (Carter, 1982; Ross & Kerr, 1991), lo que puede llevar a una subestimación de los cambios producidos en los músculos. Futuros estudios de investigación podrían aclarar la relación entre la masa muscular y el rendimiento en atletas jóvenes.

No se encontraron diferencias en la prueba Yo-Yo ni en la prueba de sit-and-reach. El test Yo-Yo se utiliza para valorar el VO<sub>2</sub> Max, como principal variable de la capacidad aeróbica (Arede et al., 2019; Figueiredo et al., 2009). El rendimiento aeróbico parece estar más influenciado por las variables de entrenamiento que por otras variables (Knechtle et al., 2011a; Knechtle et al., 2011b; Tanda & Knechtle, 2015), y se ha demostrado que la edad en la que se alcanza el máximo rendimiento está lejos del desarrollo de la adolescencia (Zingg et al., 2014), lo que podría ser una explicación a la falta de diferencias entre los grupos de maduración. La prueba de sit-and-reach evalúa la extensibilidad de los músculos isquiosurales (Ayala et al., 2012). Esta musculatura tiende a acortarse debido a factores histológicos y biomecánicos, pero también puede verse influida por la edad y la práctica de determinados deportes (López-Miñarro et al., 2014; Vaquero-Cristóbal et al., 2015). En cambio, la extensibilidad parece ser sensible a los cambios producidos por el entrenamiento, mejorando la tolerancia al estiramiento y produciendo adaptaciones morfológicas y neurológicas (Avrillon et al., 2020). Los efectos compensatorios del entrenamiento, frente a la tendencia al acortamiento que muestran los isquiotibiales, podrían ser la causa de la ausencia de diferencias estadísticas entre los grupos de maduración.

Cuando se compararon las variables cineantropométricas, se encontraron diferencias significativas en la masa corporal, la talla y la talla sentado en los varones. Las hembras mostraron diferencias estadísticas en la masa corporal y la estatura. El proceso de maduración pareció tener una relación estadísticamente significativa con las variables cineantropométricas, en tanto que los maduradores tempranos mostraron valores más altos en todas las variables. Las diferencias mostradas en la masa corporal y la estatura podrían estar relacionadas con los cambios en la concentración hormonal alrededor de la EPVC (Malina & Bouchard, 1991). En esta línea, los esteroides sexuales, cuya concentración aumenta durante el proceso de maduración (Handelsman et al., 2018), juegan un papel importante en la acumulación de grasa y masa magra (Klaver et al., 2018) y podrían ser la causa de las diferencias observadas en la masa corporal. Asimismo, la hormona del crecimiento (GH) tiene una importante influencia en el proceso de maduración (Richmond & Rogol, 2016). Se ha observado un aumento de la concentración de GH durante la pubertad, duplicando los valores basales anteriores (Saenger, 2003). La talla está marcadamente influenciada por la GH. Por lo tanto, las diferencias observadas en la talla entre los grupos podrían estar relacionadas con el hecho de que el aumento de la GH está estrechamente relacionado en el tiempo con el PVC (Saenger, 2003). Además, el cuerpo no crece proporcionalmente, y el crecimiento se inicia antes en las estructuras craneales, proximales y generales (Malina & Bouchard, 1991; Mirwald et al., 2002). En consecuencia, los maduradores tempranos mostraban una mayor estatura sentada que los maduradores tardíos. Sin embargo, ninguno de los estudios analizó los cambios en las mujeres, por lo que este es un tema importante para futuras investigaciones.

En el presente estudio se observó que el proceso de maduración parecía tener una relación estadística con el IMC en los hombres, pero no en las mujeres. El IMC es una variable que relaciona la masa corporal y la talla (Ode et al., 2007). La talla está influenciada principalmente por la GH durante el periodo de crecimiento en ambos sexos (Saenger, 2003). A pesar de ello, la masa corporal no pudo diferenciarse entre las masas grasa, muscular, ósea, cutánea y residual (Ode et al., 2007) y, aunque todas ellas aumentaron durante el periodo de crecimiento (Perchard & Clayton, 2017; Veldhuis et al., 2005), estos cambios dependen del sexo. En esta línea, los varones mostraron un mayor aumento de la masa

muscular como consecuencia de los cambios de la testosterona (Handelsman et al., 2018). La masa muscular pesa más que las demás masas (Cabañas & Esparza, 2009; Vaquero-Cristóbal et al., 2016), lo que podría inducir un mayor aumento de la masa corporal que no podría compensarse con el aumento de la talla en los varones. A pesar de estos resultados prometedores, siguen existiendo interrogantes.

Otro resultado importante fue que se demostró que el proceso madurativo influye en el porcentaje de grasa en los varones (Holmgren et al., 2017; Reinehr et al., 2017; Sandhu et al., 2005). Ninguno de los estudios analizó los cambios en las mujeres. Las diferencias encontradas entre los grupos tempranos y a tiempo, y a tiempo y tardíos podrían estar relacionadas con la relación positiva entre una mayor cantidad de tejido adiposo y un proceso madurativo más temprano y corto (Holmgren et al., 2017; Sandhu et al., 2005). Además, la interacción entre las hormonas sexuales y el eje GH/Factor de Crecimiento Similar a la Insulina-I parece ser el principal determinante del cambio en la composición corporal durante la adolescencia, por lo que los cambios en torno al PVC podrían estar influyendo en las diferencias encontradas en la masa grasa (Perchard & Clayton, 2017; Veldhuis et al., 2005). A pesar de estos prometedores resultados, siguen existiendo dudas sobre los cambios en función del sexo.

Los artículos incluidos en el meta-análisis mostraron una heterogeneidad de moderada a alta en las variables cineantropométricas y de condición física (figuras 2 y 3). Esta heterogeneidad podría deberse a las diferencias entre los métodos utilizados para evaluar estas variables. Todas las pruebas utilizadas para evaluar la condición física eran pruebas ampliamente utilizadas, fiables y válidas (Altmann et al., 2019; Ayala et al., 2012; Davis et al., 2008; Hamilton et al., 1994; Krustup et al., 2003; Markovic et al., 2004; Pauole et al., 2000). Hubo una fuerte evidencia de los efectos positivos del calentamiento en el rendimiento deportivo (McCrary et al., 2015). Sin embargo, sólo cinco artículos indicaban el calentamiento antes de la prueba de condición física (Carling et al., 2012; Hammami et al., 2018; López-Plaza et al., 2017a; Matthys et al., 2012; Söğüt et al., 2019), y sólo López-Plaza et al. (2017a) lo describían en detalle. Las diferencias en los protocolos de calentamiento podrían suponer un riesgo de sesgo en los resultados de las pruebas de condición física. Otra preocupación sobre el protocolo de medición fue el orden de las pruebas realizadas. Sólo Matthys et al.



(2012) proporcionaron un orden específico en la administración de las pruebas. Se ha demostrado que el orden de las pruebas físicas es importante para los resultados finales, ya que la fatiga provocada por las diferentes pruebas puede influir en el rendimiento de las últimas evaluaciones (Coburn & Malek, 2014). Los protocolos utilizados para evaluar las variables cineantropométricas también variaron entre los artículos incluidos. Se utilizaron los protocolos estandarizados descritos por Lohman et al. (1988) (Figueiredo et al., 2009; Gouvea et al., 2016; Matta et al., 2014; Matthys et al., 2012; Valente-Dos-Santos et al., 2014), la International Society for the Advancement in Kinanthropometry (López-Plaza et al., 2017a) y el International Working Group on Kinanthropometry (Guimarães et al., 2019), y seis de los artículos no especificaron el método seguido para las mediciones (Arede et al., 2019; Carling et al., 2012; Gastin et al., 2013; Hammami et al., 2018; Leonardi et al., 2018; Söğüt et al., 2019). A pesar de ser un método válido y fiable, la valoración de la cineantropometría puede verse afectada negativamente por factores externos, como la metodología utilizada o la experiencia del investigador (Ayvaz & Çimen, 2011; Mattsson & Thomas, 2006). Se ha demostrado que se puede introducir un porcentaje de error del 11% en los resultados debido al protocolo y a la formación del investigador (Ayvaz & Çimen, 2011; Mattsson & Thomas, 2006). Además, se utilizaron cuatro fórmulas de estimación para evaluar el porcentaje de masa grasa (tabla 1). Hay pruebas que demuestran que los resultados de la masa grasa obtenidos con diferentes ecuaciones no son intercambiables ni comparables (Vaquero-Cristóbal, Albaladejo-Saura et al., 2020). Esta falta de acuerdo en los métodos utilizados podría estar afectando a los resultados mostrados en los diferentes artículos incluidos en el meta-análisis. Por otro lado, no hubo acuerdo en el método utilizado para valorar el desfase madurativo, utilizándose hasta cuatro métodos diferentes para valorar la maduración biológica (radiografía, antropometría, desarrollo de los caracteres sexuales secundarios y edad de la menarquia). Además, incluso en los artículos que evalúan la maduración con el mismo método, se utilizan diferentes protocolos, lo que podría suponer un riesgo potencial de sesgo de los resultados obtenidos en el meta-análisis. La mayoría de los estudios utilizaron métodos de radiografía de manos y muñecas, considerados el estándar de oro de la evaluación del estado de maduración (Carling et al., 2012; Figueiredo et al., 2009; Gouvea et al., 2016; Söğüt et al., 2019; Valente-Dos-Santos

et al., 2014), o ecuaciones de regresión validadas en amplias muestras de ambos sexos (Arede et al., 2019; Gastin et al., 2013; Guimarães et al., 2019; Hammami et al., 2018; López-Plaza et al., 2017a; Matthys et al., 2012). Dos estudios utilizaron los métodos de características sexuales secundarias (Leonardi et al., 2018; Matta et al., 2014), lo que podría aumentar el riesgo de sesgo debido a la subjetividad de los procedimientos (Mirwald et al., 2002). Además, Hammami et al. (2018) y Söğüt et al. (2019) sólo dividieron las muestras en dos grupos, en lugar de distinguir entre maduradores tempranos, en tiempo y tardíos, como se proponía en investigaciones anteriores (Malina & Bouchard, 1991), y se aceptaba en la mayoría de los estudios. Esta diferencia en la clasificación de los sujetos podría provocar una pérdida de información en relación con aquellos sujetos cuyo estado madurativo está a  $\pm 1$  año de la EPVC respecto a sus compañeros maduradores tardíos o tempranos (Malina & Bouchard, 1991).

A lo largo del análisis, se observaron algunas limitaciones en la literatura actual. La más destacable fue la falta de estudios realizados con poblaciones femeninas. Sólo se encontraron dos estudios que analizaron la relación de la maduración biológica con las variables cineantropométricas y de condición física en mujeres (Leonardi et al., 2018; Söğüt et al., 2019). Así, debido a las variables incluidas, sólo se pudo incluir en el meta-análisis la estatura, la masa corporal y el IMC, y ninguna de las pruebas de condición física cumplió los criterios de inclusión debido a la falta de acuerdo en la evaluación (Leonardi et al., 2018; Söğüt et al., 2019). Otra limitación destacada de la presente bibliografía fue que en los estudios de investigación incluidos no se proporcionó información sobre la masa muscular, la masa ósea y la proporcionalidad. La influencia de la masa muscular en el rendimiento deportivo y el desarrollo que se produce durante la maduración han sido ampliamente documentados (Cabañas & Esparza, 2009; Moritani & deVries, 1979; Neu et al., 2002; Petré et al., 2018). También la masa ósea juega un papel importante en el rendimiento deportivo, como soporte estructural de los componentes plásticos (Holway & Garavaglia, 2009); o en las variables de proporcionalidad corporal, donde estudios sobre diversos deportes han demostrado que determinadas proporciones óseas podrían favorecer el rendimiento en deportes específicos como la halterofilia olímpica, la natación o los deportes de combate (Keogh et al., 2009; Sammoud et al., 2018; Sterkowicz-Przybycień et al., 2011).

De los resultados obtenidos se derivan algunas aplicaciones prácticas. Las relaciones mostradas en este meta-análisis entre los resultados del CMJ, el SJ, el test de fuerza de agarre de manos, el lanzamiento de balón medicinal y el test T de agilidad con el proceso de maduración hacen necesario tener en cuenta la maduración biológica de los jóvenes atletas cuando estos test se utilizan en un proceso de identificación de talentos. Sin embargo, otras pruebas como el Yo-Yo test o el sit and reach test parecen tener menos relación con la madurez de los atletas, lo que puede indicar que los resultados en estas pruebas podrían compararse independientemente del proceso de maduración. Además, los resultados de las pruebas de condición física se expresan en valores absolutos, y podrían haber sido influenciados por los cambios en las variables cineantropométricas. Las medidas relativas según las diferentes variables cineantropométricas podrían ayudar a aclarar esta relación.

Por ello, las futuras líneas de investigación podrían ir encaminadas a mejorar la evidencia de la relación de la maduración biológica con la cineantropometría y la condición física en las mujeres; analizar la influencia de la maduración biológica en la cineantropometría y la prueba física con diseños longitudinales; aclarar el efecto de los cambios en las medidas cineantropométricas sobre el rendimiento de la condición física; relativizar los resultados de la prueba de condición física relacionados con la maduración biológica según las diferentes variables cineantropométricas, específicamente en aquellas variables cineantropométricas que cambian durante la pubertad y pueden influir en el resultado de la prueba de condición física; investigar la relación de la maduración biológica con la masa muscular y la relación con el rendimiento físico; y mejorar el conocimiento sobre la evolución de las variables de proporcionalidad durante el proceso de maduración, y la relación con el rendimiento físico y deportivo.

## 2.6. - Conclusiones

La maduración biológica parece tener una relación significativa con las variables cineantropométricas y de condición física en los varones. Los maduradores tempranos mostraron valores más altos de masa corporal, talla, IMC y porcentaje de masa grasa, y también mostraron mejores resultados en las pruebas de condición física, con marcadas diferencias en el lanzamiento de balón

medicinal, la fuerza de agarre de la mano, el CMJ y el SJ, pruebas que dependían de la fuerza y la producción de potencia, probablemente como resultado de los cambios en el entorno hormonal y el efecto en la ganancia muscular. Sin embargo, el estado madurativo no parece tener relación con los resultados del test Yo-Yo y sit-and-reach. Se encontraron pocos estudios con mujeres, y sólo se encontraron diferencias entre los maduradores tempranos y tardíos en cuanto a la masa corporal y la talla, por lo que sería necesario realizar más investigaciones. Las relaciones mostradas en este meta-análisis entre las pruebas de condición física dependientes de la fuerza con el proceso de maduración hacen necesario evaluar la maduración biológica cuando estas pruebas pretenden ayudar en un proceso de identificación de talentos. A pesar de ello, se necesitan más investigaciones para aclarar la relación de la maduración con la condición física y las variables cineantropométricas en poblaciones femeninas y los cambios en las variables musculares y óseas durante los procesos de maduración de ambos sexos.

## **III - OBJETIVOS**



### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

Analizar el efecto de los distintos ritmos de maduración biológica sobre las variables antropométricas y de rendimiento físico en jugadores y jugadoras de voleibol de 12 a 16 años de edad y sus implicaciones para el rendimiento en el deporte.

### **3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Identificar las diferencias en cuanto a las variables cineantropométricas y de rendimiento físico entre jugadores y jugadoras de voleibol adolescentes en torno al pico de crecimiento, y analizar el efecto de la edad, la maduración biológica y el cuartil de nacimiento sobre ellas.
2. Establecer la relación entre los estadios madurativos y las variables cineantropométricas y de condición física en jugadores y jugadoras de voleibol.
3. Determinar cuáles son las variables antropométricas, físicas o madurativas clave en la selección de jugadores de voleibol a nivel regional en una muestra adolescente masculina y femenina
4. Establecer las diferencias entre los jugadores más y menos determinantes dentro de los equipos en función de las características cineantropométricas y de condición física.





## **IV - HIPÓTESIS**



#### 4.1. HIPÓTESIS GENERAL

En vista del estado del arte expuesto en la introducción y a los objetivos planteados para la presente tesis doctoral, cabe hipotetizar que las variables cineantropométricas y de condición física pueden verse afectadas por el estado madurativo de los jugadores y jugadoras de voleibol. En este sentido, cabe esperar en base a lo expuesto en investigaciones previas que aquellos deportistas cuyo proceso de maduración se encuentre más avanzado podrían mostrar valores superiores en las variables analizadas, y debido a la influencia de estas en el rendimiento específico en voleibol, podrían tener una ventaja competitiva frente a sus compañeros de edad cronológica similar.

#### 4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

1. Se podrían identificar diferencias entre los jugadores y las jugadoras de voleibol adolescentes, siendo la edad y el ritmo madurativo covariables que afectan de forma determinante en las diferencias encontradas en variables cineantropométricas y de condición física.
2. Tanto en la población masculina como femenina cabría esperar diferencias en función de si el proceso de maduración es temprano, en tiempo o tardío, mostrando los maduradores tempranos mayores valores en las variables cineantropométricas y mejor rendimiento físico.
3. La edad, un proceso madurativo avanzado y mayores valores en las variables musculares y óseas podrían estar relacionados con mayores probabilidades de ser seleccionados para competir a nivel nacional formando parte de los equipos regionales.
4. Los jugadores más determinantes podrían mostrar mayores valores en las variables óseas y musculares, mayores valores en los test de condición física, una mayor edad dentro de la categoría de competición y un proceso de maduración más avanzado, lo que supondría una ventaja en competición.



# **V – METODOS, RESULTADOS Y DISCUSIÓN**



## V – METODOS, RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El método, los resultados y discusión de la presente tesis se componen de cinco artículos científicos, encontrándose tres de ellos publicados en revistas con revisión ciega por pares y otros dos en proceso de revisión. A continuación, se detallan las referencias de los mencionados artículos:

### **Estudio 1**

Albaladejo-Saura, M., Vaquero-Cristóbal, R., García-Roca, J. A., & Esparza-Ros, F. (2022b). The Effect of Age, Biological Maturation and Birth Quartile in the Kinanthropometric and Physical Fitness Differences between Male and Female Adolescent Volleyball Players. *Children*, 9(1), 58.

### **Estudio 2**

Albaladejo-Saura, M., Vaquero-Cristóbal, R., García-Roca, J. A., & Esparza-Ros, F. (2022a). Influence of maturity status on kinanthropometric and physical fitness variables in adolescent female volleyball players. *Applied Sciences*, 12, 4400.

### **Estudio 3**

Albaladejo-Saura, M., Vaquero-Cristóbal, R., García-Roca, J. A., & Esparza-Ros, F. (2022). Influence of biological maturation status on selected anthropometric and physical fitness variables in adolescent male volleyball players. *PeerJ*, 10, e13216.

### **Estudio 4**

Albaladejo-Saura, M., Vaquero-Cristóbal, R., García-Roca, J. A., & Esparza-Ros, F. What variables allow the differentiation between more and less successful adolescent volleyball players? *Journal of Human Kinnetics*, (aceptado).

### **Estudio 5**

Albaladejo-Saura, M., González-Gálvez, N., Vaquero-Cristóbal, R., García-Roca, J. A., & Esparza-Ros, F. Determinant kinanthropometric and physical fitness variables in the selection of adolescent volleyball players for regional teams competing in the national championship. *Apunts. Educación Física y Deportes*, (en revisión).





**Va – ESTUDIO 1: El efecto de la edad, la maduración biológica y el cuartil de nacimiento en las diferencias cineantropométricas y de rendimiento físico entre los jugadores y jugadoras de voleibol adolescentes**



## V – ESTUDIO 1

### EL EFECTO DE LA EDAD, LA MADURACIÓN BIOLÓGICA Y EL CUARTIL DE NACIMIENTO EN LAS DIFERENCIAS CINEANTROPOMÉTRICAS Y DE RENDIMIENTO FÍSICO ENTRE LOS JUGADORES Y JUGADORAS DE VOLEIBOL ADOLESCENTES

#### 1.1. – Resumen

**Antecedentes:** Las diferencias en las variables cineantropométricas y de condición física entre chicos y chicas suelen iniciarse durante la adolescencia, como consecuencia de los cambios en el ámbito hormonal que se producen con el avance de la edad y la maduración biológica; **Métodos:** A un total de 96 jugadores adolescentes de voleibol de 1ª división regional, 48 varones, (edad=14,17±1,00 años) y 48 mujeres (edad=14,41±1,21 años) se les realizó una evaluación cineantropométrica, se les pidió que realizaran diferentes pruebas de rendimiento físico y que completaran un cuestionario. Se calculó la edad cronológica, el desfase madurativo, la edad a la que se alcanza el pico de velocidad de crecimiento (EPVC) y el cuartil de nacimiento; **Resultados:** Se observaron diferencias estadísticas entre los jugadores y las jugadoras en la EPVC ( $p < 0,001$ ). Los jugadores varones mostraron valores más altos en las variables relacionadas con el hueso y el músculo ( $p < 0,001-0,040$ ), así como en las pruebas físicas relacionadas con la fuerza y la producción de potencia ( $p < 0,001-0,012$ ), mientras que las mujeres mostraron valores más altos en las variables relacionadas con la grasa ( $p = 0,003-0,013$ ), y obtuvieron mejores resultados en las pruebas de flexibilidad. La edad, el desfase madurativo y el cuartil de nacimiento mostraron tener influencia estadística en las diferencias encontradas entre los grupos divididos por sexos; **Conclusiones:** Existe una clara influencia de la edad y la maduración biológica en las diferencias encontradas entre sexos en los jugadores de voleibol adolescentes que podría ser tomada en cuenta en cuanto a la agrupación en etapas tempranas.

## 1.2. – Introducción

El voleibol es un deporte muy exigente debido a las reglas del juego, caracterizado por constantes acciones explosivas (Huang et al., 2016; Sarro et al., 2019), lo que hace que tanto la condición física como las variables cineantropométricas tengan una gran importancia en el rendimiento (Rubajczyk & Rokita, 2020). Por ello, los estudios deportivos han tratado de caracterizar los requerimientos morfológicos y físicos de los atletas de élite y su relación con el rendimiento deportivo (Zhao et al., 2019). En este sentido, se ha observado cómo variables cineantropométricas como la talla, la envergadura de los brazos y la longitud de las piernas podrían permitir diferenciar a los jugadores de alto nivel (Zhao et al., 2019), junto con capacidades físicas específicas como el salto vertical y la coordinación en pruebas de agilidad (Rubajczyk & Rokita, 2020). Centrándose en los jugadores en formación, estudios anteriores sobre jugadores de voleibol adolescentes han encontrado que la talla, la envergadura y la potencia de la parte superior e inferior del cuerpo son factores clave para el rendimiento tanto en chicos como en chicas (Tsoukos et al., 2019a, 2019b).

Sin embargo, esta caracterización de los requisitos de los deportistas durante la pubertad debe realizarse con precaución debido al efecto que la maduración biológica ha demostrado tener sobre las variables antropométricas y de rendimiento físico (Albaladejo-Saura et al., 2021; Johnston et al., 2018). Más concretamente, existen evidencias de los diferentes ritmos de maduración que experimentan los adolescentes durante el proceso, afectando estas diferencias a la manifestación física de los cambios propios de la adolescencia (Malina & Bouchard, 1991; Mirwald et al., 2002). En relación con el rendimiento deportivo, se han observado mayores valores en las variables cineantropométricas y mejores resultados en la prueba de rendimiento físico en aquellos sujetos que maduran antes, en comparación con los que maduran más tarde (Albaladejo-Saura et al., 2021). Esto podría suponer una desventaja para los sujetos que maduran tarde, debido a la forma tradicional de organizar las competiciones deportivas en las etapas de entrenamiento utilizando como únicos criterios el sexo y la edad cronológica (Folgado et al., 2021). No es de extrañar que estudios anteriores hayan señalado que, cuando se produce un proceso de selección de jugadores en los deportes colectivos, los sujetos cuyo tamaño corporal es mayor y cuyo

rendimiento físico inmediato es mejor tienden a tener una mayor probabilidad de ser elegidos (Dugdale, McRobert, et al., 2021a). Sin embargo, hay estudios que muestran que a medida que el proceso de maduración continúa, estas características podrían igualarse, lo que podría significar que el reclutamiento temprano no es una garantía de éxito deportivo futuro, ya que no es hasta aproximadamente los 14 años de edad que los jugadores exitosos muestran diferencias con respecto a sus compañeros en las capacidades físicas (Dugdale, Sanders, et al., 2021; Johnston et al., 2018).

Al igual que la maduración biológica, la edad también ejerce una influencia determinante en el rendimiento deportivo en las etapas de la adolescencia (Handelsman, 2017). Los cambios en el entorno hormonal que se producen con el avance de la edad durante la adolescencia, tanto en chicos como en chicas, parecen ser la base de las diferencias encontradas por algunos autores en etapas posteriores (Handelsman, 2017; Handelsman et al., 2018; Malina & Bouchard, 1991). El proceso de maduración también muestra diferencias entre sexos, ya que las chicas alcanzan el pico de velocidad de crecimiento (PVC) a una edad más temprana (9-15 años) que los chicos (12-16 años) (Malina & Bouchard, 1991). Así, en las etapas previas a la pubertad, no se encuentran diferencias en el rendimiento físico ni en las variables cineantropométricas entre sexos (Handelsman, 2017; Malina et al., 2010). Sin embargo, los cambios hormonales que se producen en torno a la EPVC, siendo el más notable el aumento de la testosterona en los chicos (Handelsman et al., 2018), inducen diferencias en la composición corporal y el rendimiento físico que favorecen la aparición de diferencias entre chicos y chicas (Handelsman, 2017).

Debido a la importancia de la edad y la maduración en relación con el deporte adolescente, se ha observado que las formas tradicionales de agrupación por edad cronológica pueden suponer una desventaja para aquellos jugadores que maduran más tarde, o que han nacido en los últimos meses del año (Dugdale, McRobert, et al., 2021a). Por este motivo, recientemente han surgido varias investigaciones que abordan el efecto relativo de la edad (ERE), entendido como la tendencia a sobrerrepresentar a los jugadores nacidos en los primeros meses del año en el proceso de selección (Mujika et al., 2009). El ERE ha sido contrastado en varias ocasiones en jugadores adolescentes de alto nivel en deportes de equipo (Dugdale, McRobert, et al., 2021a, 2021b; Kelly et al., 2021), y parece ser más

evidente en torno a la EPVC (Folgado et al., 2021), obteniendo mejores resultados aquellos jugadores nacidos en los primeros meses del año. Sin embargo, en deportes como el voleibol, parece que la relación del ERE con el rendimiento y las posibilidades de selección siguen sin estar claras, posiblemente debido a las características específicas de este deporte (Papadopoulou et al., 2019).

A pesar de la influencia de la edad, la maduración biológica y el ERE sobre el rendimiento y las características cineantropométricas en los deportistas adolescentes, se ha encontrado poca información sobre la relación de estas variables con las diferencias encontradas entre sexos en los jugadores de voleibol. A pesar de todo lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue analizar las diferencias entre los jugadores de voleibol adolescentes masculinos y femeninos en las variables cineantropométricas y en la prueba de rendimiento físico en relación con la edad, el desfase madurativo y la edad relativa.

### 1.3. – Material y métodos

#### 1.3.1. Participantes

Un total de 96 jugadores adolescentes de voleibol de la 1ª División Regional, 48 varones (edad=14,17±1,00 años) y 48 mujeres (edad=14,41±1,21 años) se ofrecieron para participar en el estudio. Se utilizó el programa informático Rstudio (versión 3.15.0, Rstudio Inc., Boston, MA, EE.UU.), para realizar los cálculos del tamaño de la muestra, estableciendo la desviación estándar (DE) basada en la edad a la que se alcanza el pico de velocidad de crecimiento (EPVC), según los informes de estudios anteriores (DE=0,65) (Arede et al., 2019). El nivel de significación para el cálculo se fijó en  $\alpha=0,05$ . Con un error estimado (d) de 0,183 años desde la EPVC, el tamaño de la muestra que se necesitó fue de 48 sujetos por grupo. Los entrenadores, los padres y los jugadores fueron informados del protocolo de medición y firmaron un formulario de consentimiento informado antes de iniciar el estudio. Los criterios de inclusión fueron a) ser un jugador de categoría de edad menor de 16 años (sub-16), debido a los puntos de corte de edad cronológica establecidos para las competiciones, b) jugar al voleibol al menos tres veces por semana, c) participar en competición oficial federada, d) haber jugado al voleibol al menos dos temporadas

consecutivas en el momento de las mediciones. Los criterios de exclusión fueron a) sufrir una lesión que les impidiera completar las pruebas; y b) haber faltado a más del 25% de los entrenamientos en los últimos 3 meses (Albaladejo-Saura et al., 2020)

### **1.3.2. Procedimientos**

En el presente estudio se siguió un diseño transversal, de acuerdo con las directrices de STROBE (Vandenbroucke et al., 2014). El protocolo de medición fue revisado y autorizado por el comité de ética institucional, de acuerdo con el Código de la Asociación Médica Mundial (Código: CE061921). Durante todo el proceso se siguieron las afirmaciones de la Declaración de Helsinki. El protocolo de medición se registró antes del inicio del estudio en ClinicalTrials.gov (código: NCT04495595). La evaluación se llevó a cabo en la sala de entrenamiento habitual de los jugadores. Se recogió información sociodemográfica y deportiva de los jugadores y se pidió a los entrenadores que clasificaran a los jugadores según criterios estandarizados. A continuación, se realizó una evaluación antropométrica, seguida de la realización de pruebas de rendimiento físico.

### **1.3.3. Cuestionario sociodemográfico y evaluación del éxito de los jugadores**

Se pidió a los jugadores que autocumplimentaran un cuestionario diseñado ad hoc, en el que se les preguntaba su edad y fecha de nacimiento, los días de entrenamiento a la semana, los años de experiencia jugando al voleibol en competición federada, los días que habían faltado a los entrenamientos en los últimos tres meses y si habían sufrido alguna lesión reciente o estaban lesionados actualmente. Un investigador explicó detalladamente cada pregunta antes de rellenar el cuestionario y supervisó el proceso.

Al mismo tiempo, de acuerdo con investigaciones anteriores (Katić et al., 2006), se pidió a los entrenadores que clasificaran a los jugadores en las siguientes categorías "Jugadores principales del equipo", "Otros jugadores importantes" y "Jugadores que rara vez entran en juego", en función de su función en el equipo. El número de equipos de la liga se dividió en tres grupos, equipos en las primeras posiciones, equipos en mitad de la clasificación y equipos en las últimas posiciones, con el mismo número de equipos en cada grupo. Utilizando esta

clasificación, se categorizó como jugadores de mejor rendimiento (MR) a los jugadores más determinantes y otros jugadores importantes de los equipos mejor clasificados, y a los jugadores más determinantes de los equipos de clasificación en mitad de la clasificación. Se categorizó como jugadores de peor rendimiento (PR) a los jugadores más determinantes de los equipos de los últimos puestos de la clasificación, y a otros jugadores importantes y a los jugadores que raramente entran en el juego de los otros grupos de equipos. Esta clasificación se realizó siguiendo los métodos de Katić et al. (2006).

#### **1.3.4. Mediciones antropométricas**

Las mediciones cineantropométricas se realizaron de acuerdo con los protocolos descritos por la International Society for the Advancement in Kinanthropometry (ISAK) (Esparza-Ros et al., 2019). Cineantropometristas acreditados por la ISAK (niveles 2 y 3) realizaron todas las mediciones. Todas las mediciones se realizaron dos veces. Se realizó una tercera medición cuando la diferencia entre la primera y la segunda era superior al 5% para los pliegues cutáneos o al 1% para las demás mediciones. Se tomó como valor final la media entre las mediciones en el caso de dos intentos, y la mediana en el caso de tres mediciones. Se calculó el error técnico de medición (ETM) intra e interevaluador en una submuestra. El ETM intra-evaluador fue del 0,09% en las medidas básicas, longitudes, alturas, perímetros y diámetros; y del 1,07% en los pliegues cutáneos; y el ETM intra-evaluador fue del 0,05% en las medidas básicas, longitudes, alturas, perímetros y diámetros; y del 2,86% en los pliegues cutáneos.

Se midieron cuatro medidas básicas (masa corporal, talla, talla sentado y envergadura); ocho pliegues cutáneos (tríceps, subescapular, bíceps, cresta ilíaca, supraespinal, abdominal, muslo y pierna); seis perímetros (brazo relajado, brazo flexionado y contraído, cintura, cadera, muslo medio y pierna,); cinco diámetros (biacromial, biileocrestal, húmero, fémur y biestiloideo); tres longitudes (acromiale-radiale, radiale-stylion y stylion-medio dactylion); y una altura (ilioespinal). Se utilizó una báscula SECA 862 (SECA, Alemania) con una precisión de 100 g para medir la masa corporal; un tallímetro SECA (SECA, Alemania) con una precisión de 0,1 cm para medir la talla y la talla sentado; un medidor de envergadura (Smartmet, México) con una precisión de 0,1 cm para



medir la envergadura; un plicómetro (Harpenden, Reino Unido) con una precisión de 0,2 mm de precisión para medir los pliegues cutáneos; una cinta inextensible (Lufkin, EE.UU.) con una precisión de 0,1 cm para medir los perímetros; un segmómetro (CESCORF, Brasil) con una precisión de 0,1 cm para medir las alturas y las longitudes; un antropómetro (Realmet, España) y un paquímetro (Holtain, Reino Unido) con una precisión de 0,1 cm para medir los diámetros. Los valores finales de las mediciones cineantropométricas se utilizaron para calcular las variables de índice de masa corporal (IMC), masa grasa (Slaughter et al., 1988), masa muscular (Poortmans et al., 2005), masa ósea (Matiegka, 1921), somatotipo (Carter & Heath, 1990),  $\Sigma 6$  pliegues cutáneos (tríceps, subescapular, supraespinal, abdominal, muslo y pierna),  $\Sigma 8$  pliegues cutáneos (tríceps, subescapular, bíceps, cresta ilíaca, supraespinal, abdominal, muslo y pierna), índice córmico [(talla sentado / talla)\*100], envergadura relativa [(envergadura/talla)\*100], longitud del miembro superior [longitud acromiale-radiale + longitud radiale-styilion + longitud styilion-medio dactylion], perímetros corregidos del brazo [perímetro del brazo relajado - ( $\pi$ \*pliegue cutáneo del tríceps)]; muslo [perímetro del muslo medio - ( $\pi$ \*pliegue cutáneo del muslo)]; y de la pierna [perímetro de la pierna - ( $\pi$ \*pliegue cutáneo de la pierna)], el índice musculoesquelético [masa muscular / masa ósea] y la ratio cintura-cadera (perímetro de la cintura / perímetro de las caderas).

### 1.3.5. Maduración biológica

Para estimar el desfase madurativo de los jugadores se utilizó la fórmula específica para cada sexo de Mirwald et al. (2002). A partir del desfase madurativo, se calculó el EPVC de cada sujeto mediante la fórmula EPVC= edad cronológica - resultado del desfase de madurez. Este método demostró ser válido para estimar el desfase de madurez con respecto al gold standard utilizando ecuaciones de regresión con un  $R^2=0,92-0,89$  en el caso de los chicos y un  $R^2=0,91-0,88$  en el caso de las chicas.

### 1.3.6. Test de condición física

Todas las pruebas de rendimiento físico fueron realizadas por dos investigadores familiarizados con la técnica y con experiencia previa en la

evaluación del rendimiento físico en la población adolescente. Cada investigador estuvo a cargo de las mismas pruebas durante las sesiones de medición, para evitar el error entre los evaluadores. El coeficiente de correlación intraclase (CCI) fue de 0,995 (intervalo de confianza del 95%: 0,989-0,997), y el coeficiente de variación (CV) fue del 2,3%. Las pruebas de sit-and-reach y de back scratch se realizaron antes del calentamiento, porque se ha observado un efecto desigual del calentamiento sobre el rendimiento en las pruebas de flexibilidad (Díaz-Soler et al., 2015). A continuación, los participantes se sometieron a un calentamiento estandarizado supervisado por los investigadores, consistente en diez minutos de carrera continua, movilidad articular y familiarización con las pruebas que iban a realizar. Se realizaron las pruebas de salto de longitud, lanzamiento de balón medicinal, salto con contramovimiento (CMJ), sprint de 20 metros y prueba de agilidad (9-3-6-3-9) en el orden especificado. El orden seleccionado y la evaluación de las pruebas se realizaron de acuerdo con protocolos previamente descritos (Arede et al., 2019; Castro-Piñeiro et al., 2013; Katić et al., 2006; López-Plaza et al., 2017a; López-Plaza et al., 2018; Muyor et al., 2014). Los jugadores realizaron dos intentos de cada prueba, con un descanso entre intentos de dos minutos. La media de los dos intentos realizados en cada prueba se utilizó como valor final para el análisis.

La prueba de sit-and-reach se realizó con el Acuflex Tester III (Novel Products, EE.UU.); la prueba de back scratch con una regla milimétrica (GIMA, Italia); las pruebas de salto de longitud y lanzamiento de balón medicinal con una cinta métrica (HaeSt, Alemania) con una precisión de 0,1 cm; el CMJ con una plataforma de fuerza (MuscleLab, Noruega); la prueba de sprint (20 m) con MySprint (Apple Inc, USA)(Romero-Franco et al., 2017); y la prueba de agilidad (9-3-6-3-9) con cinco fotocélulas (Microgate, Italia).

### **1.3.7. Análisis estadístico**

La distribución de la muestra se analizó mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Se calcularon la curtosis y la asimetría de las variables, así como la homogeneidad mediante la prueba de Levene. Se realizó un análisis descriptivo de las variables medidas, incluyendo la media y la desviación estándar (DE). Para analizar las diferencias entre chicos y chicas en las variables

cuantitativas continuas, se realizó un análisis ANCOVA, introduciendo el sexo como variable de agrupación y la edad, el desfase madurativo y el cuartil de nacimiento como covariables. Se probaron tanto los efectos principales como las interacciones entre variables para determinar su influencia en las diferencias encontradas según el sexo. El tamaño del efecto se calculó con eta cuadrada parcial ( $\eta^2_p$ ). Se utilizó el post hoc de Bonferroni para analizar las diferencias entre grupos. Se utilizó la prueba de Chi<sup>2</sup> para analizar las diferencias en las variables cuantitativas discretas y las cualitativas. El nivel de significación se fijó a priori en  $p < 0,05$ . Todos los análisis estadísticos se realizaron con el software SPSS v.23 (IBM, Endicott, NY, EE.UU.).

#### 1.4. – Resultados

##### 1.4.1. Resultados del estado madurativo

Los resultados de la comparación entre sexos con respecto al EPVC y los efectos principales de las covariables pueden verse en la Tabla 1. Se observaron diferencias significativas entre los jugadores y las jugadoras ( $p < 0,001$ ), con un efecto de las covariables edad ( $p < 0,001$ ) y desfase madurativo ( $\beta = 0,048$ ) en el modelo, pero no de la covariable cuartil de nacimiento. Sin embargo, el análisis de las intersecciones entre el sexo y las covariables (sexo\*edad; sexo\*desfase madurativo; sexo\*cuartil de nacimiento) sí mostró una influencia de estas covariables en las diferencias encontradas entre los grupos ( $p < 0,001$ ).

La tabla 2 muestra el ajuste de Bonferroni. La comparación por pares mostró diferencias significativas entre los grupos masculino y femenino, incluyendo los modelos con las covariables ( $p < 0,001$ ), con una EPVC más temprana en el grupo de las mujeres.

Tabla 1. Diferencias entre grupos en las variables de maduración, cineantropometría y condición física y efectos principales de las covariables.

Variable	Grupo		MANCOVA											
	Media±DE		Sexo			Edad			Desfase madurativo			Cuartil de nacimiento		
	Chicos (n=48)	Chicas (n=49)	F	p	$\eta^2_p$	F	p	$\eta^2_p$	F	p	$\eta^2_p$	F	p	$\eta^2_p$
EPVC (años)	13,58±0,57	12,34±0,57	115,86	<0,001	0,549	23,80	<0,001	0,234	3,27	0,048	0,051	0,08	0,772	0,001
Masa corporal (Kg)	62,55±13,25	57,79±10,69	3,72	0,057	0,038	1,23	0,270	0,016	50,26	<0,001	0,392	1,762	0,188	0,022
Talla (cm)	170,71±9,22	163,29±6,45	19,10	<0,001	0,167	2,74	0,102	0,034	66,87	<0,001	0,462	0,640	0,426	0,008
Envergadura (cm)	173,28±10,20	163,88±7,02	22,68	<0,001	0,193	4,44	0,038	0,054	55,81	<0,001	0,417	0,847	0,360	0,011
Talla sentado (cm)	87,60±4,76	85,81±3,13	4,25	0,042	0,043	12,32	0,001	0,136	206,60	<0,001	0,726	0,918	0,341	0,012
Longitud del miembro superior (cm)	77,43±4,32	73,07±2,89	24,97	<0,001	0,208	2,80	0,099	0,035	40,32	<0,001	0,341	2,10	0,151	0,026
D. biacromial (cm)	37,20±2,69	35,27±1,69	14,68	<0,001	0,134	7,78	0,007	0,091	98,99	<0,001	0,559	2,69	0,105	0,033
D. Biileocrestal (cm)	26,10±2,11	26,59±2,12	0,95	0,331	0,010	6,21	0,015	0,074	65,55	<0,001	0,457	1,78	0,186	0,022
D. Fémur	9,88±0,55	9,14±0,50	45,34	<0,001	0,323	0,24	0,626	0,003	24,17	<0,001	0,237	0,01	0,914	<0,001
D. Húmero (cm)	6,86±0,40	6,37±0,38	40,70	<0,001	0,300	1,07	0,304	0,014	18,02	<0,001	0,188	0,56	0,459	0,007
D. Biestiloideo (cm)	5,32±0,34	4,93±0,25	38,17	<0,001	0,287	0,31	0,577	0,004	10,72	0,002	0,121	0,65	0,423	0,008
Pr. corregido del brazo (cm)	23,00±2,86	20,79±2,05	17,70	<0,001	0,157	0,21	0,652	0,003	23,19	<0,001	0,229	0,58	0,449	0,007
Pr. corregido del muslo (cm)	44,47±4,48	41,80±4,34	8,50	0,004	0,082	3,51	0,065	0,043	51,59	<0,001	0,398	2,36	0,128	0,029
Pr. corregido de la pierna (cm)	31,77±2,29	29,49±2,90	13,61	<0,001	0,125	9,10	0,003	0,105	48,05	<0,001	0,381	2,00	0,162	0,025
Endomorfia	2,74±1,65	3,94±1,31	13,43	<0,001	0,124	0,20	0,660	0,002	2,14	0,148	0,027	3,79	0,055	0,046
Mesomorfia	4,57±1,29	3,94±1,14	6,74	0,011	0,066	0,21	0,649	0,003	2,59	0,112	0,032	0,96	0,330	0,012

Ectomorfia	3,46±2,51	2,59±1,28	4,35	0,040	0,044	0,00	0,955	<0,001	0,86	0,358	0,011	0,31	0,580	0,004
∑6 pliegues (mm)	66,65±34,44	87,31±25,04	9,07	0,003	0,087	0,79	0,377	0,010	2,56	0,114	0,032	2,77	0,100	0,034
∑8 pliegues (mm)	84,47±44,51	109,07±33,02	6,43	0,013	0,063	0,94	0,334	0,012	2,43	0,123	0,030	2,81	0,098	0,035
Masa grasa (%)	16,81±7,50	24,24±5,97	26,07	<0,001	0,215	0,78	0,379	0,010	2,09	0,152	0,026	2,58	0,113	0,032
Masa muscular (%)	38,53±2,59	31,06±1,72	260,43	<0,001	0,733	5,87	0,018	0,070	1,74	0,190	0,022	0,00	0,949	<0,001
Masa ósea (%)	18,02±2,48	16,29±1,95	14,12	<0,001	0,129	0,18	0,676	0,002	9,67	0,003	0,110	3,61	0,061	0,044
Masa grasa (Kg)	11,18±7,37	14,41±5,71	4,87	0,030	0,049	0,01	0,927	<0,001	10,52	0,002	0,119	2,30	0,133	0,029
Masa muscular (Kg)	23,96±4,56	17,94±3,38	51,55	<0,001	0,352	4,50	0,037	0,055	79,13	<0,001	0,504	1,46	0,231	0,018
Masa ósea (Kg)	11,03±1,49	9,25±0,96	45,44	<0,001	0,324	1,63	0,205	0,020	54,72	<0,001	0,412	0,01	0,939	<0,001
IMC (Kg/m <sup>2</sup> )	21,36±3,63	21,59±3,23	0,06	0,807	0,001	0,09	0,760	0,001	14,42	<0,001	0,156	1,56	0,216	0,020
Índice Musculo- esquelético	2,17±0,27	1,94±0,28	18,06	<0,001	0,160	3,33	0,072	0,041	19,14	<0,001	0,197	3,82	0,054	0,047
Sit-and-reach (cm)	0,94±8,58	5,75±9,14	8,61	0,004	0,083	0,15	0,705	0,002	1,94	0,168	0,024	0,16	0,689	0,002
Back scratch (cm)	1,60±7,29	4,69±4,84	6,50	0,012	0,064	0,82	0,369	0,010	2,53	0,116	0,031	0,34	0,563	0,004
Salto de longitud (m)	1,97±0,41	1,63±0,20	28,22	<0,001	0,229	8,19	0,005	0,095	7,55	0,007	0,088	0,43	0,514	0,005
Lanzamiento de balón medicinal (m)	6,12±1,43	4,94±0,88	18,04	<0,001	0,160	10,09	0,002	0,115	73,54	<0,001	0,485	0,74	0,392	0,009
CMJ (cm)	29,55±6,18	24,50±4,73	19,01	<0,001	0,167	13,00	0,001	0,143	7,58	0,007	0,089	0,94	0,336	0,012
Potencia CMJ (W)	733,34±166,50	613,46±103,59	16,03	<0,001	0,144	7,57	0,007	0,088	97,03	<0,001	0,554	0,59	0,444	0,008
20 m sprint (s)	3,83±0,27	4,19±0,29	40,90	<0,001	0,301	9,83	0,002	0,112	2,89	0,093	0,036	0,00	0,989	<0,001
Test de agilidad (s)	9,02±0,72	9,21±1,11	1,35	0,249	0,014	8,33	0,005	0,097	3,17	0,079	0,039	0,13	0,719	0,002

EPVC: Edad del pico de velocidad de crecimiento; D.: Diámetro; Pr.: Perímetro

#### 1.4.2. Resultados de las variables cineantropométricas

En cuanto a las variables cineantropométricas, se observaron diferencias significativas entre sexos en las medidas básicas ( $p < 0,001-0,042$ ), excepto en la masa corporal; en las variables óseas y musculares ( $p < 0,001-0,004$ ); en los componentes del somatotipo ( $p < 0,001-0,040$ ); en los  $\Sigma 6$  y  $\Sigma 8$  pliegues cutáneos ( $p = 0,003-0,013$ ); en los componentes de la composición corporal y en el índice musculo-esquelético ( $p < 0,001-0,030$ ) (tabla 1). La covariable edad mostró efectos principales en las variables relacionadas con la estructura ósea (envergadura, talla sentado, diámetros biacromial y biileocrestal) y en la masa y porcentaje muscular ( $p = 0,001-0,038$ ). La covariable desfase madurativo mostró efectos principales en todas las variables cineantropométricas ( $p < 0,001-0,003$ ), excepto en los componentes del somatotipo y los porcentajes de grasa y músculo. La covariable cuartil de nacimiento no demostró significación estadística en términos de efectos principales en el modelo ( $p > 0,05$ ).

El análisis de las interacciones entre el sexo y la edad mostró una influencia significativa de la edad en las diferencias encontradas entre los grupos en las medidas básicas ( $p < 0,001-0,007$ ); la longitud del miembro superior, los diámetros biacromial, biileocrestal y del húmero ( $p < 0,001-0,031$ ); el perímetro corregido de la pierna y las masas muscular y ósea ( $p = 0,001-0,005$ ) (tabla 2). El análisis de las interacciones entre el sexo y el desfase madurativo mostró una influencia significativa de la maduración sobre todas las variables cineantropométricas ( $p < 0,001-0,039$ ), excepto el somatotipo, los  $\Sigma 6$  y  $\Sigma 8$  pliegues cutáneos y los porcentajes de músculo y grasa (tabla 2). El análisis de las interacciones entre el sexo y el cuartil de nacimiento mostraron una influencia significativa del cuartil de nacimiento en todas las variables cineantropométricas ( $p < 0,001-0,015$ ), excepto en el diámetro biileocrestal, la mesomorfia, la masa grasa y el IMC.

La comparación por pares mostró diferencias estadísticas entre los grupos en los cuatro modelos (sexo, sexo\*edad, sexo\*desfase madurativo, sexo\*cuartil de nacimiento) ( $p < 0,001-0,030$ ), excepto para el diámetro biileocrestal y el IMC, el componente mesomórfico en los modelos de interacción y los  $\Sigma 6$  y  $\Sigma 8$  pliegues cutáneos, el porcentaje óseo y la masa grasa en la interacción sexo\*edad (tabla 3). Los jugadores varones mostraron valores más altos en las medidas básicas y en

---

las variables relacionadas con la estructura ósea y el músculo, mientras que las jugadoras mostraron valores más altos en los valores relacionados con la grasa (tabla 3).

Tabla 2. Interacción entre los grupos de sexo y las covariables edad, desfase madurativo y cuartil de nacimiento

Variable	MANCOVA								
	Sexo*Edad			Sexo*desfase madurativo			Sexo*cuartil de nacimiento		
	F	p	$\eta^2_p$	F	p	$\eta^2_p$	F	p	$\eta^2_p$
EPVC (años)	1,43E+18	<0,001	1,000	1,17E+18	<0,001	1,000	42,34	<0,001	0,521
Masa corporal (Kg)	5,28	0,007	0,113	35,35	<0,001	0,466	7,63	0,001	0,164
Talla (cm)	9,95	<0,001	0,193	79,84	<0,001	0,663	30,32	<0,001	0,437
Envergadura (cm)	7,39	0,001	0,151	32,10	<0,001	0,442	29,09	<0,001	0,427
Talla sentado (cm)	18,95	<0,001	0,313	317,70	<0,001	0,887	19,67	<0,001	0,335
Longitud del miembro superior (cm)	7,33	0,001	0,150	30,45	<0,001	0,429	32,63	<0,001	0,456
D. biacromial (cm)	12,12	<0,001	0,226	49,62	<0,001	0,551	17,31	<0,001	0,307
D. Biileocrestal (cm)	6,76	0,002	0,140	36,19	<0,001	0,472	1,96	0,148	0,048
D. Fémur	0,44	0,644	0,011	9,13	<0,001	0,184	17,76	<0,001	0,313
D. Húmero (cm)	3,62	0,031	0,080	11,51	<0,001	0,221	33,97	<0,001	0,466
D. Biestiloideo (cm)	1,61	0,207	0,037	3,38	0,039	0,077	17,49	<0,001	0,310
Pr. corregido del brazo (cm)	2,89	0,061	0,065	12,42	<0,001	0,235	14,88	<0,001	0,276
Pr. corregido del muslo (cm)	2,99	0,056	0,067	12,30	<0,001	0,233	7,61	0,001	0,163
Pr. corregido de la pierna (cm)	6,87	0,002	0,142	18,74	<0,001	0,316	16,74	<0,001	0,300
Endomorfia	0,13	0,880	0,003	0,73	0,486	0,018	10,57	<0,001	0,213



Mesomorfia	0,03	0,971	0,001	0,01	0,990	<0,001	0,97	0,383	0,024
Ectomorfia	0,08	0,923	0,002	0,08	0,921	0,002	3,69	0,029	0,086
∑6 pliegues (mm)	0,13	0,882	0,003	1,53	0,223	0,036	7,17	0,001	0,155
∑8 pliegues (mm)	0,10	0,901	0,002	1,48	0,233	0,035	6,52	0,002	0,143
Masa grasa (%)	0,53	0,592	0,013	2,10	0,129	0,049	15,39	<0,001	0,283
Masa muscular (%)	1,18	0,312	0,028	0,70	0,497	0,017	55,10	<0,001	0,586
Masa ósea (%)	2,35	0,101	0,054	4,70	0,012	0,104	4,81	0,011	0,110
Masa grasa (Kg)	0,75	0,477	0,018	6,05	0,004	0,130	2,68	0,075	0,064
Masa muscular (Kg)	7,24	0,001	0,148	39,68	<0,001	0,495	31,39	<0,001	0,446
Masa ósea (Kg)	5,59	0,005	0,119	47,32	<0,001	0,539	30,72	<0,001	0,441
IMC (Kg/m <sup>2</sup> )	0,84	0,433	0,020	4,47	0,014	0,099	0,80	0,455	0,020
Índice Musculo- esquelético	1,63	0,202	0,038	3,67	0,030	0,083	14,57	<0,001	0,272
Sit-and-reach (cm)	1,16	0,319	0,027	1,51	0,228	0,036	1,68	0,193	0,041
Back scratch (cm)	0,06	0,945	0,001	0,23	0,796	0,006	1,94	0,150	0,047
Salto de longitud (m)	3,83	0,026	0,085	4,51	0,014	0,100	11,34	<0,001	0,225
Lanzamiento de balón medicinal (m)	16,06	<0,001	0,279	38,26	<0,001	0,486	15,94	<0,001	0,290
CMJ (cm)	4,85	0,010	0,105	5,22	0,007	0,114	10,50	<0,001	0,212
Potencia CMJ (W)	12,53	<0,001	0,232	49,24	<0,001	0,549	15,91	<0,001	0,290
20 m sprint (s)	2,80	0,067	0,063	2,41	0,097	0,056	14,36	<0,001	0,269
Test de agilidad (s)	2,30	0,106	0,053	3,07	0,052	0,070	4,97	0,009	0,113

EPVC: Edad del pico de velocidad de crecimiento; D.: Diámetro; Pr.: Perímetro



### 1.4.3. Resultados de condición física

Las diferencias de rendimiento físico entre los jugadores y las jugadoras y los efectos principales de las covariables pueden observarse en la tabla 1. Se encontraron diferencias significativas entre los sexos en todas las pruebas de rendimiento físico excepto en la agilidad ( $p < 0,001-0,012$ ). La covariable edad mostró un efecto significativo en el modelo en las pruebas de salto de longitud, lanzamiento de balón medicinal, CMJ, potencia CMJ, sprint de 20 metros y agilidad ( $p = 0,001-0,007$ ). La covariable desfase madurativo mostró efectos estadísticos en las pruebas de salto de longitud, lanzamiento de balón medicinal, CMJ y potencia CMJ ( $p < 0,001-0,007$ ). La covariable cuartil de nacimiento no mostró efectos principales en el modelo.

La interacción entre las variables (sexo\*edad, sexo\*desfase madurativo, sexo\*cuartil de nacimiento) mostró que las tres covariables tenían una influencia significativa en las diferencias observadas entre los grupos en las pruebas de salto de longitud, lanzamiento de balón medicinal, CMJ, potencia CMJ ( $p < 0,001-0,026$ ) y también en las pruebas de sprint y agilidad en el caso del cuartil de nacimiento ( $p < 0,001-0,009$ ).

La comparación por pares mostró diferencias estadísticas entre los grupos en los cuatro modelos (sexo, sexo\*edad, sexo\*desfase madurativo, sexo\*cuartil de nacimiento) en la prueba back scratch, salto de longitud, lanzamiento de balón medicinal, CMJ, potencia CMJ y sprint de 20 metros ( $p < 0,001-0,012$ ). También se encontraron diferencias estadísticas en la prueba sit-and-reach en el modelo de sexo ( $p < 0,004$ ), y en la prueba de agilidad en el modelo de sexo\*madurez y sexo\*cuartil de nacimiento ( $p = 0,002$ ) (tabla 3).

Tabla 3. Ajuste post hoc de Bonferroni para las diferentes covariables.

Variable	MANCOVA											
	Sexo			Sexo*Edad			Sexo*Desfase madurativo			Sexo*Cuartil de nacimiento		
	Diferencia de medias±DE	p	95%CI	Diferencia de medias±DE	p	95%CI	Diferencia de medias±DE	p	95%CI	Diferencia de medias±DE	p	95%CI
EPVC (años)	1,24±0,12	<0,001	1,01 a 1,47	1,01±0,15	<0,001	0,72 a 1,30	1,43±0,13	<0,001	1,17 a 1,68	1,24±0,13	<0,001	0,97 a 1,50
Masa corporal (Kg)	4,68±2,43	0,057	-0,14 a 9,49	9,59±3,27	0,004	3,07 a 16,10	12,74±2,05	<0,001	8,66 a 16,82	9,08±2,49	<0,001	4,12 a 14,04
Talla (cm)	7,05±1,61	<0,001	3,85 a 10,25	13,12±2,01	<0,001	9,12 a 17,12	15,78±1,20	<0,001	13,40 a 18,16	12,68±1,64	<0,001	9,41 a 15,95
Envergadura (cm)	8,79±1,84	<0,001	5,12 a 12,45	13,50±2,29	<0,001	8,94 a 18,05	17,12±1,43	<0,001	14,28 a 19,97	13,95±1,85	<0,001	10,27 a 17,63
Talla sentado (cm)	1,71±0,83	0,042	0,06 a 3,35	4,28±1,02	<0,001	2,26 a 6,31	6,88±0,46	<0,001	5,97 a 7,79	5,30±0,86	<0,001	3,59 a 7,01
Longitud del miembro superior (cm)	4,00±0,80	<0,001	2,41 a 5,59	6,16±0,97	<0,001	4,22 a 8,10	7,42±0,64	<0,001	6,14 a 8,69	6,11±0,77	<0,001	4,58 a 7,65
D. biacromial (cm)	1,79±0,47	<0,001	0,86 a 2,72	2,41±0,62	<0,001	1,17 a 3,64	3,68±0,34	<0,001	3,00 a 4,37	2,81±0,50	<0,001	1,82 a 3,81
D. Biileocrestal (cm)	-0,41±0,42	0,331	-1,25 a 0,43	0,13±0,51	0,801	-0,88 a 1,14	1,06±0,31	0,001	0,44 a 1,68	0,55±0,39	0,159	-0,22 a 1,33
D. Fémur	0,74±0,11	<0,001	0,52 a 0,95	0,85±0,15	<0,001	0,55 a 1,15	0,93±0,11	<0,001	0,72 a 1,14	0,72±0,12	<0,001	0,48 a 0,96
D. Húmero (cm)	0,51±0,08	<0,001	0,35 a 0,66	0,67±0,10	<0,001	0,47 a 0,87	0,76±0,07	<0,001	0,61 a 0,90	0,65±0,08	<0,001	0,49 a 0,80

D.												
Biestiloideo (cm)	0,38±0,06	<0,001	0,26 a 0,50	0,40±0,09	<0,001	0,23 a 0,57	0,44±0,06	<0,001	0,31 a 0,57	0,38±0,06	<0,001	0,25 a 0,51
Pr. corregido del brazo (cm)	2,12±0,50	<0,001	1,12 a 3,12	3,34±0,70	<0,001	1,94 a 4,73	3,69±0,49	<0,001	2,71 a 4,66	2,91±0,54	<0,001	1,83 a 3,98
Pr. corregido del muslo (cm)	2,56±0,88	0,004	0,82 a 4,30	3,43±1,27	0,008	0,91 a 5,96	5,25±0,80	<0,001	3,66 a 6,85	3,53±0,99	0,001	1,55 a 5,50
Pr. corregido de la pierna (cm)	1,95±0,53	<0,001	0,90 a 3,00	2,80±0,68	<0,001	1,45 a 4,15	4,25±0,45	<0,001	3,35 a 5,15	3,17±0,57	<0,001	2,04 a 4,30
Endomorfia	-1,08±0,29	<0,001	-1,66 a -0,49	-1,16±0,44	0,010	-2,05 a - 0,28	-1,25±0,35	0,001	-1,94 a - 0,55	-1,32±0,31	<0,001	-1,94 a - 0,69
Mesomorfia	0,65±0,25	0,011	0,15 a 1,14	0,29±0,32	0,374	-0,35 a 0,93	0,40±0,25	0,114	-0,10 a 0,90	0,23±0,24	0,344	-0,25 a 0,70
Ectomorfia	0,84±0,40	0,040	0,04 a 1,64	1,09±0,58	0,063	-0,06 a 2,24	1,08±0,46	0,021	0,17 a 2,00	1,13±0,42	0,009	0,29 a 1,97
∑6 pliegues (mm)	-17,98±5,97	0,003	-29,84 a -6,13	-16,18±9,02	0,077	-34,14 a 1,77	-20,31±7,10	0,005	-34,45 a - 6,16	-22,19±6,46	0,001	-35,05 a -9,32
∑8 pliegues (mm)	-20,15±7,95	0,013	-35,92 a -4,37	-18,19±11,46	0,117	-41,02 a 4,63	-24,03±9,04	0,010	-42,04 a - 6,03	-26,57±8,23	0,002	-42,95 a -10,20
Masa grasa(%)	-6,88±1,35	<0,001	-9,56 a -4,21	-6,84±1,99	0,001	-10,80 a - 2,89	-7,76±1,57	<0,001	-10,89 a - 4,64	-7,65±1,43	<0,001	-10,50 a -4,80
Masa muscular (%)	7,22±0,45	<0,001	6,33 a 8,11	7,09±0,73	<0,001	5,65 a 8,54	8,21±0,59	<0,001	7,03 a 9,39	6,89±0,66	<0,001	5,58 a 8,19
Masa ósea (%)	1,68±0,45	<0,001	0,79 a 2,57	1,17±0,64	0,070	-0,10 a 2,44	0,91±0,48	0,061	-0,04 a 1,86	1,13±0,45	0,015	0,22 a 2,03
Masa grasa	-2,90±1,31	0,030	-5,50 a	-1,86±1,93	0,339	-5,70 a	-1,66±1,44	0,254	-4,53 a	-2,46±1,39	0,080	-5,23 a

(Kg)			-0,29			1,98			1,21		0,30	
Masa muscular (Kg)	5,85±0,81	<0,001	4,23 a 7,46	7,37±1,08	<0,001	5,23 a 9,52	9,12±0,62	<0,001	7,88 a 10,36	7,15±0,91	<0,001	5,32 a 8,97
Masa ósea (Kg)	1,73±0,26	<0,001	1,22 a 2,24	2,32±0,34	<0,001	1,64 a 2,99	2,68±0,21	<0,001	2,27 a 3,10	2,17±0,28	<0,001	1,62 a 2,72
IMC (Kg/m <sup>2</sup> )	-0,17±0,69	0,807	-1,53 a 1,20	0,23±0,95	0,813	-1,67 a 2,13	0,58±0,70	0,411	-0,81 a 1,97	-0,01±0,70	0,986	-1,40 a 1,38
Índice Musculo-esquelético	0,23±0,05	<0,001	0,12 a 0,33	0,29±0,07	<0,001	0,15 a 0,43	0,38±0,05	<0,001	0,28 a 0,49	0,28±0,06	<0,001	0,17 a 0,39
Sit-and-reach (cm)	-5,21±1,78	0,004	-8,74 a -1,69	-3,86±2,27	0,093	-8,38 a 0,66	-3,17±1,79	0,080	-6,73 a 0,39	-3,01±1,67	0,076	-6,35 a 0,32
Back scratch (cm)	-3,16±1,24	0,012	-5,62 a -0,70	-4,59±1,75	0,011	-8,08 a - 1,10	-3,48±1,38	0,014	-6,23 a - 0,73	-2,46±1,32	0,066	-5,08 a 0,17
Salto de longitud (m)	0,34±0,06	<0,001	0,21 a 0,47	0,23±0,09	0,013	0,05 a 0,41	0,40±0,07	<0,001	0,26 a 0,55	0,34±0,07	<0,001	0,20 a 0,48
Lanzamiento de balón medicinal (m)	1,06±0,25	<0,001	0,57 a 1,56	1,10±0,30	<0,001	0,50 a 1,70	1,78±0,18	<0,001	1,42 a 2,15	1,38±0,25	<0,001	0,88 a 1,87
CMJ (cm)	4,80±1,10	<0,001	2,61 a 6,98	3,36±1,39	0,018	0,60 a 6,12	6,60±1,14	<0,001	4,33 a 8,87	5,18±1,15	<0,001	2,90 a 7,46
Potencia CMJ (W)	114,36± 28,57	<0,001	57,65 a 171,07	149,99±35,9 5	<0,001	78,41 a 221,56	222,93± 20,02	<0,001	183,08 a 262,79	166,19± 29,85	<0,001	106,76 a 225,61
20 m sprint (s)	-0,35±0,06	<0,001	-0,46 a -0,24	-0,24±0,08	0,003	-0,40 a - 0,09	-0,40±0,06	<0,001	-0,53 a - 0,27	-0,34±0,06	<0,001	-0,46 to- 0,21
Test de agilidad (s)	-0,21±0,18	0,249	-0,57 a 0,15	-0,15±0,18	0,409	-0,52 a 0,21	-0,49±0,15	0,002	-0,79 a - 0,19	-0,44±0,14	0,002	-0,72 a - 0,16

EPVC: Edad del pico de velocidad de crecimiento; D.: Diámetro; Pr.: Perímetro

**1.4.4. Resultados del Chi<sup>2</sup>**

Los resultados del análisis Chi<sup>2</sup> pueden verse en la Tabla 4. No se observaron diferencias significativas entre los grupos en las variables "días de entrenamiento", "años jugando al voleibol", "años en competición" o "éxito".

Tabla 4. Diferencias entre hombres y mujeres en las variables de entrenamiento y selección.

Variable		Sexo		Chi <sup>2</sup>	p
		Chicos	Chicas		
Días de entrenamiento	3	36 (75%)	41 (85,72%)	3,702	0,296
	4	11(22,92%)	6 (12,24%)		
	5	1 (2,08%)	1 (2,04%)		
Años jugando al voleibol	2	16 (33,33%)	11 (22,44%)	8,993	0,174
	3	14 (29,17%)	12 (24,49%)		
	4	6 (12,5%)	11 (24,49%)		
	5	9 (18,75%)	4 (8,16%)		
	6	1 (2,08%)	2 (4,08%)		
	7	1 (2,08%)	5 (10,20%)		
	8	1 (2,08%)	3 (6,12%)		
Años en competición	1	18 (37,5%)	14 (28,57%)	5,310	0,505
	2	8 (16,67%)	6 (12,24%)		
	3	14 (29,17%)	14 (30,61%)		
	4	5 (10,42%)	5 (10,20%)		
	5	3 (6,25%)	5 (10,20%)		
	7	0 (0%)	2 (4,08%)		
	8	0 (0%)	2 (4,08%)		
Éxito	MR	21 (43,75%)	20 (40,82%)	0,086	0,838
	PR	27 (56,25%)	28 (59,18%)		

MR: mejor rendimiento; PR: peor rendimiento.

**1.5. – Discusión**

Uno de los principales objetivos del presente estudio fue analizar las diferencias entre chicos y chicas en cuanto a variables cineantropométricas. En este sentido, se observaron diferencias significativas entre los grupos en las medidas básicas, los componentes del somatotipo, las variables óseas y musculares y los componentes de la composición corporal. Estos resultados están en consonancia con estudios anteriores que encontraron diferencias entre sexos en

las variables estudiadas en atletas de edad similar a la del presente estudio (Malina et al., 2010). Además, la introducción de la covariable edad mostró una influencia significativa en las variables óseas y en la masa y porcentaje muscular, mientras que la covariable desfase madurativo mostró influencia en las diferencias encontradas en todas las variables antropométricas, excepto en el somatotipo y los porcentajes de grasa y músculo. En esta línea, se ha observado que las diferencias entre chicos y chicas en las primeras etapas del desarrollo puberal no son significativas, pero aumentan a medida que avanza el mismo (Handelsman, 2017; Tønnessen et al., 2015). No en vano, las diferencias entre chicos y chicas encontradas en etapas posteriores podrían tener su origen en el estirón puberal, siendo especialmente relevantes en el caso de los chicos, ya que los cambios hormonales que se producen en esta etapa tienen una mayor influencia en los determinantes del rendimiento deportivo en ellos (Handelsman et al., 2018; Malina et al., 2010). En el caso del presente estudio, la población incluida fue homogénea en relación a la edad, observándose una edad media tanto de los chicos como de las chicas en torno a los 14 años, lo que significa que mientras las chicas habían superado la EPVC, la edad de los chicos era cercana a su EPVC (Malina & Bouchard, 1991). Esta proximidad en la edad cronológica del grupo de chicos respecto a su EPVC y la relación de ésta con las diferencias entre sexos (Handelsman, 2017), junto con la homogeneidad del grupo en cuanto a la edad cronológica podrían ser la base de las diferencias significativas encontradas.

Al analizar los resultados del ajuste de Bonferroni, se observó que el grupo de chicos mostró valores más altos en las variables tanto óseas como musculares, así como en los componentes de la composición corporal muscular y ósea, mientras que las chicas obtuvieron resultados más altos en las variables relacionadas con el tejido adiposo y en el componente graso de la composición corporal, no observándose diferencias en la masa corporal ni en el IMC. En el caso de los chicos, la testosterona circulante aumenta hasta 30 veces respecto a los valores medidos antes del estirón (Handelsman et al., 2018). En las chicas, los niveles de testosterona también aumentan durante la pubertad, pero de forma más gradual y en menor medida que en la población masculina (Handelsman et al., 2018), y también se produce un aumento de estrógenos durante este periodo (Sandhu et al., 2005). Los efectos de la testosterona en el aumento de la masa muscular y ósea han sido descritos ampliamente, habiéndose establecido una



fuerte relación dosis-efecto entre el aumento de la testosterona endógena y el aumento de la masa muscular, así como huesos más grandes y densos (Finkelstein et al., 2013; Vanderschueren et al., 2014). Este aumento de las variables óseas y musculares se ha relacionado con una mayor producción de fuerza y potencia (Fitts et al., 1991), variables de vital importancia en el rendimiento del voleibol (Tsoukos et al., 2019b). Por otro lado, el aumento de la concentración de estrógenos se ha relacionado con el tejido adiposo, observándose una acumulación de masa grasa y su redistribución en relación a esta hormona sexual (Garnett et al., 2004). Es por ello que tanto la edad, en menor medida, como la maduración biológica podrían estar afectando a las diferencias encontradas entre chicos y chicas en las variables cineantropométricas en el presente estudio.

En cuanto a las pruebas de rendimiento físico, se observaron diferencias significativas entre sexos sin influencia de ninguna de las covariables en las pruebas de sit-and-reach y back scratch, donde el grupo de chicas obtuvo mejores resultados. Estos resultados coinciden con otros estudios que han analizado la flexibilidad y el rango de movimiento comparando entre sexos (Castro-Piñeiro et al., 2013; Hogg et al., 2018). El rendimiento de las pruebas de flexibilidad también se ha asociado en la literatura con la edad, encontrando que la flexibilidad aumenta con el avance de la edad, quizás debido a la susceptibilidad de mejora con el entrenamiento (Castro-Piñeiro et al., 2013; Vaquero-Cristóbal, Molina-Castillo, et al., 2020). Sin embargo, en el presente estudio no se observó influencia de la edad en las diferencias encontradas. Por otro lado, la relación de la flexibilidad con la maduración biológica y el cuartil de nacimiento sigue sin estar clara (Castro-Piñeiro et al., 2013) y tampoco se encontró un efecto significativo en el presente trabajo, por lo que futuras investigaciones podrían tratar de aclarar esta relación.

Por otro lado, se observaron diferencias entre chicos y chicas en las pruebas de salto de longitud, lanzamiento de balón medicinal, CMJ, potencia CMJ, sprint y agilidad, observando una interacción de la edad, el offset madurativo y el cuartil de nacimiento en las diferencias. Todas las pruebas en las que se encontraron diferencias están relacionadas con la capacidad de producir potencia y fuerza (Arede et al., 2019; López-Plaza et al., 2017a). Entre los factores que afectan positivamente a la producción de potencia muscular, se ha observado que

uno de los factores clave es la masa muscular, existiendo una relación entre el aumento de la masa muscular y la producción de potencia (Fitts et al., 1991; Kraemer & Newton, 2000). Además, la estructura ósea y la biomecánica también juegan un papel crucial en la aplicación de fuerza (Keogh et al., 2009). Estos factores asociados a un mejor rendimiento físico en pruebas que requieren la aplicación de fuerza se ven favorecidos por el aumento de la testosterona durante la adolescencia (Handelsman, 2017; Handelsman et al., 2018). Estas diferencias en la concentración de testosterona entre chicos y chicas que aparecen durante el estirón de los chicos en torno al EPVC se mantienen a lo largo de la adolescencia (Handelsman et al., 2018; Malina & Bouchard, 1991), hecho que podría ayudar a entender la influencia tanto de la edad como de la maduración biológica en las diferencias encontradas. Por otro lado, las diferencias inducidas por el entorno hormonal en las variables musculares, óseas y adiposas observadas también podrían estar favoreciendo la aparición de diferencias en la perforación.

En relación con el cuartil de nacimiento, no mostró efecto estadístico principal en el modelo ANCOVA respecto a las variables cineantropométricas y de rendimiento físico, aunque sí mostró influencia en las diferencias entre grupos en la interacción con el sexo. El ERE ha sido bien documentado en los deportes de equipo (Dugdale, McRobert, et al., 2021a; Fonseca et al., 2019; Rubajczyk & Rokita, 2020). Parece haber un claro ERE a favor de los jugadores nacidos en los primeros meses del año, debido en parte a las diferencias encontradas tanto en la edad cronológica como en la maduración respecto a sus compañeros nacidos en los últimos meses del año en poblaciones de atletas adolescentes (Dugdale, McRobert, et al., 2021a; Folgado et al., 2021; Matta et al., 2015). Sin embargo, el ERE tiende a ser menos determinante a medida que avanza la edad y el proceso de maduración de los participantes tiende a igualarse, dejando de ser determinante para el éxito deportivo a medida que se acercan a la edad adulta (Castillo et al., 2019; Fonseca et al., 2019). En el presente estudio, se observó una influencia del ERE en las diferencias encontradas entre los jugadores y las jugadoras en las variables antropométricas y en las pruebas de rendimiento físico. Estos resultados son similares a los encontrados en estudios anteriores en jugadores y jugadoras de voleibol, en los que se observaron diferencias significativas en relación con el cuartil de nacimiento (Rubajczyk & Rokita, 2020). Sin embargo, la relación del cuartil de nacimiento con ser elegido en un proceso

de selección deportiva sigue sin estar clara, ya que en jóvenes deportistas de élite no se ha observado un ERE como en otras poblaciones de deportistas (Castillo et al., 2019; Dugdale, McRobert, et al., 2021a; Fonseca et al., 2019; Papadopoulou et al., 2019; Rubajczyk & Rokita, 2020). Por ello, es un tema que debería ser explorado en futuras investigaciones con un diseño longitudinal.

Las diferencias encontradas entre chicos y chicas podrían verse alteradas por las diferencias en el entrenamiento, debido a la influencia del ejercicio físico sistemático sobre las variables cineantropométricas y las relacionadas con las pruebas de rendimiento físico (Lesinski et al., 2017; Ruffieux et al., 2020). Se ha observado que los cambios en las variables cineantropométricas y la mejora del rendimiento deportivo se producen durante la adolescencia en ausencia de ejercicio físico, pero son mucho más marcados cuando los adolescentes hacen ejercicio (Beunen et al., 1997; Katzmarzyk et al., 1997; Malina & Bouchard, 1991). Por ello, se analizaron las diferencias entre los sexos en cuanto a los días de entrenamiento, los años que jugaban al voleibol, los años que competían y si habían sido catalogados como jugadores de éxito o no. Sin embargo, en este estudio no se observaron diferencias significativas con respecto al volumen de entrenamiento medido en días, ni se observaron diferencias en los años de experiencia jugando al voleibol o compitiendo, ni en el número de jugadores exitosos masculinos y femeninos.

El presente estudio no está exento de limitaciones. Entre las limitaciones más importantes se encuentran el carácter descriptivo y transversal del estudio, un tamaño muestral relativamente pequeño, la edad de los participantes, que junto con el diseño del estudio no permite analizar la evolución del fenómeno estudiado a lo largo de toda la etapa madurativa, y el método de estimación de la maduración biológica, que si bien es un método ampliamente utilizado en las ciencias del deporte (Albaladejo-Saura et al., 2021), no es la radiografía de mano y muñeca, considerada el patrón de oro para el cálculo del desfase madurativo (Malina & Bouchard, 1991). Futuras investigaciones podrían evaluar la influencia de la edad, la maduración biológica y el cuartil de nacimiento en las diferencias entre chicos y chicas en las variables cineantropométricas y de rendimiento físico en voleibol desde la edad de iniciación deportiva hasta etapas avanzadas de la adolescencia, utilizando diseños longitudinales, con una muestra más amplia, para conocer la evolución de las diferencias a lo largo de la etapa de crecimiento.

### 1.6. - Conclusiones

Existe una clara influencia de la edad y la maduración biológica en las diferencias encontradas entre sexos en los jugadores de voleibol adolescentes, mientras que el cuartil de nacimiento parece tener menos influencia como efecto principal. Los jugadores de voleibol masculinos mostraron valores más altos en las variables cineantropométricas básicas; diámetros óseos, excepto el biileocrestal; perímetros musculares corregidos; masas ósea y muscular e índice musculo-esquelético, mientras que las jugadoras mostraron valores más altos en las variables relacionadas con la adiposidad. Además, se observaron diferencias significativas en las pruebas de condición física dependientes de la fuerza y la potencia muscular, mostrando los chicos valores más altos, mientras que las chicas mostraron un mejor rendimiento en las pruebas de flexibilidad. Estas diferencias podrían ser tenidas en cuenta y modificar los agrupamientos entre chicos y chicas en las etapas de iniciación deportiva hasta el estirón de la adolescencia.

**Vb – ESTUDIO 2: Influencia  
del estado madurativo en las  
variables cineantropométricas  
y de rendimiento físico en  
jugadoras de voleibol  
adolescentes**



## V – ESTUDIO 2

### INFLUENCIA DEL ESTADO MADURATIVO EN LAS VARIABLES CINEANTROPOMÉTRICAS Y DE RENDIMIENTO FÍSICO EN JUGADORAS DE VOLEIBOL ADOLESCENTES.

#### 2.1. – Resumen

Resumen: El objetivo de esta investigación fue analizar las diferencias en las características cineantropométricas y el rendimiento físico en relación con el estado de madurez, así como determinar si la edad, el desfase madurativo o las variables cineantropométricas podían predecir un mejor rendimiento en la prueba de condición física. A un total de 152 jugadoras de voleibol ( $14,16 \pm 1,25$  años) se les realizó una evaluación cineantropométrica, seguida de una evaluación de la condición física compuesta por diferentes pruebas. Se calculó la edad a la que se alcanza el pico de velocidad de crecimiento (EPVC) y se dividió la muestra según la maduración biológica en tres grupos. Se observaron diferencias significativas en las variables cineantropométricas ( $p < 0,001-0,026$ ), mostrando las maduradoras tempranas valores más altos. La edad, la masa corporal, el índice cormico, la envergadura relativa, el  $\Sigma 8$  pliegues cutáneos, la masa grasa, los perímetros corregidos del brazo y del muslo, la masa muscular, el diámetro biacromial y biileocrestal fueron las variables que mejor predijeron el rendimiento en las pruebas físicas ( $p < 0,001-0,024$ ). Las jugadoras más maduras mostraron valores más altos en la mayoría de las variables cineantropométricas, siendo las más notables las diferencias en la masa corporal, la talla, la envergadura de brazos y la talla sentado, y las relacionadas con la adiposidad y la composición corporal absoluta, siendo las variables estructurales las más influyentes en las pruebas físicas. La edad resultó tener una influencia determinante en las diferencias encontradas entre los grupos en el rendimiento de las pruebas relacionadas con la fuerza y la potencia.

## 2.2. - Introducción

En las últimas décadas, ha habido un gran interés por encontrar modelos para identificar futuros talentos deportivos entre niños y adolescentes (Peña-González et al., 2018). Estos programas de identificación de talentos suelen incluir el análisis de variables de rendimiento físico y cineantropométricas, como consecuencia de su influencia en el rendimiento deportivo de élite (Albaladejo-Saura et al., 2021; Booyesen et al., 2019; Carter, 1982; Johnston et al., 2018; Sánchez Muñoz et al., 2020). En concreto, el voleibol se caracteriza por la realización de acciones explosivas, lo que hace que la condición física sea de gran importancia en el rendimiento (Huang et al., 2016; Sarro et al., 2019). Debido a las reglas de este deporte, la talla, la envergadura y la longitud de las piernas podrían permitir diferenciar a los jugadores de alto nivel (Zhao et al., 2019), junto con capacidades físicas específicas como el salto vertical y la coordinación en las pruebas de agilidad (Rubajczyk & Rokita, 2020).

Sin embargo, la caracterización de los requerimientos físicos y cineantropométricos de los deportistas debe abordarse con precaución a la hora de extrapolar los valores a los jóvenes deportistas en crecimiento, ya que durante esta etapa de maduración se producen cambios biológicos que pueden afectar a estas variables (López-Plaza et al., 2017a). En esta línea, muchos programas de identificación de talentos basan su selección en la talla y el físico, dividiendo a los atletas por grupos de edad, sin tener en cuenta que a medida que el proceso de maduración continúa, estas características podrían igualarse (Johnston et al., 2018).

La maduración biológica parece tener una relación significativa con las variables cineantropométricas y de condición física en los atletas masculinos adolescentes, mostrando los maduradores tempranos valores más altos en las pruebas de cineantropometría y condición física, tal vez como resultado de los cambios hormonales que se producen durante la maduración biológica (Albaladejo-Saura et al., 2021; Johnston et al., 2018). Por esta razón, en los últimos años se ha prestado mucha atención a la relación entre la maduración biológica, la condición física y las características cineantropométricas (Albaladejo-Saura et al., 2021). La edad a la que se produce el pico de velocidad de crecimiento (EPVC) se ha convertido en uno de los indicadores más utilizados para controlar la



diferencia entre la edad cronológica y la maduración biológica de los individuos (Malina & Bouchard, 1991; Mirwald et al., 2002). Un método ampliamente utilizado y validado para evaluar la EPVC se basa en fórmulas de regresión a partir de variables cineantropométricas (Mirwald et al., 2002).

En la actualidad, la participación de las mujeres atletas en los eventos deportivos de élite va en aumento (Castanier et al., 2021). A pesar de ello, el conocimiento científico sobre los factores que afectan al rendimiento deportivo de las mujeres es menor que el de los hombres (Castanier et al., 2021). Se sabe que el proceso de maduración se produce de forma desigual entre chicos y chicas, observándose diferencias en la edad de inicio de la maduración (entre 9 y 14,9 años en las chicas frente a entre 12 y 15,8 en los chicos) (Malina & Bouchard, 1991), y diferencias en las concentraciones hormonales relacionadas con el proceso de cambio corporal (Handelsman et al., 2018). Sin embargo, los estudios sobre la población femenina son escasos, y hay poca evidencia sobre si este fenómeno también se produce entre las adolescentes (Leonardi et al., 2018; Söğüt et al., 2019), aunque el estudio de la influencia de la maduración biológica sobre las variables cineantropométricas y de condición física en las atletas podría ayudar a aclarar los puntos clave en la identificación del talento deportivo (Albaladejo-Saura et al., 2021; Johnston et al., 2018). Sabiendo esto, sería posible que las chicas cuyo proceso de maduración está más avanzado muestren valores más altos en las variables cineantropométricas, así como un mejor rendimiento en las pruebas de condición física en comparación con sus compañeras de edad cronológica.

A pesar de todo lo anterior, no existen estudios que hayan analizado las diferencias en las variables cineantropométricas y la condición física en jugadores de voleibol en crecimiento, ni en población masculina ni femenina, según la clasificación del estado madurativo (Albaladejo-Saura et al., 2021). Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue analizar las diferencias en las características cineantropométricas y el rendimiento en las pruebas de condición física según la maduración biológica, así como determinar si la edad, la maduración biológica o las variables cineantropométricas pueden predecir un mejor rendimiento en las pruebas de condición física en jugadores de voleibol adolescentes.

## 2.3. - Material y Métodos

### 2.3.1. Participantes

Los cálculos del tamaño de la muestra se realizaron con el software Rstudio (versión 3.15.0, Rstudio Inc., Boston, MA, EE.UU.). El nivel de significación se fijó en  $\alpha=0,05$ . La desviación estándar (DE) se fijó basándose en el desfase madurativo (DE=0,36)(Arede et al., 2019) de estudios anteriores. Con un error estimado (d) de 0,058 años de desfase madurativo, la muestra estimada necesaria fue de 30 sujetos por grupo. Con el nivel de significación fijado a priori ( $\alpha=0,05$ ),  $n=30$  participantes por grupo y tres grupos basados en el estado madurativo, la potencia estadística para detectar grandes efectos en el análisis de la varianza fue de 0,93. Un total de 152 jugadoras de voleibol ( $14,16\pm 1,25$ ) participaron en el estudio. Antes del inicio del estudio, se informó a los entrenadores, padres y jugadoras de los procedimientos de medición y los padres o tutores legales de las participantes menores de edad firmaron un formulario de consentimiento informado. Los criterios de inclusión fueron: a) entrenar voleibol de forma regular, al menos dos días a la semana, con una duración mínima de entrenamiento semanal de tres horas; b) participar en competiciones oficiales de la federación de voleibol durante la temporada en la que se realizaron las mediciones; c) haber jugado al voleibol con licencia federativa de voleibol durante al menos 3 años de forma ininterrumpida; y d) tener entre 12 y 15 años, debido a la franja de edad en la que se produce el EPVC (Malina & Bouchard, 1991). Los criterios de exclusión fueron: a) sufrir una lesión que impidiera la realización de las pruebas; b) faltar a más del 25% de los entrenamientos en los últimos 3 meses (Albaladejo-Saura et al., 2020); y c) practicar de forma regular otros deportes.

### 2.3.2. Procedimientos

Se diseñó un estudio transversal de acuerdo con las directrices STROBE (Vandenbroucke et al., 2014). El Comité de Ética Institucional revisó y autorizó el protocolo diseñado para la recogida de datos de acuerdo con el Código de la Asociación Médica Mundial (número de código: CE061921). Durante todo el proceso se siguieron los enunciados de la Declaración de Helsinki. Las

mediciones se realizaron en el pabellón deportivo de entrenamiento habitual de las jugadoras. Se indicó a los participantes que no debían haber realizado ejercicio físico extenuante ni haber ingerido grandes cantidades de alimentos en las 24 horas anteriores a las mediciones. En primer lugar, se realizó un cuestionario sociodemográfico y deportivo, seguido de una evaluación cineantropométrica y de las pruebas de condición física.

### **2.3.3. Cuestionario de información sociodemográfica y deportiva**

Se utilizó un cuestionario ad hoc para recoger información sociodemográfica y deportiva. Se preguntó a los sujetos su fecha de nacimiento para calcular su edad en el momento de la evaluación; los días y horas de entrenamiento semanal; cuántos días de entrenamiento se habían saltado en los últimos tres meses; si habían sufrido, recientemente o en la actualidad, una lesión deportiva; si practicaban otros deportes de forma habitual; y el número de años que llevaban participando en competición oficial federada. Los sujetos autocumplimentaron el cuestionario bajo la supervisión de un investigador, que les explicó previamente el contenido de cada pregunta.

### **2.3.4. Evaluación de la maduración biológica**

El desfase madurativo se calculó de acuerdo con los procedimientos descritos por Mirwald et al. (2002), utilizando la fórmula específica del sexo:  $-9,37 + 0,0001882 * ((\text{talla} - \text{talla sentado}) * \text{talla sentado}) - 0,0022 * (\text{edad} * (\text{talla} - \text{talla sentado})) + 0,005841 * (\text{edad} * \text{talla sentado}) - 0,002658 * (\text{edad} * \text{masa corporal}) + 0,07693 * (\text{masa corporal} / \text{talla})$ . El resultado de la ecuación de desfase madurativo se expresa en años desde la EPVC cuando el resultado es positivo, y en años hasta el EPVC cuando el resultado es negativo. Esta fórmula ha sido utilizada en población de atletas adolescentes, mostrando un alto coeficiente de correlación interclase (CCI=0,96), así como un bajo porcentaje de coeficiente de varianza (CV%=0,8) y un bajo error típico (ET=0,1) (Towlson et al., 2017). El resultado se utilizó para calcular la EPVC de cada sujeto mediante la siguiente fórmula: EPVC = edad cronológica - resultado del desfase madurativo.

El valor de la EPVC se utilizó entonces para clasificar a los jugadores en tres grupos de estado madurativo utilizando la EPVC media del grupo, en línea con investigaciones anteriores (Wickel & Eisenmann, 2007). Así, el grupo de maduración temprana estaba compuesto por jugadores cuyo EPVC era de -0,5 años o menos con respecto a la media; el grupo de maduración media, cuyo EPVC era de  $\pm 0,5$  años con respecto a la media; y el grupo de maduración tardía cuyo EPVC era de +0,5 años o más con respecto a la media del grupo.

### 2.3.5. Evaluación cineantropométrica

Se midieron cuatro medidas básicas; ocho pliegues cutáneos; seis perímetros (brazo relajado, brazo flexionado y contraído, cintura, cadera, muslo medio y pierna); tres longitudes (acromiale-radiale, radiale-stylion y stylion-medio dactylion); y una altura (iliospinale) siguiendo las directrices de la International Society for the Advancement in Kinanthropometry (ISAK) (Esparza-Ros et al., 2019). Todas las mediciones fueron realizadas por cineantropometristas de nivel 2 y 3 acreditados por la ISAK. Se calculó el error técnico de medida (ETM) intra e inter-evaluador en una submuestra de 30 participantes (edad =  $14,47 \pm 1,10$ ) en el estudio piloto. Para ello, se eligió una muestra con características similares a la del estudio, y el número de participantes incluidos se basó en investigaciones anteriores (Gallagher et al., 2019), siendo el número mínimo de participantes indicado para realizar los cálculos de error inter- e intra-evaluador (Sánchez-Zuriaga, 2010). El ETM intraevaluador fue del 0,03% para las medidas básicas, longitudes, alturas y perímetros; y del 1,07% para los pliegues cutáneos; y el ETM interevaluador fue del 0,05% para las medidas básicas de longitudes, alturas y perímetros; y del 2,83% para los pliegues cutáneos.

Para la evaluación cineantropométrica se utilizó el siguiente material: una báscula SECA 862 (SECA, Alemania) con una precisión de 100 g; un tallímetro SECA (SECA, Alemania) y un medidor de envergadura (Smartmet, México) con una precisión de 0,01 cm; un plicómetro (Harpenden, Reino Unido) con una precisión de 0,2 mm; una cinta inextensible (Lufkin, EE.UU.), un segmómetro (CESCORF, Brasil), un antropómetro (Realmet, España) y un paquímetro (Holtain, Reino Unido) con una precisión de 0,01 cm. Todas las mediciones se realizaron dos veces. Cuando la diferencia entre la primera y la segunda medición

era superior al 5% para los pliegues o al 1% para las demás mediciones, se realizaba una tercera medición. El valor final utilizado para el análisis fue la media entre las mediciones en el caso de dos intentos, y la mediana en el caso de tres mediciones.

Los valores finales de las mediciones cineantropométricas se utilizaron para calcular las variables índice de masa corporal (IMC), masa grasa (Slaughter et al., 1988), masa muscular (Poortmans et al., 2005), masa ósea (Matiegka, 1921), somatotipo (Carter & Heath, 1990),  $\Sigma 6$  pliegues cutáneos (Vaquero-Cristóbal, Albaladejo-Saura et al., 2020),  $\Sigma 8$  pliegues cutáneos (Kasper et al., 2021; Vaquero-Cristóbal, Albaladejo-Saura et al., 2020), índice cormico [(talla sentado/talla)\*100], envergadura relativa de los brazos [(envergadura de los brazos/talla)\*100], longitud del miembro superior [acromiale-radiale+radiale-stylion+stylion-medio dactilion], perímetro corregido del brazo [perímetro del brazo relajado-( $\pi$ \*pliegue cutáneo del tríceps); muslo [perímetro del muslo medio-( $\pi$ \*pliegue cutáneo del muslo)]; y pierna [perímetro de la pierna-( $\pi$ \*pliegue cutáneo de la pierna)], índice musculoesquelético [masa muscular/masa ósea] y ratio cintura-cadera (cintura/cadera).

### 2.3.6. Evaluación de la condición física

Las pruebas se realizaron en el siguiente orden: test de sit-and-reach, test back scratch, salto de longitud, lanzamiento de balón medicinal, salto con contramovimiento (CMJ), sprint de 20 metros y test de agilidad (9-3-6-3-9). La evaluación de las pruebas se realizó de acuerdo con los protocolos descritos previamente (Albaladejo-Saura et al., 2022c). El orden de las pruebas se seleccionó según las recomendaciones de la National Strength and Conditioning Association (NSCA), que basa su recomendación en la fatiga generada por las diferentes pruebas, así como en las vías metabólicas requeridas por cada una de ellas, dejando un descanso entre pruebas de cinco minutos para que haya la mínima interferencia posible en los resultados (Coburn & Malek, 2014). Además, el orden seguido en las pruebas también ha sido utilizado en investigaciones anteriores en poblaciones similares (Katić et al., 2006; López-Plaza et al., 2017b). En primer lugar, antes del calentamiento, se realizaron las pruebas de flexibilidad (Díaz-

Soler et al., 2015). A continuación, se realizó un calentamiento estandarizado, consistente en 10 minutos de carrera continua, seguido de movilidad articular y familiarización con las pruebas de condición física. Dos investigadores con experiencia previa en la valoración de pruebas de condición física supervisaron la familiarización y valoración de estas pruebas, siendo el mismo investigador el responsable de cada prueba durante todas las mediciones, para evitar el error interevaluador en las valoraciones. Se realizaron dos intentos en cada prueba, con un descanso de dos minutos entre ellos, y siendo el valor final la media de los dos ensayos.

La prueba sit-and-reach se realizó con el Acuflex Tester III (Novel Products, EE.UU.); la prueba back scratch con una regla milimétrica (GIMA, Italia); las pruebas de salto de longitud y lanzamiento de balón medicinal con una cinta métrica (HaeSt, Alemania) con una precisión de 0,1 cm; el CMJ con una plataforma de fuerza (MuscleLab, Noruega); la prueba de sprint (20 m) con MySprint (Apple Inc, USA)(Romero-Franco et al., 2017); y el test de agilidad (9-3-6-3-9) con cinco fotocélulas (Microgate, Italia). Para realizar el sit-and-reach, se pidió a los participantes que se sentaran en el suelo, sin zapatos, con la planta de los pies en contacto con el cajón de medición y las piernas completamente extendidas. Se les pidió que avanzaran lentamente empujando el indicador del cajón de medición hasta alcanzar la distancia máxima sin doblar las rodillas (Díaz-Soler et al., 2015). Para la prueba de back scratch, se pidió a los participantes que se mantuvieran de pie y que realizaran una flexión de hombros y rotación interna con un brazo mientras que con el otro brazo realizaban una extensión de hombros con rotación externa, tratando de juntar el dedo corazón en la espalda. Se registró la distancia entre los dedos corazón de ambas manos o la superposición entre ellos, realizando intentos con ambos brazos (Castro-Piñeiro et al., 2013). Para el salto de longitud, se pidió a los participantes que se colocaran detrás de la línea de salida y que realizaran un salto de longitud con ambas piernas al mismo tiempo. Se permitió el balanceo de los brazos y se registró la distancia entre la línea de salida y el talón (Milic et al., 2017). Para el lanzamiento del balón medicinal, se pidió a los jugadores que se colocaran detrás de la línea de inicio, sujetando el balón con ambas manos. Se les pidió que lanzaran el balón por encima de sus cabezas a la máxima distancia posible, registrando la distancia entre la línea de inicio y el primer bote (López-Plaza et al., 2017a). Para el CMJ, se

pidió a los jugadores que se colocaran en la plataforma con las manos colocadas en las caderas. Se les pidió que realizaran un salto vertical máximo sin quitar las manos de las caderas, se registró la altura del salto y la potencia (López-Plaza et al., 2017a). Para el sprint, se pidió a los participantes que se colocaran detrás de la línea de salida y que recorrieran la distancia de 20 metros lo más rápido posible. Se registró el tiempo de cada prueba (Milic et al., 2017). Para la agilidad, se pidió a los participantes que corrieran nueve, tres, seis, tres y nueve metros cambiando la dirección tras pisar cada una de las líneas que marcaban las distancias lo más rápido posible. Se registró el tiempo para completar la prueba (Katić et al., 2006).

### 2.3.7. Análisis estadístico

Se calculó la distribución (prueba de Kolmogorov-Smirnov), la curtosis y la asimetría de las variables. La prueba de Levene se utilizó para evaluar la homogeneidad de las variables. Las variables mostraron una distribución normal, platicúrtica y simétrica ( $p=0,07-0,889$ ), y las varianzas fueron homogéneas ( $p=0,087-0,953$ ). Se realizó un análisis descriptivo de la muestra, incluyendo la media y la desviación estándar. Se realizó un ANCOVA de una vía para comparar las diferencias entre los grupos de estado madurativo en las variables cineantropométricas y las pruebas de condición física, y para medir la influencia de la edad en las diferencias. Se comprobaron tanto los efectos principales como la interacción entre las variables. El tamaño del efecto se calculó con eta cuadrado parcial ( $\eta^2_p$ ). Se utilizó el ajuste *post hoc* de Bonferroni para analizar las diferencias entre grupos cuando éstas eran significativas. El tamaño del efecto para las comparaciones por pares se calculó con la D de Cohen. El nivel de significación se fijó *a priori* en  $p<0,05$ . Las correlaciones entre las variables de edad, desfase madurativo, cineantropometría y ajuste se calcularon mediante la prueba de correlación de Pearson. Además, se realizó una regresión lineal en bloques con predictores introducidos en base a la significación de la  $r$  de Pearson con las variables que habían mostrado correlaciones significativas, con el fin de averiguar qué variables podían predecir el rendimiento en las pruebas físicas. Se comprobó la normalidad de los residuos para cada prueba estadística utilizada. Todos los

análisis estadísticos se realizaron con el programa informático SPSS v.23 (IBM, Endicott, NY, EE.UU.).

#### 2.4. – Resultados

Una vez calculado la EPVC, la muestra se dividió en maduradores tempranos (n=29), maduradores en tiempo (n=93) y maduradores tardíos (n=30). La tabla 1 muestra las estadísticas descriptivas (media±DE) de cada grupo para todas las variables medidas, así como las diferencias entre grupos de maduración, los efectos principales de la covariable "edad" y la interacción entre variables (grupo de maduración\*edad). Las tablas 3 a 6 muestran las comparaciones tras el ajuste de Bonferroni de los tres grupos de estado madurativo en las variables cineantropométricas y en la prueba de condición física, respectivamente.



Tabla 1. Diferencias según el grupo de maduración, incluyendo los efectos principales e interacciones de la covariable edad

Variable	Grupo (Media±DE)			Modelos individuales								
	Temprano (n=29)	En tiempo (n=93)	Tardío (n=30)	Grupo de estado madurativo			Edad			Grupo de estado madurativo*edad		
				F	p	$\eta^2_p$	F	p	$\eta^2_p$	F	p	$\eta^2_p$
Desfase madurativo (años)*	2,28±0,64	1,83±0,93	1,30±0,62	108,99	<0,001	0,63	1444,24	<0,001	0,92	648,84	<0,001	0,93
EPVC (años)*	11,52±0,24	12,34±0,29	13,13±0,27	108,99	<0,001	0,63	44,07	<0,001	0,25	234,25	<0,001	0,83
Masa corporal (Kg)*	61,73±10,28	56,12±9,70	53,30±7,27	47,55	<0,001	0,42	87,45	<0,001	0,40	37,54	<0,001	0,43
Talla (cm)*	163,90±4,85	161,89±6,34	159,42±6,24	84,68	<0,001	0,57	180,25	<0,001	0,58	75,83	<0,001	0,61
Envergadura (cm)*	164,16±5,97	162,73±7,69	160,47±7,52	39,46	<0,001	0,38	98,18	<0,001	0,43	40,14	<0,001	0,45
Talla sentado (cm)*	85,73±2,99	84,82±3,65	83,26±3,68	55,52	<0,001	0,46	122,22	<0,001	0,49	57,31	<0,001	0,54
Índice córmico	52,31±1,12	52,40±1,40	52,24±1,84	0,23	0,799	0,00	0,30	0,586	0,00	0,24	0,867	0,00
Envergadura relativa (%)	100,16±2,27	100,51±2,41	100,67±3,16	0,21	0,813	0,00	0,18	0,673	0,00	0,37	0,777	0,01
L. del miembro superior (cm)*	73,42±2,63	72,62±3,36	71,88±3,60	39,30	<0,001	0,38	89,18	<0,001	0,41	33,72	<0,001	0,41
Altura ilioespinal (cm)*	92,98±2,85	92,27±4,57	90,63±4,47	23,11	<0,001	0,26	47,93	<0,001	0,27	19,83	<0,001	0,29
D. biacromial (cm)*	35,81±1,68	34,95±1,87	34,86±2,06	38,61	<0,001	0,37	91,62	<0,001	0,42	32,79	<0,001	0,40
D. biileocrestal (cm)*	26,94±2,09	26,25±1,88	25,93±1,56	31,65	<0,001	0,33	75,27	<0,001	0,37	27,48	<0,001	0,36
D. del fémur (cm)*	9,35±0,53	9,05±0,49	8,83±0,39	25,97	<0,001	0,29	30,67	<0,001	0,19	18,97	<0,001	0,28
D. del húmero (cm)*	6,48±0,38	6,25±0,34	6,12±0,33	17,44	<0,001	0,21	17,23	<0,001	0,12	14,75	<0,001	0,23
D. biestiloideo (cm)*	5,05±0,23	4,91±0,26	4,84±0,27	10,26	<0,001	0,14	7,00	0,009	0,05	7,73	<0,001	0,14
Pr. corregido del brazo (cm)*	21,68±2,12	20,43±1,97	20,52±1,80	20,76	<0,001	0,24	37,60	<0,001	0,23	19,80	<0,001	0,29
Pr. corregido del muslo (cm)*	43,21±4,19	41,49±4,23	40,17±3,19	20,76	<0,001	0,24	37,19	<0,001	0,22	18,47	<0,001	0,27
Pr. corregido de la pierna (cm)*	29,51±3,13	29,08±2,67	29,24±2,03	14,21	<0,001	0,18	63,58	<0,001	0,33	24,14	<0,001	0,33
Endomorfia*	4,42±1,42	3,91±1,30	3,51±0,99	4,74	0,010	0,07	3,29	0,072	0,02	3,06	0,030	0,06
Mesomorfia	4,33±1,13	3,89±1,19	3,89±0,87	1,88	0,157	0,03	1,10	0,297	0,01	1,51	0,215	0,03
Ectomorfia*	2,03±1,23	2,59±1,42	2,55±1,05	3,16	0,046	0,05	3,31	0,071	0,03	2,34	0,076	0,05
∑6 pliegues cutáneos (mm)*	97,85±25,86	86,59±25,18	78,29±18,48	7,92	0,001	0,11	5,47	0,021	0,04	4,41	0,005	0,08
∑8 pliegues cutáneos (mm)*	122,79±33,57	108,27±34,09	96,61±23,80	7,31	0,001	0,10	4,63	0,033	0,03	3,82	0,011	0,07
Porcentaje de masa grasa (%)*	26,40±5,41	24,53±5,75	22,46±4,64	7,39	0,001	0,10	5,72	0,018	0,04	3,91	0,010	0,07

Porcentaje de masa muscular (%)	30,46±2,18	31,06±2,48	31,54±2,03	0,14	0,872	0,00	1,66	0,200	0,01	2,29	0,081	0,04
Porcentaje de masa ósea (%)*	15,84±1,97	16,40±2,04	16,32±1,74	6,33	0,002	0,09	17,79	<0,001	0,12	6,36	<0,001	0,11
Masa grasa (Kg)*	16,61±5,50	14,11±5,13	12,12±3,70	21,88	<0,001	0,25	28,87	<0,001	0,18	13,19	<0,001	0,21
Masa muscular (Kg)*	18,80±3,37	17,41±3,24	16,80±2,50	36,71	<0,001	0,36	84,54	<0,001	0,40	38,05	<0,001	0,44
Masa ósea (Kg)*	9,61±0,81	9,05±0,94	8,61±0,85	70,39	<0,001	0,52	106,77	<0,001	0,45	53,97	<0,001	0,52
IMC (Kg/m2)*	22,93±3,27	21,34±3,02	20,92±2,23	13,27	<0,001	0,17	20,91	<0,001	0,14	9,65	<0,001	0,16
Ratio cintura/cadera*	0,75±0,06	0,75±0,06	0,72±0,04	1,13	0,325	0,02	5,86	0,017	0,04	4,72	0,004	0,09
Índice musculo-esquelético*	1,95±0,28	1,92±0,25	1,95±0,21	4,48	0,013	0,06	21,58	<0,001	0,14	8,44	<0,001	0,15
Sit-and-reach test (cm)	5,50±6,02	5,85±8,60	4,81±9,89	0,54	0,584	0,01	0,09	0,760	0,00	0,40	0,752	0,01
Back scratch test (cm)	4,03±4,56	4,44±5,68	4,16±5,36	0,25	0,778	0,00	0,27	0,605	0,00	0,17	0,915	0,00
Salto de longitud (m)	1,59±0,19	1,63±0,21	1,68±0,20	0,06	0,939	0,00	2,51	0,115	0,02	2,65	0,051	0,05
Lanzamiento de balón medicinal (m)*	4,87±0,91	5,00±1,08	5,17±0,97	4,24	0,016	0,06	21,41	<0,001	0,14	10,49	<0,001	0,18
CMJ (cm)*	22,87±3,79	24,84±4,46	25,43±4,26	0,57	0,568	0,01	2,60	0,110	0,02	4,20	0,007	0,08
Potencia CMJ (W)*	635,00±96,98	603,35±111,99	580,89±94,36	40,16	<0,001	0,38	105,66	<0,001	0,45	44,06	<0,001	0,47
20-m sprint (s)	4,24±0,26	4,14±0,31	4,16±0,25	2,09	0,128	0,03	0,00	0,956	0,00	1,88	0,136	0,04
Test de agilidad (s)	9,65±0,73	9,22±1,05	9,23±0,66	1,46	0,237	0,02	1,56	0,214	0,01	0,74	0,528	0,01

L.: Longitud; D.: diámetro; Pr.: perímetro; \*: p<0.05

#### **2.4.1. Diferencias entre grupos de maduración en las variables antropométricas**

El ajuste por pares mostró diferencias estadísticas entre los maduradores tempranos y los en tiempo, y entre los maduradores tempranos y los tardíos, en la masa corporal, el IMC, los diámetros óseos de las extremidades y la masa ósea ( $p < 0,001-0,037$ ) (tablas 2-3). Los maduradores tempranos mostraron diferencias estadísticas en comparación con los maduradores tardíos en la talla y la talla sentado, el perímetro corregido del muslo, las sumas de los pliegues cutáneos, la masa y el porcentaje de grasa, la masa muscular y la endomorfia ( $p = 0,007-0,048$ ) (tablas 2-5). La inclusión de la covariable "edad" mostró que las diferencias encontradas entre los grupos de estado madurativo en las mediciones básicas ( $p < 0,001-0,030$ ), en las variables relacionadas con el hueso ( $p < 0,001-0,022$ ), en las variables relacionadas con el músculo y la grasa ( $p < 0,001-0,048$ ) y en la composición corporal ( $p < 0,001-0,041$ ) eran dependientes de la edad (tablas 2-5).

Tabla 2. Comparación post hoc entre grupos para las variables básicas, derivadas y de maduración.

Test	Grupo		Modelo							
			Grupo de estado madurativo				Grupo de estado madurativo*edad			
			Diferencia de medias±DE	p	95% CI	TEF	Diferencia de medias±DE	p	95% CI	TEF
Desfase madurativo (años)	TE	E*	-0,54±0,18	0,011	-0,97 to -0,10	0,53	00,64±0,06	<0,001	0,49 to 0,78	15,30
	TE	TA*	-0,99±0,22	<0,001	-1,52 to -0,45	0,58	1,25±0,08	<0,001	1,05 to 1,45	23,89
	E	TA*	-0,45±0,18	0,037	-0,88 to -0,02	0,68	0,61±0,06	<0,001	0,47 to 0,75	15,18
EPVC (años)	TE	E*	-0,82±0,06	<0,001	-0,97 to -0,68	0,95	-0,64±0,06	<0,001	-0,78 to -0,49	15,32
	TE	TA*	-1,61±0,07	<0,001	-1,79 to -1,44	3,13	-1,25±0,08	<0,001	-1,45 to -1,05	23,91
	E	TA*	-0,79±0,06	<0,001	-0,93 to -0,64	2,81	-0,61±0,06	<0,001	-0,75 to -0,47	15,18
Masa corporal (Kg)	TE	E*	5,61±1,99	0,017	0,77 to 10,45	0,81	14,13±1,81	<0,001	9,73 to 18,52	11,01
	TE	TA*	8,42±2,44	0,002	2,50 to 14,35	0,63	24,45±2,55	<0,001	18,27 to 30,64	15,22
	E	TA*	2,82±1,973	0,467	-1,96 to 7,59	0,33	10,32±1,75	<0,001	6,09 to 14,56	8,35
Talla (cm)	TE	E*	2,01±1,29	0,363	-1,11 to 5,14	0,36	8,82±0,95	<0,001	6,51 to 11,13	13,09
	TE	TA*	4,47±1,58	0,016	0,64 to 8,303	0,37	17,33±1,34	<0,001	14,08 to 20,58	20,53
	E	TA*	2,45±1,27	0,167	-0,63 to 5,55	0,39	8,51±0,92	<0,001	6,28 to 10,73	13,10
IMC (Kg/m2)	TE	E*	1,58±0,62	0,037	0,07 to 3,09	0,50	3,05±0,68	<0,001	1,40 to 4,69	6,34
	TE	TA*	2,00±0,76	0,029	0,15 to 3,86	0,34	4,76±0,96	<0,001	2,44 to 7,07	7,90
	E	TA*	0,42±0,61	1,000	-1,07 to 1,92	0,16	1,71±0,65	0,030	0,12 to 3,29	3,69
Envergadura (cm)	TE	E*	1,421±1,563	1,000	-2,37 to 5,21	0,21	8,67±1,34	<0,001	5,42 to 11,93	9,13
	TE	TA*	3,68±1,92	0,171	-0,96 to 8,33	0,26	17,27±1,89	<0,001	12,69 to 21,85	14,51
	E	TA*	2,26±1,55	0,438	-1,48 to 6,00	0,30	8,60±1,29	<0,001	5,46 to 11,73	9,39
Talla sentado (cm)	TE	E*	0,91±0,75	0,687	-0,91 to 2,73	0,27	4,55±0,61	<0,001	3,08 to 6,02	10,59
	TE	TA*	2,47±0,92	0,025	0,24 to 4,70	0,35	9,41±0,86	<0,001	7,34 to 11,49	17,49
	E	TA*	1,56±0,74	0,113	-0,24 to 3,36	0,43	4,86±0,58	<0,001	3,44 to 6,28	11,74

TE: Maduradores tempranos; E: Maduradores en tiempo; TA: Maduradores tardíos; \*: p<0.05; TEF: Tamaño del efecto

Tabla 3. Comparación post hoc entre grupos para las variables óseas y derivadas.

Test	Grupo		Grupo de estado madurativo				Modelo			
			Diferencia de medias±DE	p	95% CI	TEF	Diferencia de medias±DE	p	95% CI	TEF
Longitud del miembro superior (cm)	TE	E*	0,81±0,69	0,755	-0,89 to 2,50	0,27	3,77±0,62	<0,001	2,27 to 5,27	6,15
	TE	TA*	1,54±0,86	0,220	-0,53 to 3,62	0,24	7,21±0,88	<0,001	5,09 to 9,34	11,68
	E	TA*	0,74±0,69	0,858	-0,93 to 2,41	0,21	3,44±0,60	<0,001	1,98 to 4,90	7,58
Altura ilioespinal (cm)	TE	E*	0,95±0,91	0,890	-1,25 to 3,15	0,25	4,22±0,90	<0,001	2,04 to 6,40	6,64
	TE	TA*	2,34±1,11	0,111	-0,35 to 5,04	0,30	8,49±1,26	<0,001	5,43 to 11,56	10,67
	E	TA*	1,39±0,90	0,370	-0,78 to 3,57	0,31	4,27±0,87	<0,001	2,18 to 6,37	6,98
D. biacromial (cm)	TE	E*	0,86±0,40	0,098	-0,11 to 1,83	0,48	2,56±0,36	<0,001	1,68 to 3,44	9,97
	TE	TA*	0,94±0,49	0,167	-0,24 to 2,13	0,24	4,14±0,51	<0,001	2,90 to 5,38	12,89
	E	TA*	0,08±0,39	1,000	-0,87 to 1,04	0,04	1,58±0,35	<0,001	0,74 to 2,43	6,40
D. biileocrestal (cm)	TE	E*	0,67±0,40	0,270	-0,28 to 1,64	0,34	2,28±0,37	<0,001	1,38 to 3,18	8,67
	TE	TA*	0,99±0,49	0,125	-0,17 to 2,17	0,26	4,00±0,52	<0,001	2,73 to 5,27	12,13
	E	TA*	0,32±0,39	1,000	-0,63 to 1,27	0,19	1,72±0,36	<0,001	0,85 to 2,59	6,78
D. fémur (cm)	TE	E*	0,30±0,10	0,011	0,05 to 0,55	0,59	,061±0,10	<0,001	0,35 to 0,87	8,02
	TE	TA*	0,52±0,13	<0,001	0,21 to 0,82	0,49	1,09±0,15	<0,001	0,73 to 1,46	11,55
	E	TA*	0,22±0,10	0,104	-0,03 to 0,46	0,48	0,49±0,10	<0,001	0,24 to 0,74	6,69
D. húmero (cm)	TE	E*	0,23±0,07	0,007	0,05 to 0,40	0,63	0,41±0,08	<0,001	0,22 to 0,60	7,38
	TE	TA*	0,36±0,09	<0,001	0,14 to 0,57	0,45	0,71±0,11	<0,001	0,44 to 0,98	10,15
	E	TA*	0,13±0,07	0,225	-0,04 to 0,30	0,39	0,30±0,08	<0,001	0,11 to 0,48	5,54
D. biestiloideo (cm)	TE	E*	0,15±0,5	0,024	0,01 to 0,28	0,60	0,24±0,06	<0,001	0,09 to 0,39	5,65

Porcentaje de masa ósea (%)	TE	TA*	0,21±0,06	0,005	0,05 to 0,37	0,39	0,40±0,08	<0,001	0,19 to 0,60	7,46
	E	TA*	0,06±0,05	0,675	-0,06 to 0,19	0,25	0,16±0,06	0,022	0,02 to 0,30	3,84
	TE	E*	-0,56±0,42	0,554	-1,57 to 0,46	0,28	-1,51±0,46	0,004	-2,62 to -0,39	4,64
	TE	TA*	-0,49±0,51	1,000	-1,73 to 0,75	0,78	-2,25±0,65	0,002	-3,82 to -0,69	5,53
	E	TA	0,07±0,41	1,000	-0,93 to 1,07	0,04	-0,75±0,44	0,282	-1,82 to 0,33	2,38
	TE	E*	0,57±0,20	0,011	0,10 to 1,03	0,65	1,45±0,16	<0,001	1,06 to 1,84	12,66
Masa ósea (Kg)	TE	TA*	1,00±0,23	<0,001	0,43 to 1,56	0,99	2,68±0,23	<0,001	2,13 to 3,23	18,67
	E	TA*	0,43±0,19	0,071	-0,02 to 0,89	0,48	1,23±0,16	<0,001	0,85 to 1,61	11,13

D.: diámetro; TE: Maduradores tempranos; E: Maduradores en tiempo; TA: Maduradores tardíos; \*: p<0.05; TEF: Tamaño del efecto

Tabla 4. Comparación post hoc entre grupos para las variables medidas de los tejidos blandos.

Test	Grupo	Grupo de estado madurativo				Modelo				
		Diferencia de medias±DE	p	95% CI	TEF	Diferencia de medias±DE	p	95% CI	TEF	
Pr. corregido del brazo (cm)	TE	E*	1,24±0,42	0,010	0,23 to 2,26	0,61	2,70±0,42	<0,001	1,69 to 3,72	9,13
	TE	TA*	1,15±0,51	0,078	-0,09 to 2,39	0,88	3,86±0,59	<0,001	2,43 to 5,29	10,42
	E	TA*	-0,09±0,41	1,000	-1,09 to 0,90	0,05	1,16±0,40	0,014	0,18 to 2,14	4,07
Pr. corregido del muslo (cm)	TE	E*	1,72±0,86	0,140	-0,36 to 3,81	0,41	4,53±0,87	<0,001	2,41 to 6,65	7,33
	TE	TA*	3,04±1,05	0,013	0,49 to 5,59	0,79	8,35±1,23	<0,001	5,37 to 11,33	10,78
	E	TA*	1,31±0,85	0,370	-0,74 to 3,37	0,35	3,82±0,84	<0,001	1,78 to 5,86	6,41
Pr. corregido de la pierna (cm)	TE	E*	0,43±0,56	1,000	-0,93 to 1,80	0,15	2,57±0,54	<0,001	1,27 to 3,88	6,75
	TE	TA*	0,27±0,69	1,000	-1,40 to 1,95	0,05	4,37±0,76	<0,001	2,53 to 6,21	9,15
	E	TA*	-0,16±0,56	1,000	-1,51 to 1,19	0,07	1,80±0,52	0,002	0,54 to 3,06	4,90
∑6 Pliegues cutáneos (mm)	TE	E*	11,26±5,14	0,090	-1,18 to 23,70	0,44	16,32±5,89	0,019	2,06 to 30,58	3,92
	TE	TA*	19,56±6,29	0,007	4,33 to 34,79	0,40	29,06±8,29	0,002	9,00 to 49,13	5,58
	E	TA	8,30±5,07	0,312	-3,98 to 20,58	0,38	12,74±5,67	0,078	-0,99 to 26,47	3,18
∑8 Pliegues cutáneos (mm)	TE	E*	14,52±6,86	0,107	-2,08 to 31,13	0,43	19,27±7,90	0,048	0,13 to 38,40	3,45
	TE	TA*	26,19±8,40	0,007	5,86 to 46,52	0,41	34,95±11,12	0,006	8,02 to 61,88	5,00
	E	TA	11,66±6,77	0,261	-4,73 to 28,05	0,40	15,68±7,61	0,123	-2,74 to 34,10	2,91

Pr.: perímetro; TE: Maduradores tempranos; E: Maduradores en tiempo; TA: Maduradores tardíos; \*: p<0.05; TEF: Tamaño del efecto

Tabla 5. Comparación post hoc entre grupos para las variables de composición corporal.

Test	Grupo	Grupo de estado madurativo					Modelo Grupo de estado madurativo*edad			
		Diferencia de medias±DE	p	95% CI	TEF	Diferencia de medias±DE	p	95% CI	TEF	
Porcentaje de masa grasa (%)	TE E	1,87±1,17	0,336	-0,96 to 4,69	0,33	3,14±1,33	0,059	-0,09 to 6,37	3,33	
	TE TA*	3,94±1,43	0,020	0,48 to 7,40	0,36	6,35±1,88	0,003	1,80 to 10,90	5,37	
	E TA*	2,07±1,15	0,223	-0,72 to 4,86	0,40	3,21±1,28	0,041	0,10 to 6,32	3,53	
Masa grasa (Kg)	TE E*	2,50±1,05	0,057	-0,05 to 5,06	0,47	5,27±1,13	<0,001	2,54 to 8,01	6,61	
	TE TA*	4,50±1,29	0,002	1,37 to 7,62	0,43	9,70±1,59	<0,001	5,86 to 13,55	9,71	
	E TA*	1,99±1,04	0,172	-0,53 to 4,51	0,45	4,43±1,09	<0,001	1,80 to 7,06	5,76	
Masa muscular (Kg)	TE E	1,38±0,67	0,120	-0,23 to 2,99	0,42	4,31±0,59	<0,001	2,87 to 5,74	10,28	
	TE TA*	1,99±0,81	0,048	0,01 to 3,97	0,32	7,51±0,83	<0,001	5,49 to 9,53	14,31	
	E TA*	0,61±0,66	1,000	-0,98 to 2,20	0,21	3,20±0,57	<0,001	1,82 to 4,58	7,93	
Índice musculoesquelético	TE E*	0,03±0,05	1,000	-0,09 to 0,16	0,13	0,017±0,06	0,008	0,03 to 0,31	4,30	
	TE TA*	0,003±0,07	1,000	-0,15 to 0,16	0,01	0,026±0,08	0,004	0,07 to 0,46	5,24	
	E TA	-0,03±0,05	1,000	-0,16 to 0,10	0,13	0,09±0,05	0,301	-0,04 to 0,22	2,35	
Endomorfia	TE E	0,51±0,27	0,193	-0,15 to 1,16	0,37	0,66±0,31	0,112	-0,10 to 1,41	2,97	
	TE TA*	0,91±0,33	0,020	0,11 to 1,71	0,35	1,20±0,44	0,021	0,14 to 2,27	4,35	
	E TA	0,41±0,27	0,383	-0,24 to 1,06	0,35	0,55±0,30	0,210	-0,18 to 1,28	2,58	
Ectomorfia	TE E*	-0,56±0,28	0,141	-1,24 to 0,12	0,42	-0,82±0,32	0,036	-1,60 to -0,04	3,60	
	TE TA	-0,51±0,34	0,397	-1,35 to 0,31	0,22	-1,01±0,45	0,084	-2,10 to 0,09	3,52	
	E TA	0,04±0,28	1,000	-0,62 to 0,71	0,03	-0,19±0,31	1,000	-0,94 to 0,57	0,84	

TE: Maduradores tempranos; E: Maduradores en tiempo; TA: Maduradores tardíos; \*: p<0.05; TEF: Tamaño del efecto



#### **2.4.2. Diferencias entre grupos de maduración en los test de condición física**

Se encontraron diferencias significativas entre los grupos de estado madurativo en el lanzamiento de balón medicinal y la potencia CMJ ( $p < 0,001-0,016$ ). La covariable "edad" mostró tener un efecto significativo en el modelo para las dos variables ( $p < 0,001$ ). La interacción entre variables mostró que las diferencias encontradas entre los grupos de estado madurativo dependían de la edad en el lanzamiento de balón medicinal, el CMJ y la potencia del CMJ ( $p < 0,001-0,007$ ).

El ajuste por pares no mostró diferencias entre los grupos de estado madurativo. Se observó un efecto significativo de la edad en las diferencias encontradas en el lanzamiento de balón medicinal entre maduradores tempranos y tardíos y entre los tres grupos en la potencia CMJ ( $p < 0,001-0,026$ ). Los jugadores más maduros mostraron valores más altos en ambas pruebas (tabla 6).

Tabla 6. Comparación post hoc entre grupos para las variables de condición física

Test	Grupo	Grupo de estado madurativo				Modelo				
		Diferencia de medias±DE	p	95% CI	TEF	Diferencia de medias±DE	p	95% CI	TEF	
Lanzamiento de balón medicinal (m)	TE	E	-0,12±,21	1,000	-0,66 to 0,40	0,18	0,48±0,23	0,115	-0,08 to 1,04	2,96
	TE	TA*	-0,30±0,27	0,804	-0,95 to 0,35	0,16	0,86±0,33	0,026	0,08 to 1,65	4,22
	E	TA	-0,17±0,22	1,000	-0,69 to 0,35	0,12	0,38±0,22	0,269	-0,16 to 0,92	2,41
	TE	E	-1,97±0,92	0,099	-4,19 to 0,25	0,14	-0,82±1,04	1,000	-3,33 to 1,70	1,11
CMJ (cm)	TE	TA	-2,56±1,12	0,071	-5,28 to 0,15	0,30	-0,28±1,46	1,000	-3,82 to 3,26	0,30
	E	TA	-0,59±0,90	1,000	-2,78 to 1,60	0,48	0,54±1,00	1,000	-1,88 to 2,96	0,76
Potencia CMJ (W)	TE	E*	31,65±22,55	0,488	-22,96 to 86,26	0,30	135,49±19,22	<0,001	88,94 to 182,04	9,97
	TE	TA*	54,11±27,61	0,156	-12,75 to 120,97	0,27	251,07±27,05	<0,001	185,56 to 316,58	14,75
	E	TA*	22,46±22,26	0,944	-31,45 to 76,37	0,22	115,58±18,51	<0,001	70,76 to 160,40	8,83

TE: Maduradores tempranos; E: Maduradores en tiempo; TA: Maduradores tardíos; \*: p<0.05; TEF: Tamaño del efecto

### 2.4.3. Correlaciones y modelos de regresión

Las correlaciones entre el desfase madurativo, la edad y las variables cineantropométricas y de condición física se muestran en la tabla 7. Tanto el desfase madurativo como la edad mostraron correlaciones positivas, entre bajas y moderadas, con el salto de longitud, el lanzamiento de balón medicinal, el CMJ y la potencia del CMJ ( $r=0,221-0,629$ ;  $p<0,001-0,006$ ). La prueba de sit-and-reach mostró correlaciones positivas, de moderadas a bajas, con la masa corporal, la talla senado, la envergadura, el índice córmico, la envergadura relativa, el diámetro biacromial y el perímetro corregido de la pierna ( $r=0,161-0,360$ ;  $p<0,001-0,026$ ); y una correlación negativa baja con el IMC ( $r=-0,189$ ;  $p=0,020$ ). La prueba back scratch mostró correlaciones positivas de moderadas a bajas con la envergadura, la envergadura relativa y la longitud del miembro superior ( $r=0,241-0,416$ ;  $p<0,001-0,003$ ); y correlaciones negativas bajas con el perímetro corregido del brazo, el  $\sum 8$  pliegues cutáneos, el IMC y el índice musculo-esquelético ( $r=-0,166$ ;  $-0,222$ ,  $p=0,006-0,040$ ). La prueba de salto de longitud mostró correlaciones positivas bajas con la envergadura y la altura ilioespinal ( $r=0,172-0,200$ ;  $p=0,013-0,034$ ); y correlaciones negativas bajas con el  $\sum 8$  pliegues cutáneos y la masa grasa (kg) ( $r=-0,174$ ;  $-0,292$ ,  $p<0,001-0,032$ ). La prueba de lanzamiento de balón medicinal mostró correlaciones significativas positivas, bajas o moderadas con todas las variables ( $r=0,234-0,560$ ;  $p<0,001-0,004$ ), a excepción del índice córmico y el  $\sum 8$  pliegues cutáneos. El CMJ mostró correlaciones negativas con el diámetro biileocrestal, el  $\sum 8$  pliegues cutáneos, la masa grasa (kg) y el IMC ( $r=-0,249$ ;  $-0,396$ ,  $p<0,001-0,002$ ). Todas las variables cineantropométricas mostraron correlaciones positivas significativas, moderadas y altas ( $r=0,411-0,850$ ;  $p<0,001$ ) con la potencia en el CMJ, a excepción de la envergadura relativa y el índice córmico. El tiempo de sprint de 20 m y el tiempo de la prueba de agilidad mostraron correlaciones positivas bajas y moderadas con la masa corporal, el diámetro biileocrestal, el  $\sum 8$  pliegues cutáneos, la masa grasa (kg) y el IMC ( $r=0,180-0,379$ ;  $p<0,001-0,027$ ).



Tabla 7. Correlaciones entre las variables cineantropométricas y de condición física.

	Sit-and-reach	Back scratch test	Salto de longitud	Lanzamiento			20 m sprint	Test de agilidad
				de balón medicinal	CMJ	Potencia CMJ		
Desfase madurativo	r=0,096; p=0,238	r=0,046; p=0,571	r=0,221; p=0,006	r=0,470; p<0,001	r=0,221; p=0,009	r=0,629; p<0,001	r=-0,078; p=0,337	r=0,052; p=0,524
Edad	r=0,043; p=0,603	r=0,043; p=0,600	r=0,225; p=0,005	r=0,370; p<0,001	r=0,269; p=0,001	r=0,403; p<0,001	r=-0,106; p=0,195	r=0,021; p=0,802
Masa corporal	r=0,161; p=0,047	r=-0,088; p=0,281	r=-0,039; p=0,634	r=0,448; p<0,001	r=-0,172; p=0,034	r=0,850; p<0,001	r=0,238; p=0,003	r=0,180; p=0,027
Talla	r=0,028; p=0,730	r=0,115; p=0,158	r=0,147; p=0,070	r=0,402; p<0,001	r=0,097; p=0,234	r=0,626; p<0,001	r=0,003; p=0,966	r=0,064; p=0,432
Envergadura	r=0,180; p=0,026	r=0,329; p<0,001	r=0,200; p=0,013	r=0,473; p<0,001	r=0,157; p=0,054	r=0,594; p<0,001	r=-0,011; p=0,892	r=0,015; p=0,858
Talla sentado	r=0,196; p=0,016	r=0,007; p=0,931	r=0,153; p=0,060	r=0,390; p<0,001	r=0,082; p=0,318	r=0,605; p<0,001	r=-0,095; p=0,244	r=0,010; p=0,906
Índice córmico	r=0,271; p=0,001	r=-0,144; p=0,076	r=0,040; p=0,624	r=0,052; p=0,526	r=-0,001; p=0,994	r=0,075; p=0,358	r=-0,157; p=0,053	r=-0,080; p=0,331
Envergadura relativa	r=0,281; p<0,001	r=0,416; p<0,001	r=0,144; p=0,076	r=0,243; p=0,003	r=0,137; p=0,093	r=0,119; p=0,143	r=-0,024; p=0,767	r=-0,078; p=0,341
Longitud del miembro superior	r=0,099; p=0,223	r=0,241; p=0,003	r=0,157; p=0,053	r=0,412; p<0,001	r=0,067; p=0,414	r=0,564; p<0,001	r=0,069; p=0,399	r=0,032; p=0,695
Altura ilioespinal	r=-0,076; p=0,354	r=0,156; p=0,055	r=0,172; p=0,034	r=0,234; p=0,004	r=0,091; p=0,267	r=0,478; p<0,001	r=0,054; p=0,512	r=-0,032; p=0,698
D. biacromial	r=0,360; p<0,001	r=0,216; p=0,008	r=0,122; p=0,135	r=0,560; p<0,001	r=0,100; p=0,221	r=0,703; p<0,001	r=0,089; p=0,273	r=-0,103; p=0,207
D. biileocrestal	r=0,048; p=0,556	r=-0,095; p=0,243	r=-0,112; p=0,169	r=0,333; p<0,001	r=-0,249; p=0,002	r=0,580; p<0,001	r=0,210; p=0,009	r=0,142; p=0,081

Pr. corregido del brazo	r=0,108; p=0,187	r=-0,166; p=0,040	r=-0,008; p=0,924	r=0,389; p<0,001	r=-0,032; p=0,698	r=0,703; p<0,001	r=0,092; p=0,260	r=0,129; p=0,116
Pr. corregido del muslo	r=0,173; p=0,033	r=-0,137; p=0,093	r=-0,004; p=0,958	r=0,381; p<0,001	r=-0,115; p=0,157	r=0,725; p<0,001	r=0,136; p=0,094	r=0,129; p=0,115
Pr. corregido de la pierna	r=0,101; p=0,214	r=0,048; p=0,559	r=0,094; p=0,247	r=0,395; p<0,001	r=0,066; p=0,419	r=0,688; p<0,001	r=0,029; p=0,724	r=0,085; p=0,299
∑8 pliegues cutáneos	r=-0,010; p=0,902	r=-0,222; p=0,006	r=-0,292; p<0,001	r=0,087; p=0,284	r=-0,396; p<0,001	r=0,411; p<0,001	r=0,379; p<0,001	r=0,237; p=0,003
Masa grasa	r=0,119; p=0,143	r=-0,129; p=0,112	r=-0,174; p=0,032	r=0,313; p<0,001	r=-0,332; p<0,001	r=0,632; p<0,001	r=0,353; p<0,001	r=0,200; p=0,014
Masa muscular	r=0,135; p=0,097	r=-0,096; p=0,242	r=0,028; p=0,734	r=0,453; p<0,001	r=-0,052; p=0,521	r=0,817; p<0,001	r=0,120; p=0,142	r=0,143; p=0,081
Masa ósea	r=0,067; p=0,409	r=0,071; p=0,387	r=0,115; p=0,157	r=0,463; p<0,001	r=0,007; p=0,936	r=0,694; p<0,001	r=0,098; p=0,232	r=0,120; p=0,141
IMC	r=-0,189; p=0,020	r=-0,169; p=0,037	r=-0,127; p=0,118	r=0,327; p<0,001	r=-0,260; p=0,001	r=0,703; p<0,001	r=0,289; p<0,001	r=0,181; p=0,026
Índice musculo-esquelético	r=0,151; p=0,063	r=-0,194; p=0,017	r=-0,050; p=0,541	r=0,269; p=0,001	r=-0,072; p=0,379	r=0,590; p<0,001	r=0,078; p=0,342	r=0,090; p=0,270

Tabla 8. Modelos de regresión del rendimiento en las diferentes pruebas de condición física.

Variable	R <sup>2</sup>	p	Variables independientes incluidas	CE	p	Ecuación predictiva
Sit & reach	0,24	<0,001	D. biacromial	0,27	0,001	Sit & reach = -199,309 + 1,183*D. biacromial + 1,630*índice córmico + 77,628*envergadura relativa
			Índice córmico	0,28	<0,001	
			Envergadura relativa	0,24	0,002	
Back scratch	0,21	<0,001	Envergadura relativa	0,40	<0,001	Back scratch = -77,836 + 85,116*envergadura relativa - 0,031* $\sum$ 8 pliegues cutáneos
			$\sum$ 8 pliegues cutáneos	-0,19	0,010	
Salto de longitud	0,13	<0,001	Edad	0,20	0,010	Salto de longitud = 1,348 + 0,033*edad - 0,002* $\sum$ 8 pliegues cutáneos
			$\sum$ 8 pliegues cutáneos	-0,27	0,001	
Lanzamiento de balón medicinal	0,37	<0,001	D. biacromial	0,43	<0,001	Lanzamiento de balón medicinal = -6,818 + 0,232*D. biacromial + 0,149*age + 0,076*Pr. corregido del brazo
			Edad	0,18	0,011	
			Pr. corregido del brazo	0,15	0,045	
CMJ	0,21	<0,001	$\sum$ 8 pliegues cutáneos	-0,38	<0,001	CMJ = 18,339 - 0,050* $\sum$ 8 pliegues cutáneos + 0,821*edad
			Edad	0,24	0,002	
Potencia CMJ	0,79	<0,001	Masa corporal	0,58	<0,001	CMJ power = 33,780 + 6,391*masa corporal + 13,701*D. biacromial + 18,304*masa muscular - 7,662*Pr. corregido del muslo - 10,436*D. biileocrestal
			D. biacromial	0,24	<0,001	
			Masa muscular	0,54	<0,001	
			Pr. corregido del muslo	-0,30	0,010	
D. biileocrestal	-0,18	0,002				
Sprint	0,37	<0,001	$\sum$ 8 pliegues cutáneos	0,37	<0,001	Sprint = 3,809 + 0,003* $\sum$ 8 pliegues cutáneos
Test de agilidad	0,04	0,019	Masa grasa	0,20	0,019	Test de agilidad = 8,718 + 0,038*masa grasa

CE: Coeficiente estandarizado; D.: diámetro; Pr.: perímetro

## 2.5. – Discusión

Uno de los objetivos de la presente investigación fue analizar las diferencias en las variables cineantropométricas en jugadoras de voleibol según el grupo de

maduración. Se observó que las jugadoras del grupo de maduración temprana mostraron valores significativamente más altos en la mayoría de las variables cineantropométricas y derivadas que las jugadoras de los grupos de maduración media y tardía, y que la edad tuvo una influencia significativa en las diferencias encontradas. Más concretamente, los maduradores tempranos tenían una masa corporal, una altura, una estatura sentada y un IMC significativamente mayores que los maduradores tardíos, y una masa corporal y un IMC mayores que los maduradores medios. Se han encontrado resultados similares en investigaciones anteriores, mostrando que, en las comparaciones de grupo, los maduradores tempranos mostraron valores más altos para estas variables (Leonardi et al., 2018; Söğüt et al., 2019). Durante la adolescencia, suele producirse un aumento del tamaño y la masa corporal debido a los cambios en el entorno hormonal. En esta línea, los esteroides sexuales, cuya concentración aumenta durante el proceso de maduración (Handelsman et al., 2018), juegan un papel importante en la acumulación de grasa y masa magra (Klaver et al., 2018), y podrían ser la causa de las diferencias observadas en la masa corporal. Por otro lado, durante la pubertad se produce un aumento de las concentraciones de la hormona del crecimiento (GH) en comparación con los valores basales de etapas anteriores, especialmente alrededor de la EPVC (Saenger, 2003). Esta hormona tiene una gran influencia en la talla (Richmond & Rogol, 2016), por lo que los cambios en la GH podrían ser la causa de las diferencias observadas en la estatura y la talla sentada entre los maduradores tempranos y el resto de jugadores de voleibol. Teniendo en cuenta que el voleibol es un deporte en el que la talla es una importante ventaja competitiva (Zhao et al., 2019), en base a los resultados de la presente investigación, se podría hipotetizar que los maduradores tempranos tendrían una ventaja competitiva durante las primeras etapas del periodo de crecimiento, que posteriormente podría ser neutralizada por los maduradores tardíos o medios a medida que se acercan a la edad adulta. Esta es una cuestión que habría que tener en cuenta en los modelos de identificación de talentos en el voleibol.

Los resultados del presente estudio también mostraron diferencias entre los grupos en las variables relacionadas con la adiposidad y el desarrollo muscular y óseo. Una posible explicación podría ser que las hormonas sexuales femeninas que influyen en el desarrollo puberal están estrechamente relacionadas con el tejido adiposo (Sandhu et al., 2005). En concreto, los estrógenos no sólo se producen en el ovario, sino que también se sintetizan en los tejidos diana (mama, hueso o cerebro) y en los tejidos periféricos, como el tejido adiposo (Biro et al., 2014). En este sentido, se ha observado que la cantidad y distribución del tejido adiposo presente en etapas prepuberales está asociada a la presencia de hormonas sexuales femeninas circulantes (Garnett et al., 2004). Esto podría alterar el inicio



del proceso de maduración en las chicas, observándose una relación entre una mayor adiposidad y un inicio más temprano de la maduración (Sandhu et al., 2005). Además, los estrógenos no sólo promueven la acumulación periférica de tejido adiposo, sino que también juegan un papel crucial en la formación de hueso (Farr et al., 2014), lo que podría explicar las diferencias encontradas entre grupos en los diámetros óseos medidos. En cuanto a las diferencias en las variables relacionadas con la masa muscular, durante la adolescencia el aumento de la masa muscular se asocia a incrementos en la concentración de la GH, el factor de crecimiento similar a la insulina 1 (IGF-1) y la testosterona (Farr et al., 2014; Veldhuis et al., 2005). Estas hormonas aumentan su concentración entre 1,5 y 3 veces alrededor de la EPVC con respecto a los niveles basales previos, y son por tanto determinantes en los cambios en el desarrollo muscular durante la adolescencia (Farr et al., 2014). Sin embargo, el aumento de estas hormonas, especialmente de la testosterona, es menos brusco y alcanza concentraciones más bajas en las mujeres que en los hombres (Handelsman et al., 2018), lo que podría explicar que los cambios observados en los parámetros asociados al desarrollo muscular entre grupos sólo se encuentren en algunas de estas variables. De hecho, cuando se introdujo la edad en el modelo, se encontraron diferencias significativas en la mayoría de las variables relacionadas con el desarrollo muscular, lo que apoya esta hipótesis. En base a los resultados de la presente investigación, el parámetro de desarrollo muscular podría utilizarse con cierta seguridad en la detección de talentos deportivos en la etapa de crecimiento, ya que la influencia de la maduración parece ser limitada, a diferencia de lo que se observa con la adiposidad y el desarrollo óseo. Sin embargo, dado que no existen estudios previos que hayan analizado la influencia de la maduración sobre las variables óseas y musculares en la población femenina, esta es una cuestión que debería investigarse más a fondo en el futuro.

Otro objetivo de la presente investigación fue analizar las diferencias en las pruebas de condición física de las jugadoras de voleibol según el grupo de maduración. Se encontraron diferencias significativas entre los grupos en las pruebas de lanzamiento de balón medicinal y de potencia CMJ. Aunque no existen estudios previos que hayan analizado este aspecto en deportistas femeninas, los resultados de la presente investigación están en consonancia con los encontrados en adolescentes masculinos, en los que se comprobó que los grupos de maduración temprana obtuvieron mejores resultados que los de maduración media y tardía en todas las pruebas que dependían de la fuerza y la potencia muscular (Albaladejo-Saura et al., 2021). Esto podría deberse a que estudios anteriores mostraron que el rendimiento físico en este tipo de pruebas

específicas que requerían el uso de la fuerza y la potencia muscular, como el salto de longitud, el lanzamiento de balón medicinal, el CMJ, el sprint o el test de agilidad, se veían favorecidos por valores más altos de masa muscular y más bajos de masa grasa, junto con otros factores como los hormonales y neurales (Ferretti et al., 1994; Fitts et al., 1991; Kraemer & Newton, 2000). En este sentido, mientras que en los varones los maduradores tempranos tienen mayor desarrollo muscular que los maduradores medios y tardíos (Albaladejo-Saura et al., 2021; Valente-Dos-Santos et al., 2014), en la presente investigación realizada con mujeres, se encontró que los grupos de maduración temprana tenían mayor desarrollo muscular, pero también mayor adiposidad, que los maduradores medios y tardíos. Por lo tanto, es posible que la ventaja potencial del mayor desarrollo muscular en estas pruebas se vea minimizada por el aumento de la masa grasa y por el hecho de que el aumento de la masa muscular es más gradual que entre los maduradores tardíos (Garnett et al., 2004). A pesar de estos prometedores resultados, aún quedan muchas preguntas por responder.

Además, no se encontraron diferencias entre los grupos de maduración en los resultados de las pruebas de flexibilidad. Si bien ninguna investigación anterior analizó esta cuestión en las mujeres, la investigación en los hombres encontró resultados similares (Arede et al., 2019; Gouvea et al., 2016). Esto podría deberse a que mientras algunos grupos musculares tienden a acortarse debido a factores histológicos y biomecánicos con el paso de los años (Avrillon et al., 2020; Vaquero-Cristóbal et al., 2015), la extensibilidad parece ser sensible a los cambios producidos por el entrenamiento, mejorándola y produciendo adaptaciones morfológicas y neurológicas (Klaver et al., 2018). Estudios anteriores ya han señalado que las jugadoras de voleibol tienen rangos articulares más bajos como resultado de las adaptaciones producidas por el entrenamiento (Saccol et al., 2016). Por lo tanto, los efectos del entrenamiento podrían ser la razón de la ausencia de diferencias estadísticas en la flexibilización entre los grupos de maduración.

Un hallazgo interesante es que cuando se incluyó la edad como covariable en el análisis de las diferencias entre grupos en las pruebas de condición física, se encontró que los maduradores tempranos alcanzaron mayores distancias en el lanzamiento de balón medicinal que los maduradores tardíos, y que hubo diferencias en la potencia del CMJ entre todos los grupos, con mejores resultados en los grupos cuya maduración era más avanzada, sin diferencias en el resto de las pruebas físicas. Esto podría deberse a que el rendimiento en ambas pruebas de condición física está relacionado con la masa muscular (Fitts et al., 1991; Kraemer & Newton, 2000), y en la población femenina, el aumento de la masa muscular durante la adolescencia se produce de forma más gradual debido al incremento

sostenido en el tiempo de las hormonas responsables de su aumento (Garnett et al., 2004). De hecho, los resultados de la investigación presente están en consonancia con estudios previos realizados en población adolescente femenina, que encontraron que la edad era un factor clave cuando se analizaban los cambios que se producían en esta etapa en las variables de rendimiento deportivo (Leonardi et al., 2018; Söğüt et al., 2019), especialmente en las variables de condición física dependientes de la fuerza muscular o la agilidad (Beunen et al., 1997; Malina & Bouchard, 1991; Matton et al., 2007).

Otro objetivo de la presente investigación fue determinar si la edad, el desfase madurativo o las variables cineantropométricas podían predecir un mejor rendimiento en las pruebas de condición física. Se encontró que las variables relacionadas con la adiposidad, el  $\Sigma 8$  pliegues cutáneos, el IMC y la masa corporal, predecían un peor rendimiento deportivo en las pruebas de salto, sprint, agilidad y flexibilidad de los miembros superiores. Esto puede deberse a que en la mayoría de las disciplinas deportivas, la baja adiposidad y el peso favorecen el rendimiento, ya que el peso añadido en forma de tejido adiposo puede lastrar el rendimiento en los deportes que implican un movimiento constante, al requerir un mayor esfuerzo para el desplazamiento (Cabañas & Esparza, 2009; Genton et al., 2019).

La edad también se mostró como un predictor de un mejor rendimiento en el salto de longitud, el lanzamiento de balón medicinal y el CMJ. Como se ha constatado en investigaciones anteriores, la edad es un factor clave en el rendimiento de los adolescentes (Folgado et al., 2021) Con el avance de la edad, se produce un aumento significativo del tejido muscular y óseo, más acusado cuando hay una práctica sistemática de ejercicio físico, debido a los cambios hormonales inducidos por éste, pero que también se produce en ausencia de ejercicio, lo que podría explicar su influencia en los modelos (Hulthén et al., 2001; Malina & Bouchard, 1991). Además, se ha observado que la mayor influencia de la maduración biológica en las diferencias de rendimiento físico se encuentra en torno a la EPVC (Folgado et al., 2021; Malina & Bouchard, 1991). El presente estudio incluyó una muestra homogénea que había superado mayoritariamente la EPVC, lo que, junto con la influencia de la edad en las diferencias entre grupos encontradas en las pruebas de condición, podría ser la razón por la que la edad es un mejor predictor que la maduración del rendimiento físico en esta muestra.

Además, las variables relacionadas con la estructura ósea, tanto en el plano longitudinal como en el transversal, resultaron ser clave para el rendimiento tanto en las pruebas de flexibilidad como en las de fuerza de los miembros superiores e inferiores. Estudios anteriores ya señalaban la importancia de la estructura ósea

en el rendimiento deportivo, por su relación con los parámetros biomecánicos de ejecución de la fuerza (Keogh et al., 2009; Sammoud et al., 2018) y por proporcionar el entorno adecuado para un mejor desarrollo muscular (Holway & Garavaglia, 2009). En jugadores de voleibol se observó que existían diferencias en la estructura ósea al comparar sujetos de diferentes niveles competitivos, mostrando los jugadores de élite valores más altos en la talla, la longitud del miembro superior y los diámetros óseos (Toselli & Campa, 2018). Por lo tanto, los factores relacionados con la estructura ósea en atletas adolescentes podrían ser la clave en la identificación de talentos y en la predicción de su futuro rendimiento.

Por otro lado, uno de los predictores de la potencia en CMJ y lanzamiento de balón medicinal fue la masa muscular. La fuerza muscular y la producción de potencia están inicialmente relacionadas con factores neuronales, pero posteriormente están altamente correlacionadas con la ganancia de masa muscular (Moritani & deVries, 1979; Petré et al., 2018). La masa muscular es un factor clave en la mejora del rendimiento en deportes en los que la masa corporal se desplaza en el plano horizontal o vertical, como el voleibol (Cabañas & Esparza, 2009). Sin embargo, a pesar de que en el presente estudio se encontró que el rendimiento físico dependía de la adiposidad, del desarrollo muscular y de las estructuras óseas, existe una considerable falta de información en la literatura científica sobre este tema, por lo que es necesario seguir investigando para continuar ampliando el conocimiento sobre la relación entre los componentes plásticos y estructurales y el rendimiento deportivo, tanto en pruebas de condición física general como en acciones específicas del deporte.

En cuanto a las limitaciones del presente estudio, se utilizó un diseño transversal, por lo que sólo permitió establecer relaciones entre las variables cineantropométricas, las variables de condición física y la maduración biológica, sin que fuera posible el análisis de la progresión de estas variables. Otra limitación del presente estudio fue el uso de un método indirecto para estimar el desfase madurativo, como es una fórmula de regresión basada en mediciones cineantropométricas (Mirwald et al., 2002), en lugar del gold standard para la evaluación del desfase madurativo, que es el análisis radiográfico de muñeca y mano. Cabe señalar que el método de los rayos X no está exento de limitaciones, como la radiación a la que se exponen los sujetos, el coste de la aplicación o el tiempo invertido, así como la dificultad de aplicar el método correctamente, de modo que los reevaluadores no expertos podrían introducir errores en la estimación (Towlson et al., 2021). Debido a estos inconvenientes, algunos autores abogan por el uso de métodos alternativos menos invasivos en la población adolescente (Towlson et al., 2017; Towlson et al., 2021). Entre estos métodos alternativos a la valoración radiográfica que pueden ser utilizados en estudios

transversales se encuentran las fórmulas que estiman el desfase madurativo a partir de medidas antropométricas, siendo la más utilizada en la población de deportistas adolescentes la propuesta por Mirwald et al. (2002), que ha sido utilizada tanto en deportistas adolescentes que participan en deportes de equipo como en deportes individuales (Albaladejo-Saura et al., 2021). A pesar de ser ampliamente utilizada y de haber mostrado su fiabilidad en poblaciones similares a la del presente estudio (Towlson et al., 2017), se han identificado algunas limitaciones en el uso de las fórmulas de regresión para la estimación del desfase madurativo. Se ha observado que tienden a subestimar el valor para los maduradores tempranos, mientras que lo sobreestiman para los maduradores tardíos (Towlson et al., 2021), que pueden introducir error en la estimación del desfase madurativo (0,50-0,59 años) y que los valores de estimación aumentan de forma relativamente constante con el avance de la edad cronológica (Malina, Coelho-E-Silva, et al., 2021; Mirwald et al., 2002). Por lo tanto, conociendo las limitaciones de este método, esta investigación utiliza la estimación del desfase madurativo como una variable categórica, tal y como se recomienda en investigaciones anteriores (Malina, Coelho-E-Silva, et al., 2021; Mirwald et al., 2002), incluye a los participantes con rangos de edad cronológica dentro del rango recomendado y utiliza la edad cronológica de los participantes para controlar el efecto de las diferencias entre grupos.

## 2.6. – Conclusiones

Se encontraron diferencias influenciadas por la edad entre las distintas etapas de maduración biológica en las variables cineantropométricas estudiadas en jugadoras de voleibol, siendo las jugadoras que maduraron antes las que mostraron valores más altos en todas las variables cineantropométricas, siendo especialmente relevantes las diferencias en las medidas básicas, en las variables relacionadas con la adiposidad y la composición corporal absoluta, como los diámetros óseos o los perímetros corregidos. Sin embargo, en general, no se encontraron diferencias en el rendimiento en las pruebas de condición física en función de la maduración, siendo la edad un factor determinante en esta relación. Finalmente, la edad, las variables estructurales relacionadas con las dimensiones óseas, tanto longitudinales como transversales, la adiposidad y el desarrollo muscular, fueron factores que predijeron el rendimiento en las pruebas de condición física, siendo el rendimiento en las pruebas de flexibilidad más dependiente de la estructura ósea, el rendimiento en los saltos tanto de la adiposidad como de la estructura ósea, y el rendimiento en los sprints y la agilidad de la adiposidad. Sin embargo, los resultados de la presente

investigación deben tomarse con cautela, ya que debido a las características de la muestra incluida y a las limitaciones del estudio, sólo pueden extenderse a poblaciones similares. Futuras líneas de investigación podrían abordar las limitaciones identificadas diseñando un estudio longitudinal, incluyendo las variables cineantropométricas y de condición física en una población con un rango de edad más amplio para observar la evolución a lo largo de todo el proceso de maduración, y utilizar métodos para observar los cambios en la maduración en lugar de estimarlos con fórmulas de regresión. Las posibles aplicaciones prácticas del presente trabajo podrían estar relacionadas con las diferencias encontradas entre los grupos de maduración. En este sentido, los jugadores de maduración temprana muestran características antropométricas y de condición física que podrían suponer una ventaja competitiva respecto a sus compañeros. Esto debería ser tenido en cuenta por los entrenadores, ya que es posible que presten más atención a los jugadores que maduran antes cuando las variables que les hacen destacar están influenciadas por la edad y podrían equipararse a los jugadores que tardan más en madurar después de la adolescencia. Además, se ha identificado qué variables están más relacionadas con un mejor rendimiento en las pruebas de condición física. Esto podría ayudar a los entrenadores a centrar el trabajo en aquellas variables que son modificables con el entrenamiento y que pueden conducir a una mejora significativa del rendimiento.

**Vc – ESTUDIO 3: Influencia  
del estado de maduración  
biológica sobre determinadas  
variables antropométricas y  
físicas en adolescentes varones  
jugadores voleibol**





## V – ESTUDIO 3

### INFLUENCIA DEL ESTADO DE MADURACIÓN BIOLÓGICA SOBRE DETERMINADAS VARIABLES ANTROPOMÉTRICAS Y FÍSICAS EN ADOLESCENTES VARONES JUGADORES DE VOLEIBOL.

#### 3.1. – Resumen

**Antecedentes.** La identificación del talento deportivo entre los atletas adolescentes es un tema que en los últimos años ha suscitado un gran interés tanto para la comunidad científica como para los gestores deportivos. Tanto la antropometría como el rendimiento físico mediante pruebas de condición física han demostrado ser elementos clave. La maduración biológica, por su influencia en las variables antropométricas y en la condición física, también ha sido estudiada en relación con la identificación de talentos deportivos.

**Objetivo.** Analizar las diferencias según el estado de maduración biológica en las características antropométricas y el rendimiento en las pruebas de condición física, y determinar qué variables predicen un mejor rendimiento en las pruebas de condición física en jugadores de voleibol adolescentes.

**Métodos.** Se siguió un diseño transversal para recoger los datos. Un total de 48 jugadores masculinos de voleibol de sub-élite ( $14,17 \pm 0,73$  años) completaron un cuestionario sociodemográfico y deportivo ad hoc. Las variables antropométricas se midieron siguiendo las directrices de la International Society for the Advancement in Kinanthropometry (ISAK), incluyendo cuatro medidas básicas (masa corporal, talla, talla sentado y envergadura); ocho pliegues cutáneos (tríceps, bíceps, subescapular, cresta ilíaca, supraespinal, abdominal, muslo y pierna); cuatro perímetros (brazo relajado, brazo flexionado y contraído, muslo medio y pierna); cinco diámetros (biacromial, biileocrestal, húmero, fémur y biestiloideo); tres longitudes (acromiale-radiale, radiale-stilyon y stilyon-medio dactilyon); y una altura (ilioespinal). Se evaluó la condición física, incluyendo las pruebas de sit-and-reach, back scratch, salto de longitud, lanzamiento de balón medicinal, salto con contramovimiento (CMJ), sprint de 20 metros y agilidad. Además, se calculó el desfase madurativo y la edad del pico de velocidad de crecimiento (EPVC).

**Resultados.** Se encontraron diferencias significativas en la masa corporal (diferencia media, DM=20,86-30,75), la talla (DM=11,72-19,09), la talla sentado

(DM=4,27-10,27), la envergadura de los brazos (DM=12,91-20,78), el índice de masa corporal (DM=3,72-5,63), la longitud del miembro superior (DM=7. 76), perímetros musculares corregidos (DM=2,06-9,31),  $\Sigma$ 6 y 8 pliegues cutáneos (DM=3,67-50,21), masa y porcentaje de grasa (DM=0,30-11,58), masa muscular (DM=4,13-10,64) y masa ósea (DM=1,61-3,54) ( $p<0,001-0,030$ ), mostrando valores más altos los maduradores tempranos. En las pruebas de condición física, se observaron diferencias significativas en el lanzamiento de balón medicinal (MD=1,26-2,80) y en la potencia del CMJ (MD=156,71-379,85) ( $p<0,001$ ). Los modelos de regresión identificaron que el porcentaje de masa grasa predecía un peor rendimiento en las pruebas físicas ( $p<0,001$ ), mientras que la edad, el desfase madurativo y las variables musculares y óseas eran predictores de un mejor rendimiento físico ( $p<0,001$ ).

Conclusiones. Se encontraron diferencias significativas en función de los estadios de maduración biológica en las variables antropométricas y de condición física a favor de los jugadores cuyo proceso de maduración estaba más avanzado, siendo las variables relacionadas con el desarrollo graso y adiposo, muscular y óseo las que condicionaron su rendimiento en las pruebas de condición física.

### 3.2. – Introducción

La identificación del talento deportivo entre los atletas adolescentes es un tema que en los últimos años ha suscitado un gran interés tanto para la comunidad científica como para los gestores deportivos (Hertzog et al., 2018). Este interés se debe a que la puesta en marcha de programas de detección precoz de talentos puede aportar ventajas a los clubes que los llevan a cabo, tanto en términos económicos como deportivos en cuanto a la incorporación de jóvenes jugadores a equipos de primer nivel o a la seguridad económica a largo plazo (Pion et al., 2015).

Tanto las variables antropométricas, entendidas como la aplicación de medidas al estudio del tamaño, forma, proporción, composición, maduración y función corporal, con el fin de ayudar a comprender el movimiento humano en el contexto del crecimiento, el ejercicio, el rendimiento y la nutrición (Ross et al., 1980), como el análisis del rendimiento físico a través de las pruebas de condición física han sido elementos clave en los programas de identificación de talentos deportivos, ya que investigaciones previas han observado la influencia que tienen en el rendimiento de élite en diferentes disciplinas deportivas (Arede et al., 2019; López-Plaza et al., 2017b). Sin embargo, hay que tener en cuenta que durante la etapa de maduración se producen cambios que pueden afectar tanto a las variables antropométricas como a las de condición física, por lo que en las últimas

décadas los investigadores han prestado mucha atención a la relación entre la maduración biológica y estas variables (Albaladejo-Saura et al., 2021).

La maduración biológica ha sido descrita como el tiempo requerido y el proceso de cambio hasta alcanzar la etapa adulta del desarrollo (Malina & Bouchard, 1991). Entre los métodos de seguimiento de la maduración biológica, el cálculo de la edad del pico de velocidad de crecimiento (EPVC) es uno de los indicadores más utilizados (Malina & Bouchard, 1991; Mirwald et al., 2002), y más concretamente, las fórmulas que permiten el cálculo de la EPVC a partir de las mediciones antropométricas, siendo un método ampliamente utilizado y validado que ha facilitado la evaluación de la maduración biológica de forma rápida y no invasiva (Mirwald et al., 2002).

La mayoría de los estudios que han utilizado el EPVC para monitorizar el estado de madurez de los jóvenes deportistas dividen la muestra en grupos, clasificando como maduradores precoces a aquellos deportistas que tienen un EPVC estimado inferior a la media del grupo; maduradores tardíos a los que tienen un EPVC superior a la media del grupo; y a tiempo a aquellos jugadores cuyo EPVC estimado se aproxima al EPVC medio del grupo, en función de los criterios seleccionados (Albaladejo-Saura et al., 2021).

Estudios previos en varones adolescentes han indicado que la maduración biológica parece tener una relación significativa con las variables antropométricas y de condición física, mostrando los maduradores masculinos tempranos valores más altos en variables antropométricas como la masa corporal, la talla, el índice de masa corporal (IMC) y el porcentaje de masa grasa; y pruebas de condición física como el lanzamiento de balón medicinal, la fuerza de agarre de la mano, el salto en contramovimiento (CMJ) y el squat jump, probablemente como resultado de los cambios hormonales que se producen durante la maduración biológica (Albaladejo-Saura et al., 2021). Debido a las características y reglas de juego del voleibol, tener mayor agilidad en los cambios de dirección, velocidad en las acciones de sprint y mayor potencia de salto, ser más alto, tener mayor envergadura de brazos o longitud de piernas son elementos diferenciadores de los jugadores de alto nivel (Zhao et al., 2019). Todos estos aspectos podrían estar influenciados por la maduración biológica, siendo necesario realizar estudios que abarquen esta modalidad deportiva para conocer la influencia de la maduración biológica en estos aspectos con el fin de orientar adecuadamente los programas de detección de talento deportivo en voleibol (Albaladejo-Saura et al., 2021). Sin embargo, ninguno de estos estudios ha investigado a jugadores de voleibol (Albaladejo-Saura et al., 2021).

Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue analizar las diferencias según la maduración biológica en las características antropométricas y

el rendimiento en las pruebas de condición física, y determinar qué variables antropométricas podrían predecir un mejor rendimiento en las pruebas de condición física en jugadores de voleibol adolescentes.

### 3.3. - Material y métodos.

#### 3.3.1. Sujetos

El cálculo del tamaño de la muestra se realizó con el programa informático Rstudio (versión 3.15.0, Rstudio Inc., Boston, MA, EE.UU.). El nivel de significación se fijó a priori en  $\alpha=0,05$ . La desviación estándar (DE) se fijó de acuerdo con la EPVC de estudios anteriores (DE=0,65)(Arede et al., 2019). Con un error estimado (d) de 0,184 años desde la EPVC, el tamaño de la muestra necesario fue de 48 sujetos. La muestra se alcanzó realizando un muestreo no probabilístico por conveniencia, contactando con la Federación Regional responsable, lo que permitió incluir a los cuatro mejores equipos de la clasificación de la liga. Un total de 48 jugadores de 1ª División Regional (edad:  $14,17\pm 0,73$  años) participaron en el estudio.

Antes de iniciar el estudio, los entrenadores, padres y jugadores fueron informados de los procedimientos de medición y firmaron un consentimiento informado por escrito. Los criterios de inclusión fueron: a) entrenar voleibol con regularidad, al menos dos días por semana; b) participar en competiciones federadas; c) tener entre 12 y 15 años; y d) haber jugado al voleibol al menos dos temporadas consecutivas en el momento de la medición. Los participantes fueron excluidos en caso de: a) sufrir una lesión que les impidiera completar las pruebas de condición física; y b) haber faltado a más del 25% de los entrenamientos en los últimos tres meses (Albaladejo-Saura et al., 2020).

#### 3.3.2. Diseño

Se siguió un diseño transversal, de acuerdo con las directrices del STROBE. La Universidad Católica San Antonio concedió la aprobación ética para llevar a cabo el protocolo diseñado para la recogida de datos de acuerdo con el Código de la Asociación Médica Mundial (número de código: CE061921). Durante todo el proceso se siguieron las recomendaciones de la Declaración de Helsinki. Las mediciones se realizaron en el pabellón deportivo de entrenamiento habitual de los jugadores.

### 3.3.3. Metodología

Se utilizó un cuestionario ad hoc para recoger información sociodemográfica y deportiva. También se incluyeron preguntas sobre la información necesaria para saber si los participantes cumplían los criterios de inclusión.

La evaluación antropométrica se realizó siguiendo las directrices de la International Society for the Advancement in Kinanthropometry (ISAK) (Esparzaros et al., 2019). Se midieron cuatro medidas básicas (masa corporal, talla, talla sentado y envergadura) con una báscula SECA 862 (SECA, Alemania), un estadiómetro SECA (SECA, Alemania) y un medidor de envergadura de brazos (Smartmet, México) con una precisión de 0,1 cm, respectivamente. Se evaluaron ocho pliegues cutáneos (tríceps, bíceps, subescapular, cresta ilíaca, supraespinal, abdominal, muslo y pierna) con un plicómetro (Harpenden, Reino Unido) con una precisión de 0,2 mm. Se midieron cuatro perímetros (brazo relajado, brazo flexionado y contraído, muslo medio y pierna) con una cinta inextensible (Lufkin, EE.UU.) con una precisión de 0,1 cm. Cinco diámetros óseos (biacromial, biileocrestal, húmero, fémur y biestiloideo) se tomaron con un antropómetro (Realmet, España) y un paquímetro (Holtain, Reino Unido) con una precisión de 0,1 cm. Se evaluaron tres longitudes (acromiale-radiale, radiale-styilion y styilion-medio dactilion) y una altura (ilioespinal) con un segmómetro (CESCORF, Brasil) con 0,1 cm de precisión.

Todas las mediciones fueron realizadas por antropometristas de nivel 2 y 3 acreditados por la ISAK. Se calculó el error técnico de medición (ETM) intra e interevaluador en una submuestra (n=20). El ETM intra-evaluador fue del 0,04% en las medidas básicas, longitudes, alturas y perímetros; y del 1,05% en los pliegues cutáneos; y el ETM inter-evaluador fue del 0,06% en las medidas básicas longitudes, alturas y perímetros; y del 2,87% en los pliegues cutáneos.

Se calcularon las siguientes medidas: IMC, masa grasa (Slaughter et al., 1988), masa muscular (Poortmans et al., 2005), masa ósea (Matiegka, 1921), somatotipo (Carter & Heath, 1990),  $\Sigma 6$  pliegues cutáneos (tríceps, subescapular, supraespinal, abdominal, muslo y pierna),  $\Sigma 8$  pliegues cutáneos ( $\Sigma 6$  pliegues cutáneos + bíceps y cresta ilíaca), índice córmico [(talla sentado/ talla) \* 100], longitud del miembro superior [longitud acromiale-radiale + longitud radiale-styilion + longitud styilion-medio dactilion], perímetro corregido del brazo [perímetro relajado del brazo - ( $\pi$ \*pliegue cutáneo del tríceps)], del muslo [perímetro del muslo medio - ( $\pi$ \*pliegue cutáneo del muslo)] y de la pierna [perímetro de la pierna - ( $\pi$ \*pliegue cutáneo de la pierna)] e índice musculoesquelético [masa muscular / masa ósea].

El desfase madurativo se calculó según los procedimientos de Mirwald et al. (2002), utilizando la fórmula específica. Esta fórmula se ha utilizado en población

de atletas adolescentes, mostrando un alto coeficiente de correlación interclase ( $ICC=0,96$ ), así como un bajo coeficiente de porcentaje de varianza ( $CV\%=0,8$ ) y un bajo error típico ( $TE=0,1$ ) (Towlson et al., 2017). El resultado se utilizó para calcular la EPVC de cada sujeto mediante la siguiente fórmula:  $EPVC = \text{edad cronológica} - \text{resultado del desfase madurativo}$ . Los jugadores fueron clasificados en tres grupos, según el estado de madurez basado en la EPVC, el grupo de maduradores tempranos estaba compuesto por jugadores cuya EPVC era de  $-0,5$  años o menos respecto a la media; el grupo de maduradores en tiempo, cuya EPVC era de  $\pm 0,5$  años respecto a la media; y el grupo de maduradores tardíos cuya EPVC era de  $+0,5$  años o más respecto a la media del grupo (Wickel & Eisenmann, 2007).

Las pruebas de condición física fueron seleccionadas según protocolos previamente descritos y realizadas en el siguiente orden: sit-and-reach, con el Acuflex Tester III (Novel Products, U.S.A); test de back scratch, con una regla milimétrica (GIMA, Italia); salto de longitud y lanzamiento de balón medicinal con una cinta métrica (HaeSt, Alemania) de 0,1 cm de precisión; CMJ con una plataforma de fuerza (MuscleLab, Noruega); 20 metros de sprint con MySprint (Apple Inc, USA)(Romero-Franco et al., 2017);, y test de agilidad (9-3-6-3-9) con cinco fotocélulas (Microgate, Italia) (Arede et al., 2019; Castro-Piñeiro et al., 2013; Katić et al., 2006; López-Plaza et al., 2017b; Muyor et al., 2014). Antes del calentamiento, los sujetos realizaron las pruebas de flexibilidad (Díaz-Soler et al., 2015). A continuación, se realizó un calentamiento estandarizado, consistente en 10 minutos de carrera continua, movilidad articular y familiarización con las pruebas de condición física. Dos investigadores con experiencia previa en la valoración de pruebas de condición física se encargaron de la familiarización y valoración de las mismas. El mismo investigador estuvo siempre a cargo de las mismas pruebas para evitar el error entre evaluadores. El coeficiente de correlación intraclase (CCI) fue de 0,995 (intervalo de confianza del 95%: 0,989-0,997), y el coeficiente de variación (CV) fue del 2,3%. Los sujetos realizaron dos intentos en cada prueba, con un descanso de dos minutos entre ellas. La media de los dos ensayos se utilizó como valor final para el análisis posterior.

### 3.3.4. Análisis estadístico

Se evaluó la distribución normal de la muestra con la prueba de Kolmogorov-Smirnov, así como la curtosis, la asimetría y la homogeneidad con la prueba de Levene. Se realizó un análisis descriptivo de la muestra. Se analizaron las diferencias entre los grupos de maduración en las variables antropométricas y en las pruebas de condición física mediante una prueba ANOVA, así como los

efectos principales e interacciones de la covariable edad incluyéndola en una prueba ANCOVA. El tamaño del efecto se calculó con la eta cuadrada parcial ( $\eta^2_p$ ). Se utilizó el post hoc de Bonferroni para analizar las diferencias por pares entre grupos. El nivel de significación se fijó a priori en  $p < 0,05$ . Las correlaciones entre el desfase madurativo, la edad y las variables antropométricas y de condición física se evaluaron mediante la prueba de correlación de Pearson en la muestra completa y en la muestra dividida por grupos de edad. Posteriormente, se realizó una regresión lineal múltiple por pasos con las variables que habían mostrado correlaciones significativas, para averiguar qué variables podían predecir el rendimiento en las pruebas físicas. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el software SPSS (ver 23, IBM, Endicott, NY, US).

#### 3.4. – Resultados

Una vez calculado el EPVC, la muestra se dividió en maduradores tempranos ( $n=8$ ), en tiempo ( $n=33$ ) y tardíos ( $n=7$ ). Los estadísticos descriptivos (media $\pm$ DE) de cada grupo para todas las variables medidas, así como las diferencias entre grupos de madurez, los efectos principales de la covariable edad y la interacción grupo de madurez\*edad pueden observarse en la Tabla 1.

En cuanto a las variables antropométricas, se observaron diferencias significativas en las medidas básicas y el IMC ( $F=6,003-20,828$ ;  $p < 0,001-0,005$ ); en la longitud del miembro superior ( $F=9,959$ ;  $p < 0,001$ ); en todos los diámetros óseos ( $F=6,354-18,308$ ;  $p < 0,001-0,004$ ); en todos los perímetros musculares corregidos ( $F=11,318-12,759$ ;  $p < 0,001$ ); en los pliegues cutáneos  $\Sigma 6$  y  $\Sigma 8$  y en la masa grasa en kg y en porcentaje ( $F=8,876-4,368$ ;  $p < 0,001-0,030$ ); y en las masas muscular y ósea en kg ( $F=18,972-19,015$ ;  $p < 0,001$ ). La inclusión de la covariable "edad" mostró efecto significativo en el modelo en las mismas variables ( $F=4,469-88,401$ ;  $p < 0,001-0,040$ ), excepto en los  $\Sigma 6$  y  $\Sigma 8$  pliegues cutáneos, en el porcentaje de grasa y en la masa ósea (Kg). La interacción entre variables mostró que las diferencias entre los grupos de madurez estaban influidas por la edad en las variables relacionadas con el hueso ( $F=24,211-91,052$ ;  $p < 0,001$ ), en las variables relacionadas con el músculo ( $F=5,248-22,974$ ;  $p < 0,001-0,027$ ) y en los porcentajes de composición corporal ( $F=4,566-36,879$ ;  $p < 0,001-0,038$ ).

Tabla 1. Datos descriptivos y diferencias según el grupo de maduración, incluyendo los efectos principales de la covariable edad y la intersección.

Variable	Grupo (Media±DE)			Modelo								
	Temprano (n=8)	En tiempo (n=33)	Tardío (n=7)	Grupo de maduración			Edad			Grupo de maduración*Edad		
				F	p	$\eta^2_p$	F	p	$\eta^2_p$	F	p	$\eta^2_p$
Desfase madurativo (años)	1,62±0,87	0,46±1,02	0,07±0,74	5,800	0,006	0,205	423,959	<0,001	0,906	376,339	<0,001	0,895
EPVC (años)	12,80±0,18	13,56±0,25	14,50±0,58	57,199	<0,001	0,718	3,049	0,088	0,065	376,339	<0,001	0,895
Masa corporal (Kg)	81,38±13,84	60,51±8,90	50,62±8,25	20,828	<0,001	0,481	15,118	<0,001	0,256	0,129	0,721	0,003
Talla (cm)	1,81±0,03	1,70±8,24	1,62±0,07	12,707	<0,001	0,361	26,289	<0,001	0,374	66,324	<0,001	0,601
Envergadura (cm)	185,19±3,26	172,28±8,90	164,41±9,67	12,202	<0,001	0,352	13,861	0,001	0,240	52,620	<0,001	0,545
Talla sentado (cm)	93,21±2,61	87,21±4,13	82,94±3,18	14,087	<0,001	0,385	88,401	<0,001	0,668	82,143	<0,001	0,651
L. miembro superior (cm)	82,36±2,06	76,87±3,73	74,40±4,72	9,959	<0,001	0,307	11,787	0,001	0,211	57,392	<0,001	0,566
Altura ilioespinal (cm)	102,88±4,71	94,79±12,85	86,87±18,83	2,853	0,068	0,113	7,867	0,007	0,152	0,752	0,390	0,017
D. biacromial (cm)	40,75±2,39	36,75±2,06	35,24±2,19	14,734	<0,001	0,396	30,922	<0,001	0,413	25,599	<0,001	0,368
D. biileocrestal(cm)	29,10±1,65	25,69±1,59	24,57±1,57	18,308	<0,001	0,449	16,000	<0,001	0,267	24,211	<0,001	0,355
D. Fémur (cm)	10,54±0,41	9,84±0,43	9,27±0,42	16,725	<0,001	0,426	1,661	0,204	0,036	91,052	<0,001	0,674
D. Húmero (cm)	7,26±0,44	6,83±0,33	6,55±0,34	7,816	0,001	0,258	10,258	0,003	0,189	45,502	<0,001	0,508
D. biestiloideo (cm)	5,51±0,39	5,35±0,28	4,96±0,35	6,354	0,004	0,220	4,469	0,040	0,092	37,628	<0,001	0,461
Pr. corregido brazo (cm)	26,38±2,72	22,72±2,35	20,44±1,65	12,759	<0,001	0,362	6,970	0,011	0,137	5,248	0,027	0,107
Pr. corregido muslo (cm)	49,07±5,08	44,35±3,49	39,76±2,76	11,843	<0,001	0,345	11,403	0,002	0,206	8,044	0,007	0,155
Pr. corregido pierna (cm)	34,22±1,32	31,63±2,08	29,57±1,57	11,318	<0,001	0,335	20,558	<0,001	0,318	22,974	<0,001	0,343
Endomorfia	3,74±2,01	2,57±1,57	2,39±1,31	1,872	0,166	0,077	0,333	0,567	0,008	1,976	0,167	0,043
Mesomorfia	5,13±1,30	4,52±1,32	4,16±0,97	1,153	0,325	0,049	0,068	0,795	0,002	3,688	0,061	0,077
Ectomorfia	2,42±1,63	3,66±2,84	3,68±1,15	0,825	0,445	0,035	0,135	0,715	0,003	0,054	0,817	0,001
∑6 pliegues cutáneos (mm)	97,24±46,18	61,17±29,14	57,51±27,59	4,368	0,018	0,163	0,456	0,503	0,010	2,920	0,095	0,062
∑8 pliegues cutáneos (mm)	122,38±58,60	77,88±38,45	72,16±36,01	3,976	0,026	0,150	0,381	0,540	0,009	2,619	0,113	0,056
Porcentaje de masa grasa (%)	23,12±9,84	15,60±6,12	15,29±8,01	3,802	0,030	0,145	0,916	0,344	0,020	4,566	0,038	0,094
Porcentaje de masa muscular (%)	36,95±2,17	38,92±2,65	38,46±2,30	1,952	0,154	0,080	0,835	0,366	0,019	36,879	<0,001	0,456
Porcentaje de masa ósea (%)	16,18±2,78	18,32±2,29	18,66±2,39	2,884	0,066	0,114	1,385	0,246	0,031	21,603	<0,001	0,329
Masa grasa (Kg)	19,76±11,41	9,73±4,75	8,18±5,70	8,876	0,001	0,283	0,053	0,819	0,001	0,462	0,500	0,010



Masa muscular (Kg)	29,98±4,73	23,47±3,27	19,34±2,29	18,972	<0,001	0,457	27,716	<0,001	0,386	1,179	0,284	0,026
Masa ósea (Kg)	12,88±0,97	10,94±1,15	9,33±1,11	19,015	<0,001	0,458	20,017	<0,001	0,313	1,070	0,307	0,024
IMC (Kg/m <sup>2</sup> )	24,73±4,50	21,01±3,14	19,10±2,25	6,003	0,005	0,211	1,049	0,311	0,023	4,155	0,048	0,086
Índice musculo-esquelético	2,33±0,37	2,15±0,24	2,08±0,20	2,174	0,126	0,088	2,967	0,092	0,063	5,297	0,026	0,107
Sit & Reach test (cm)	3,01±10,91	0,47±8,50	0,75±6,70	0,276	0,760	0,012	2,248	0,141	0,049	2,008	0,164	0,044
Back scratch test (cm)	4,76±7,74	0,88±7,47	1,38±5,61	0,914	0,408	0,039	0,165	0,687	0,004	0,306	0,583	0,007
Salto de longitud (m)	1,94±0,25	2,05±0,29	1,86±0,30	1,604	0,212	0,067	18,916	<0,001	0,301	0,378	0,542	0,009
Lanzamiento de balón medicinal (m)	7,58±1,18	6,04±1,25	4,78±0,94	10,191	<0,001	0,312	43,538	<0,001	0,497	10,719	0,002	0,196
CMJ (cm)	0,29±0,05	0,30±0,06	0,26±0,06	1,109	0,339	0,047	10,952	0,002	0,199	0,818	0,371	0,018
Potencia CMJ (W)	942,14±138,85	719,00±129,84	561,29±106,58	16,978	<0,001	0,430	42,958	<0,001	0,494	7,783	0,008	0,150
20 m sprint (s)	3,95±0,27	3,78±0,26	3,88±0,30	1,372	0,264	0,057	8,408	0,006	0,160	103,792	<0,001	0,702
Test de agilidad (s)	8,95±0,56	8,97±0,66	9,32±1,09	0,704	0,500	0,030	9,460	0,004	0,177	88,933	<0,001	0,669

L.: longitud; D.: diámetro; Pr: perímetro

Las comparaciones por pares tras el ajuste de Bonferroni respecto a las variables antropométricas se pueden ver en las Tablas 2 y 3. El grupo de maduradores tempranos obtuvo valores más altos en las variables antropométricas que los maduradores en tiempo y tardíos (Tablas 2 y 3), mostrando diferencias significativas en todas las variables antropométricas ( $p < 0,001-0,030$ ), excepto en los  $\Sigma 6$  y  $\Sigma 8$  pliegues cutáneos y en el porcentaje de masa grasa, donde sólo se encontraron diferencias entre los maduradores tempranos y en tiempo ( $p = 0,020-0,030$ ). La interacción grupo de madurez\*edad mostró que la edad tenía una influencia significativa en las diferencias por pares en todas las variables antropométricas ( $p < 0,001-0,037$ ).

En las pruebas de condición física (Tabla 1), el ANOVA identificó diferencias significativas entre grupos en el lanzamiento de balón medicinal ( $F = 10,191$ ;  $p < 0,001$ ) y en la potencia CMJ ( $F = 16,978$ ;  $p < 0,001$ ). La inclusión en el ANCOVA de la covariable edad mostró, además de las pruebas anteriores, efecto en el salto de longitud, CMJ, sprint y agilidad ( $F = 8,408-43,538$ ;  $p < 0,001-0,006$ ), mientras que la interacción madurez grupo\*edad mostró influencia significativa de la edad en las diferencias encontradas entre grupos en el lanzamiento de balón medicinal, potencia CMJ, sprint y agilidad ( $F = 10,719-103,792$ ;  $p < 0,001-0,008$ ).

Las diferencias significativas encontradas tras el ajuste de Bonferroni en las pruebas físicas se muestran en la Tabla 4. En la prueba de lanzamiento de balón medicinal y en la prueba de potencia CMJ, el grupo de maduración temprana obtuvo mejores resultados que los grupos de maduración media y tardía ( $p < 0,001-0,007$ ); mientras que el grupo de maduración media obtuvo mejores resultados que el grupo de maduración tardía ( $p = 0,016-0,047$ ). Las mismas diferencias entre grupos se encontraron en estas pruebas cuando se incluyó la edad como covariable en el modelo ( $p < 0,001-0,004$ ).

Tabla 2. Comparación post hoc entre grupos con diferencias significativas en el análisis ANCOVA para las variables de estado madurativo y las variables cineantropométricas relacionadas con la estructura ósea.

Test	Grupo de maduración		Modelo					
			Grupo de maduración			Grupo de maduración*edad		
			Diferencia de medias±DE	<i>p</i>	95% CI	Diferencia de medias±DE	<i>p</i>	95% CI
Desfase madurativo (años)	TE	E	1,16±0,38	0,012	0,21 a 2,11	0,80±0,12	<0,001	0,50 a 1,09
	TE	TA	1,55±0,50	0,010	0,30 a 2,80	1,69±0,16	<0,001	1,30 a 2,08
	E	TA	0,39±0,40	1,000	-0,61 a 1,39	0,89±0,13	<0,001	0,58 a 1,21
EPVC (años)	TE	E	-0,76±0,12	<0,001	-1,07 a -0,46	-0,80±0,12	<0,001	-1,09 a -0,50
	TE	TA	-1,70±0,16	<0,001	-2,09 a -1,30	-1,69±0,16	<0,001	-2,07 a -1,30
	E	TA	-0,93±0,13	<0,001	-1,25 a -0,62	-0,89±0,13	<0,001	-1,21 a -0,58
Masa corporal (Kg)	TE	E	20,86±3,84	<0,001	11,29 a 30,42	18,92±3,39	<0,001	10,40 a 27,36
	TE	TA	30,75±5,05	<0,001	18,19 a 43,31	31,50±4,41	<0,001	20,52 a 42,48
	E	TA	9,89±4,06	0,057	-0,21 a 19,99	12,58±3,61	0,003	3,59 a 21,56
Talla (cm)	TE	E	11,72±2,97	0,001	4,34 a 19,11	9,91±2,40	<0,001	3,94 a 15,89
	TE	TA	19,09±3,90	<0,001	9,39 a 28,79	19,79±3,12	<0,001	12,02 a 27,57
	E	TA	7,36±3,13	0,070	-0,43 a 15,16	9,87±2,55	0,001	3,51 a 16,24
Envergadura (cm)	TE	E	12,91±3,31	0,001	4,69 a 21,14	11,30±2,95	0,001	3,96 a 18,64
	TE	TA	20,78±4,34	<0,001	9,98 a 31,58	21,40±3,83	<0,001	11,86 a 30,95
	E	TA	7,86±3,49	0,088	-0,82 a 16,54	10,10±3,14	0,007	2,29 a 17,91
Talla sentado (cm)	TE	E	6,00±1,50	0,001	2,26 a 9,73	4,77±0,88	<0,001	2,57 a 6,98
	TE	TA	10,27±1,97	<0,001	5,37 a 15,81	10,75±1,15	<0,001	7,89 a 13,62
	E	TA	4,27±1,58	0,029	0,33 a 8,22	5,97±0,94	<0,001	3,63 a 8,32
L. miembro superior (cm)	TE	E	5,50±1,45	0,001	1,89 a 9,10	4,83±1,31	0,002	1,56 a 8,11
	TE	TA	7,96±1,90	<0,001	3,22 a 12,70	8,22±1,71	<0,001	3,96 a 12,48
	E	TA	2,46±1,53	0,344	-1,34 a 6,27	3,38±1,40	0,060	-0,10 a 6,87
Altura ilioespinal (cm)	TE	E	8,08±5,11	0,362	-4,62 a 20,79	6,10±4,81	0,635	-5,88 a 18,08
	TE	TA	16,00±6,71	0,064	-0,69 a 32,69	16,77±6,26	0,031	1,20 a 32,35
	E	TA	7,91±5,39	0,448	-5,50 a 21,34	10,67±5,12	0,129	-2,08 a 23,42
D. biacromial (cm)	TE	E	3,99±0,84	<0,001	1,90 a 6,08	3,45±0,66	<0,001	1,82 a 5,10
	TE	TA	5,51±1,10	<0,001	2,76 a 8,25	5,71±0,86	<0,001	3,58 a 7,85

	E	TA	1,51±0,89	0,285	-0,69 a 3,72	2,26±0,70	0,007	0,52 a 4,01
	TE	E	3,40±0,63	<0,001	1,83 a 4,97	3,08±0,55	<0,001	1,70 a 4,45
D. biileocrestal (cm)	TE	TA	4,53±0,83	<0,001	2,47 a 6,58	4,65±0,72	<0,001	2,87 a 6,44
	E	TA	1,12±0,67	0,293	-0,53 a 2,78	1,58±0,59	0,031	0,11 a 3,04
	TE	E	0,70±0,17	<0,001	0,28 a 1,12	0,67±0,17	0,001	0,24 a 1,09
D. fémur (cm)	TE	TA	1,27±0,22	<0,001	0,72 a 1,82	1,28±0,22	<0,001	0,73 a 1,83
	E	TA	0,57±0,18	0,007	0,13 a 1,01	0,62±0,18	0,004	0,17 a 1,07
	TE	E	0,43±0,14	0,010	0,08 a 0,78	0,37±0,13	0,018	0,05 a 0,69
D. húmero (cm)	TE	TA	0,71±0,18	0,001	0,25 a 1,16	0,72±0,17	<0,001	0,31 a 1,15
	E	TA	0,27±0,15	0,212	-0,09 a 0,64	0,36±0,14	0,037	0,02 a 0,70
	TE	E	0,16±0,12	0,608	-0,14 a 0,46	0,12±0,12	0,945	-0,17 a 0,41
D. biestiloideo (cm)	TE	TA	0,55±0,16	0,004	0,15 a 0,95	0,56±0,15	0,002	0,18 a 0,95
	E	TA	0,39±0,13	0,012	0,07 a 0,71	0,44±0,13	0,003	0,13 a 0,76

TE: maduradores tempranos; E: Maduradores en tiempo; TA: Maduradores tardíos; D.: diámetro; L.: longitud.

Tabla 3. Comparación post hoc entre grupos con diferencias significativas en el análisis ANCOVA para las variables cineantropométricas relacionadas con el músculo y la grasa, y las variables de composición corporal.

Test	Comparación de grupos		Modelo					
			Grupo de maduración			Grupo de maduración*edad		
			Diferencia de medias±DE	p	95% CI	Diferencia de medias±DE	p	95% CI
Pr. corregido del brazo (cm)	TE	E	3,65±0,92	0,001	1,36 a 5,94	3,31±0,87	0,001	1,14 a 5,49
	TE	TA	5,93±1,21	<0,001	2,92 a 8,94	6,10±1,14	<0,001	3,23 a 8,90
	E	TA	2,28±0,97	0,071	-0,14 a 4,70	2,75±0,93	0,015	0,43 a 5,07
Pr. corregido del muslo (cm)	TE	E	4,72±1,46	0,007	1,09 a 8,35	4,06±1,33	0,011	0,75 a 7,37
	TE	TA	9,31±1,91	<0,001	4,54 a 14,08	9,57±1,73	<0,001	5,26 a 13,87
	E	TA	4,59±1,54	0,014	0,75 a 8,42	5,51±1,73	0,001	1,98 a 9,03
Pr. corregido de la pierna (cm)	TE	E	2,59±0,75	0,004	0,71 a 4,45	2,16±0,63	0,004	0,58 a 3,74
	TE	TA	4,65±0,99	<0,001	2,19 a 7,10	4,81±0,82	<0,001	2,76 a 6,87
	E	TA	2,06±0,79	0,038	0,09 a 4,03	2,65±0,68	0,001	0,97 a 4,33
∑6 pliegues cutáneos (mm)	TE	E	36,07±12,69	0,020	4,50 a 67,62	37,34±12,91	0,018	5,21 a 69,47
	TE	TA	39,73±16,67	0,064	-1,71 a 81,18	39,23±16,78	0,072	-2,54 a 81,08
	E	TA	3,67±13,40	1,000	-29,65 a 36,99	1,89±13,74	1,000	-32,30 a 36,08
∑8 pliegues cutáneos (mm)	TE	E	44,48±16,52	0,030	3,39 a 85,58	46,01±16,82	0,027	4,14 a 87,88
	TE	TA	50,21±21,70	0,076	-3,75 a 104,18	49,62±21,87	0,085	-4,82 a 104,07
	E	TA	5,73±17,45	1,000	-37,66 a 49,12	3,61±17,09	1,000	-40,95 a 48,17
Porcentaje de masa grasa (%)	TE	E	7,51±2,79	0,030	0,56 a 14,47	7,91±2,83	0,023	0,87 a 14,96
	TE	TA	7,82±3,67	0,116	-1,31 a 16,95	7,67±3,68	0,129	-1,49 a 16,82
	E	TA	0,30±2,95	1,000	-7,03 a 7,64	-0,25±3,01	1,000	-7,74 a 7,24
Masa grasa (Kg)	TE	E	10,03±2,51	0,001	3,78 a 16,28	9,95±2,57	0,001	3,56 a 16,34
	TE	TA	11,58±3,30	0,003	3,37 a 19,78	11,61±3,34	0,003	3,31 a 19,92
	E	TA	1,55±2,65	1,000	-5,05 a 8,14	1,67±2,73	1,000	-5,13 a 8,47
Masa muscular (Kg)	TE	E	6,51±1,35	<0,001	3,14 a 9,88	5,67±1,08	<0,001	2,97 a 8,37
	TE	TA	10,64±1,78	<0,001	6,22 a 15,07	10,97±1,41	<0,001	7,46 a 14,48
	E	TA	4,13±1,43	0,018	0,58 a 7,69	5,30±1,15	<0,001	2,43 a 8,17
Masa ósea (Kg)	TE	E	1,93±0,44	<0,001	0,84 a 3,03	1,69±0,37	<0,001	0,76 a 2,62
	TE	TA	3,54±0,58	<0,001	2,10 a 4,98	3,64±0,49	<0,001	2,43 a 4,85

	E	TA	1,61±0,46	0,001	0,45 a 2,76	1,95±0,40	<0,001	0,96 a 2,94
	TE	E	3,72±1,30	0,019	0,48 a 6,95	3,52±1,31	0,031	0,25 a 6,79
IMC (Kg/m2)	TE	TA	5,63±1,71	0,006	1,38 a 9,87	5,71±1,71	0,005	1,46 a 9,96
	E	TA	1,91±1,37	0,509	-1,50 a 5,32	2,19±1,40	0,373	-1,29 a 5,67

TE: maduradores tempranos; E: Maduradores en tiempo; TA: Maduradores tardíos; Pr. perímetro.

Tabla 4. Comparación post hoc entre grupos con diferencias significativas en el análisis ANCOVA para las variables de condición física.

Test	Comparación entre grupos		Modelo					
			Grupo de maduración			Grupo de maduración*edad		
			Diferencia de medias±DE	<i>p</i>	95% CI	Diferencia de medias±DE	<i>p</i>	95% CI
Lanzamiena de balón medicinal (m)	TE	E	1,53±0,48	0,007	0,35 a 2,72	1,20±0,34	0,004	0,34 a 2,06
	TE	TA	2,80±0,62	<0,001	1,24 a 4,35	2,93±0,45	<0,001	1,81 a 4,05
	E	TA	1,26±0,50	0,047	0,014 a 2,51	1,73±0,36	<0,001	0,81 a 2,64
Potencia CMJ (W)	TE	E	223,14±50,62	<0,001	97,24 a 349,03	187,67±36,81	<0,001	96,03 a 279, 31
	TE	TA	379,85±66,48	<0,001	214,51 a 545,18	393,63±47,87	<0,001	274,48 a 512,79
	E	TA	156,71±53,45	0,016	23,77 a 289,65	205,96±39,18	<0,001	108,44 a 303,49

TE: maduradores tempranos; E: Maduradores en tiempo; TA: Maduradores tardíos.

Las tablas 5 y 6 muestran las correlaciones entre las variables antropométricas y las de rendimiento físico. Tanto el desfase madurativo como la edad mostraron correlaciones de moderadas a altas con la prueba de condición física ( $r=0,238-0,810$ ;  $p<0,001-0,021$ ). La prueba de salto de longitud y el CMJ mostraron correlaciones positivas moderadas con la talla, la talla sentado, el diámetro biestiloideo, el perímetro corregido de la pierna y el porcentaje de masa muscular ( $r=0,301-0,462$ ;  $p<0,001-0,038$ ); y correlaciones negativas moderadas con la masa y el porcentaje de grasa ( $r=-0,427, -0,511$ ;  $p<0,001-0,002$ ). El lanzamiento de balón medicinal mostró correlaciones positivas de moderadas a altas con todas las variables ( $r=0,330-0,829$ ;  $p<0,001-0,022$ ), excepto con el  $\Sigma 8$  pliegues cutáneos, el porcentaje de masa grasa y el porcentaje de masa muscular. La potencia del CMJ mostró correlaciones positivas de moderadas a altas con todas las variables antropométricas analizadas, excepto con el porcentaje de masa muscular ( $r=0,367-0,921$ ;  $p<0,001-0,010$ ). El tiempo en sprint mostró correlaciones positivas moderadas con las variables relacionadas con la grasa, el IMC y con el índice musculoesquelético ( $r=0,400-0,670$ ;  $p<0,001-0,005$ ), mientras que la correlación con el porcentaje de masa muscular fue moderadamente negativa ( $r=-0,459$ ;  $p=0,001$ ). La prueba de agilidad mostró correlaciones negativas moderadas y bajas con las variables estatura, envergadura del brazo, estatura en sedestación, longitud del miembro superior, altura ilioespinal, amplitud biacromial y perímetro corregida de la pierna ( $r=-0,286, -0,488$ ;  $p<0,001-0,049$ ), mientras que con las variables de masa grasa la correlación fue positiva moderada ( $r=0,333-0,357$ ;  $p=0,013-0,021$ ).

La tabla 7 muestra los modelos de regresión lineal en relación con las pruebas de condición física, así como las ecuaciones predictivas resultantes para cada prueba de condición física. Se encontraron entre uno y tres modelos de predicción para el rendimiento en las diferentes pruebas de condición física, que podían explicar entre el 47 y el 88% del rendimiento en función de las variables antropométricas ( $p<0,001$ ). Las variables antropométricas más determinantes fueron la talla, la talla sentado, la altura ilioespinal, los perímetros corregidos del brazo y la pierna, la masa muscular (kg) y el porcentaje de masa grasa.



Tabla 5. Correlaciones entre las variables antropométricas y de condición física.

	Sit & reach	Back scratch test	Salto de longitud	Lanzamiento de balón medicinal	CMJ	Potencia CMJ	20 m sprint	Test de agilidad
Desfase madurativo	r=0,282; p=0,052	r=0,065; p=0,662	r=0,429; p=0,002	r=0,810; p<0,001	r=0,366; p=0,011	r=0,808; p<0,001	r=-0,238; p=0,104	r=-0,402; p=0,005
Edad	r=0,228; p=0,119	r=-0,032; p=0,829	r=0,460; p=0,001	r=0,563; p<0,001	r=0,380; p=0,008	r=0,518; p<0,001	r=-0,333; p=0,021	r=-0,376; p=0,008
Masa corporal	r=0,160; p=0,278	r=0,147; p=0,318	r=0,017; p=0,906	r=0,660; p<0,001	r=-0,018; p=0,904	r=0,888; p<0,001	r=0,259; p=0,075	r=-0,062; p=0,678
Talla	r=0,144; p=0,329	r=0,174; p=0,237	r=0,330; p=0,022	r=0,690; p<0,001	r=0,376; p=0,008	r=0,723; p<0,001	r=-0,142; p=0,336	r=-0,337; p=0,019
Envergadura	r=0,240; p=0,101	r=0,274; p=0,060	r=0,234; p=0,110	r=0,635; p<0,001	r=0,267; p=0,066	r=0,706; p<0,001	r=-0,033; p=0,823	r=-0,317; p=0,028
Talla sentado	r=0,279; p=0,054	r=0,103; p=0,485	r=0,407; p=0,004	r=0,829; p<0,001	r=0,365; p=0,011	r=0,795; p<0,001	r=-0,233; p=0,111	r=-0,420; p=0,003
L. miembro superior	r=0,191; p=0,194	r=0,267; p=0,066	r=0,248; p=0,090	r=0,596; p<0,001	r=0,263; p=0,071	r=0,695; p<0,001	r=-0,045; p=0,762	r=-0,300; p=0,038
Altura ilioespinal	r=0,172; p=0,241	r=0,155; p=0,292	r=0,224; p=0,125	r=0,414; p=0,003	r=0,180; p=0,220	r=0,393; p=0,006	r=0,043; p=0,772	r=-0,488; p<0,001
D. biacromial	r=0,225; p=0,124	r=0,212; p=0,148	r=0,258; p=0,077	r=0,736; p<0,001	r=0,234; p=0,109	r=0,806; p<0,001	r=-0,037; p=0,803	r=-0,286; p=0,049
D. biileocrestal	r=0,193; p=0,189	r=0,189; p=0,198	r=0,084; p=0,570	r=0,629; p<0,001	r=0,050; p=0,734	r=0,795; p<0,001	r=0,197; p=0,179	r=-0,106; p=0,473
D. fémur	r=0,122; p=0,409	r=-0,008; p=0,956	r=0,029; p=0,843	r=0,503; p<0,001	r=0,027; p=0,854	r=0,677; p<0,001	r=0,062; p=0,674	r=0,036; p=0,808
D. húmero	r=0,151; p=0,306	r=0,175; p=0,235	r=0,235; p=0,108	r=0,504; p<0,001	r=0,043; p=0,774	r=0,595; p<0,001	r=-0,064; p=0,665	r=-0,192; p=0,190
D. biestiloideo	r=0,063; p=0,671	r=-0,114; p=0,439	r=0,420; p=0,003	r=0,407; p=0,004	r=0,301; p=0,038	r=0,507; p<0,001	r=-0,302; p=0,037	r=-0,264; p=0,070
Pr. corregido del brazo	r=0,254; p=0,082	r=0,034; p=0,816	r=0,129; p=0,383	r=0,656; p<0,001	r=0,067; p=0,651	r=0,792; p<0,001	r=0,120; p=0,415	r=-0,104; p=0,480
Pr. corregido del muslo	r=0,115; p=0,438	r=0,077; p=0,605	r=0,109; p=0,461	r=0,623; p<0,001	r=0,061; p=0,681	r=0,849; p<0,001	r=0,192; p=0,191	r=-0,040; p=0,785
Pr. corregido de la pierna	r=0,305; p=0,035	r=0,005; p=0,973	r=0,356; p=0,013	r=0,687; p<0,001	r=0,370; p=0,010	r=0,820; p<0,001	r=-0,058; p=0,696	r=-0,296; p=0,041
IMC	r=0,130; p=0,380	r=0,084; p=0,571	r=-0,164; p=0,267	r=0,384; p=0,007	r=-0,245; p=0,093	r=0,648; p<0,001	r=0,400; p=0,005	r=0,113; p=0,445
Σ8 pliegues cutáneos	r=0,067; p=0,653	r=0,081; p=0,584	r=-0,427; p=0,002	r=0,170; p=0,249	r=-0,489; p<0,001	r=0,417; p=0,003	r=0,611; p<0,001	r=0,333; p=0,021
Masa grasa (%)	r=0,071; p=0,630	r=0,131; p=0,377	r=-0,474; p=0,001	r=0,137; p=0,354	r=-0,511; p<0,001	r=0,367; p=0,010	r=0,670; p<0,001	r=0,357; p=0,013
Masa muscular (%)	r=-0,005; p=0,971	r=-0,276; p=0,057	r=0,424; p=0,003	r=0,025; p=0,864	r=0,462; p=0,001	r=-0,174; p=0,237	r=-0,459; p=0,001	r=-0,171; p=0,245
Masa grasa (Kg)	r=0,093; p=0,528	r=0,104; p=0,480	r=-0,354; p=0,014	r=0,330; p=0,022	r=-0,379; p=0,008	r=0,564; p<0,001	r=0,590; p<0,001	r=0,240; p=0,100
Masa muscular (Kg)	r=0,179; p=0,223	r=0,076; p=0,606	r=0,188; p=0,202	r=0,747; p<0,001	r=0,160; p=0,279	r=0,921; p<0,001	r=0,110; p=0,458	r=-0,145; p=0,325
Índice musculoesquelético	r=0,152; p=0,303	r=0,073; p=0,621	r=-0,058; p=0,694	r=0,405; p=0,004	r=-0,089; p=0,547	r=0,555; p<0,001	r=0,322; p=0,026	r=0,048; p=0,744

L.: longitud; D.: diámetro; Pr: perímetro

Tabla 6. Correlaciones entre las variables cineantropométricas relacionadas con el músculo y la grasa y las variables de condición física.

	Sit & reach	Back scratch test	Salto de longitud	Lanzamiento de balón medicinal	CMJ	Potencia CMJ
Pr. corregido del brazo	r=0,129; p=0,383	r=0,656; p<0,001	r=0,067; p=0,651	r=0,792; p<0,001	r=0,120; p=0,415	r=-0,104; p=0,480
Pr. corregido del muslo	r=0,109; p=0,461	r=0,623; p<0,001	r=0,061; p=0,681	r=0,849; p<0,001	r=0,192; p=0,191	r=-0,040; p=0,785
Pr. corregido de la pierna	r=0,356; p=0,013	r=0,687; p<0,001	r=0,370; p=0,010	r=0,820; p<0,001	r=-0,058; p=0,696	r=-0,296; p=0,041
IMC	r=-0,164; p=0,267	r=0,384; p=0,007	r=-0,245; p=0,093	r=0,648; p<0,001	r=0,400; p=0,005	r=0,113; p=0,445
∑8 Pliegues cutáneos	r=-0,427; p=0,002	r=0,170; p=0,249	r=-0,489; p<0,001	r=0,417; p=0,003	r=0,611; p<0,001	r=0,333; p=0,021
Masa grasa (%)	r=-0,474; p=0,001	r=0,137; p=0,354	r=-0,511; p<0,001	r=0,367; p=0,010	r=0,670; p<0,001	r=0,357; p=0,013
Masa muscular (%)	r=0,424; p=0,003	r=0,025; p=0,864	r=0,462; p=0,001	r=-0,174; p=0,237	r=-0,459; p=0,001	r=-0,171; p=0,245
Masa grasa (Kg)	r=-0,354; p=0,014	r=0,330; p=0,022	r=-0,379; p=0,008	r=0,564; p<0,001	r=0,590; p<0,001	r=0,240; p=0,100
Masa muscular (Kg)	r=0,188; p=0,202	r=0,747; p<0,001	r=0,160; p=0,279	r=0,921; p<0,001	r=0,110; p=0,458	r=-0,145; p=0,325
Índice Musculo-esquelético	r=-0,058; p=0,694	r=0,405; p=0,004	r=-0,089; p=0,547	r=0,555; p<0,001	r=0,322; p=0,026	r=0,048; p=0,744

Pr: perímetro

Tabla 7. Modelos de regresión del rendimiento en las diferentes pruebas de condición física.

Variable	Análisis	R <sup>2</sup>	p	Variables independientes incluidas	CE	Ecuación
Salto de longitud	Modelo 1	0,47	0,001	Masa grasa (%)	-0,47	Salto de longitud = 2,322 - 0,019*Masa grasa (%)
	Modelo 2	0,68	<0,001	Masa grasa (%) Desfase madurativo	-0,53 0,49	Salto de longitud = 2,277 - 0,021*Masa grasa (%) + 0,135*desfase madurativo (años)
Lanzamiento de balón medicinal	Modelo 1	0,69	<0,001	Talla sentado	0,83	Lanzamiento de balón medicinal = -15,667 + 0,249*talla sentado
	Modelo 2	0,74	<0,001	Talla sentado Pr. corregido brazo	0,67 0,27	Lanzamiento de balón medicinal = -14,710 + 0,202*talla sentado + 0,136*Pr. corregido brazo
CMJ	Modelo 1	0,26	<0,001	Masa grasa (%)	-0,51	CMJ = 36,625 - 0,421*Masa grasa (%)
	Modelo 2	0,53	<0,001	Masa grasa (%) Pr. corregido pierna	-0,65 0,54	CMJ = -7,860 - 0,538*Masa grasa (%) + 1,462*Pr. corregido pierna
Potencia CMJ	Modelo 1	0,85	<0,001	Masa muscular	0,92	Potencia CMJ = -71,982 + 33,613*masa muscular (kg)
	Modelo 2	0,88	<0,001	Masa muscular Talla	0,77 0,24	Potencia CMJ = -689,738 + 28,077*masa muscular (kg) + 4,396*talla (cm)
20 m sprint	Modelo 1	0,45	<0,001	Masa grasa (%)	0,67	Sprint = 3,425 + 0,024*Masa grasa (%)
	Modelo 2	0,53	<0,001	Masa grasa (%) Edad	0,65 -0,28	Sprint = 4,488 + 0,023*Masa grasa (%) - 0,074*edad (años)
Test de agilidad	Modelo 1	0,45	<0,001	Masa grasa (%)	0,67	Agilidad = 3,425 + 0,024*Masa grasa (%)
	Modelo 2	0,55	<0,001	Masa grasa (%) Desfase madurativo	0,70 -0,32	Agilidad = 3,452 + 0,025*Masa grasa (%) - 0,080*desfase madurativo (años)
	Modelo 3	0,60	<0,001	Masa grasa (%) Desfase madurativo Altura ilioespinal	0,72 -0,46 0,27	Agilidad = 2,951 + 0,026*Masa grasa (%) - 0,115*desfase madurativo (años) + 0,005*altura ilioespinal (cm)

CE Coeficiente estandarizado; Pr.: perímetro.

Las tablas 8 a 11 muestran las correlaciones entre las variables antropométricas y las de rendimiento físico dividiendo la muestra en grupos de edad. Se observó que en el grupo de 12 años (Tabla 8), las variables antropométricas se relacionaron con el rendimiento deportivo sólo en la potencia CMJ, mostrando correlaciones positivas altas con la masa corporal y el IMC, los perímetros corregidos, el  $\sum 8$  pliegues cutáneos, las masas grasa y muscular (kg) y el índice musculo-esquelético ( $r=0,786-0,934$ ;  $p=0,002-0,036$ ).

En el grupo de 13 años (Tabla 9), la prueba de salto de longitud mostró correlaciones moderadas positivas con la talla sentado y el diámetro biestiloideo ( $r=0,534-0,686$ ;  $p=0,005-0,040$ ), y correlaciones moderadas negativas con el  $\sum 8$  pliegues cutáneos y el porcentaje de masa grasa ( $r=-0,427, -0,522$ ;  $p=0,002-0,046$ ); la prueba de lanzamiento de balón medicinal mostró una correlación positiva entre moderada y alta con las variables óseas y musculares ( $r=0,566-0,702$ ;  $p=0,004-0,028$ ); el CMJ mostró correlaciones negativas moderadas con las variables relacionadas con la grasa y el índice musculo-esquelético ( $r=-0,544, -0,594$ ;  $p=0,020-0,036$ ); la potencia del CMJ mostró correlaciones positivas de moderadas a altas con todas las variables analizadas ( $r=0,521-0,855$ ;  $p<0,001-0,046$ ), excepto con el  $\sum 8$  pliegues cutáneos, el porcentaje de masa grasa y el índice musculo-esquelético; la prueba de sprint mostró correlaciones moderadas negativas con las variables relacionadas con el músculo y la grasa ( $r=-0,527, -0,625$ ;  $p=0,009-0,043$ ); la prueba de agilidad mostró correlaciones moderadas negativas con las variables óseas ( $r=-0,300, -0,555$ ;  $p=0,032-0,038$ ).

En el grupo de 14 años (Tabla 10), la prueba de lanzamiento de balón medicinal mostró una correlación positiva moderada con la talla sentado ( $r=0,699$ ;  $p=0,017$ ); la prueba CMJ mostró una correlación moderada negativa con el  $\sum 8$  pliegues cutáneos ( $r=-0,644$ ;  $p=0,024$ ); la potencia CMJ mostró una correlación positiva moderada a alta con todas las variables incluidas ( $r=0,603-0,901$ ;  $p<0,001-0,038$ ); las pruebas de sprint y agilidad mostraron una correlación positiva de moderada a alta con las variables relacionadas con el músculo, el hueso y la grasa ( $r=0,625-0,883$ ;  $p<0,001-0,030$ ), excepto la correlación de la masa muscular con la agilidad, que fue negativa y alta ( $r=-0,768$ ;  $p=0,004$ ).

En el caso del grupo de 15 años (Tabla 11), la prueba de salto de longitud mostró correlaciones moderadas negativas con el  $\sum 8$  pliegues cutáneos, el porcentaje de masa grasa y la masa muscular (kg) ( $r=-0,549, -0,631$ ;  $p=0,016-0,042$ ); tanto el lanzamiento de balón medicinal como la potencia CMJ mostraron correlaciones positivas de moderadas a altas con todas las variables antropométricas ( $r=0,545-0,920$ ,  $p<0,001-0,044$ ), excepto con el  $\sum 8$  pliegues cutáneos y los porcentajes de masa grasa y muscular; la prueba CMJ mostró correlaciones moderadas negativas con el  $\sum 8$  pliegues cutáneos y el porcentaje de

masa grasa (-0,554, -0,615;  $p=0,019-0,040$ ), mientras que se observó una correlación positiva moderada con el porcentaje de masa muscular ( $r=0,535$ ;  $p=0,048$ ); la prueba de sprint mostró correlaciones positivas moderadas con las variables relacionadas con la grasa ( $r=0,647-0,695$ ;  $p=0,006-0,012$ ).

La maduración biológica mostró correlaciones positivas moderadas a altas con la prueba de condición física en todos los grupos de edad ( $r=0,604-0,915$ ;  $p<0,001-0,017$ ), excepto en el CMJ en el grupo de 12 años, donde la correlación fue negativa y alta ( $r=-0,760$ ;  $p=0,047$ ).

Las tablas 12 a 15 muestran los modelos de regresión lineal en relación con las pruebas de condición física, así como las ecuaciones predictivas resultantes para cada prueba de condición física para cada grupo de edad. Se encontraron entre uno y tres modelos de predicción para el rendimiento en las diferentes pruebas de condición física en los cuatro grupos de edad, que podían explicar entre el 31 y el 95% de los casos en función de las variables antropométricas ( $p<0,001-0,032$ ). En el grupo de 12 años, las variables más determinantes en relación con el rendimiento fueron el desfase madurativo y el IMC (Tabla 12); en el grupo de 13 años, la talla sentado, los perímetros corregidos, el desfase madurativo, el diámetro biestiloideo, la masa corporal, el porcentaje de masa muscular, el índice musculo-esquelético, y el  $\sum 8$  pliegues cutáneos fueron las variables antropométricas más determinantes (Tabla 13); en el grupo de 14 años, la talla sentado, el  $\sum 8$  pliegues cutáneos, la masa corporal, el porcentaje de masa grasa y el perímetro del brazo corregido fueron las variables antropométricas más determinantes (Tabla 14); y en el grupo de 15 años, el porcentaje de masa grasa, el perímetro del brazo corregido, la talla sentado, los diámetros óseos, el porcentaje de masa muscular y el  $\sum 8$  pliegues cutáneos fueron las variables antropométricas más determinantes (Tabla 15).

Tabla 8. Correlaciones entre las variables antropométricas y de condición física en el grupo de 12 años.

12 años (n=7)	CMJ	Potencia CMJ
Desfase madurativo	r=-0,760; p=0,047	-
Masa corporal	-	r=0,877; p=0,010
Pr. corregido del brazo	-	r=0,898; p=0,006
Pr. corregido del muslo	-	r=0,868; p=0,011
Pr. corregido de la pierna	-	r=0,787; p=0,036
IMC	-	r=0,934; p=0,002
∑8 pliegues cutáneos	-	r=0,815; p=0,026
Masa grasa (Kg)	-	r=0,801; p=0,030
Masa muscular (Kg)	-	r=0,909; p=0,005
Índice musculo-esquelético	-	r=0,786; p=0,036
Pr. perímetro		

Tabla 9. Correlaciones entre las variables antropométricas y de condición física en el grupo de 13 años.

13 años (n=15)	Salto de longitud	Lanzamiento de balón medicinal	CMJ	Potencia CMJ	20 m sprint	Test de agilidad
Desfase madurativo	r=0,604; p=0,017	r=0,792; p<0,001	-	r=0,656; p=0,008	-	-
Masa corporal	-	r=0,617; p=0,014	-	r=0,855; p<0,001	-	-
Talla	-	r=0,647; p=0,009	-	r=0,521; p=0,046	-	-
Envergadura	-	r=0,620; p=0,014	-	r=0,609; p=0,016	-	r=-0,551; p=0,033
Talla sentado	r=0,686; p=0,005	r=0,702; p=0,004	-	r=0,586; p=0,022	-	r=-0,537; p=0,039
L. miembro superior	-	r=0,554; p=0,036	-	r=0,671; p=0,006	-	r=-0,300; p=0,038
D. biacromial	-	-	-	r=0,648; p=0,009	-	-
D. biileocrestal	-	r=0,576; p=0,024	-	r=0,747; p<0,001	-	-
D. fémur	-	r=0,579; p=0,024	-	r=0,828; p<0,001	-	-
D. húmero	-	r=0,566; p=0,028	-	r=0,672; p=0,006	-	-
D. biestiloideo	r=0,534; p=0,040	-	-	-	-	r=-0,555; p=0,032
Pr. corregido brazo	-	-	-	r=0,631; p=0,012	-	-
Pr. corregido muslo	-	-	-	r=0,759; p=0,001	r=0,550; p=0,034	-
Pr. corregido pierna	-	r=0,578; p=0,024	-	r=0,723; p=0,002	-	-
IMC	-	-	r=-0,544; p=0,036	r=0,583; p=0,023	r=0,527; p=0,043	-
∑8 pliegues cutáneos	r=-0,427; p=0,002	-	r=-0,594; p=0,020	-	r=0,608; p=0,016	-
Masa grasa (%)	r=-0,522; p=0,046	-	r=-0,561; p=0,030	-	r=0,621; p=0,013	-

Masa grasa (Kg)	-	-	-	r=0,613; p=0,012	r=0,578; p=0,024	-
Masa muscular (Kg)	-	r=0,595; p=0,019	-	r=0,843; p<0,001	-	-
Índice musulo- esquelético	-	-	r=-0,516; p=0,049	-	r=0,625; p=0,009	-

D.: diámetro; L.: longitud; Pr.:perímetro.



Tabla 10. Correlaciones entre las variables antropométricas y de condición física en el grupo de 14 años.

14 años (n=12)	Lanzamiento de balón medicinal	CMJ	Potencia CMJ	20 m sprint	Agility test
Desfase madurativo	r=0,602; p=0,039	-	r=0,766; p=0,004	-	r=-0,653; p=0,021
Masa corporal	-	-	r=0,943; p<0,001	r=0,736; p=0,006	r=0,720; p=0,008
Talla	-	-	r=0,620; p=0,031	-	-
Envergadura	-	-	r=0,603; p=0,038	-	-
Talla sentado	r=0,669; p=0,017	-	r=0,617; p=0,033	-	-
L. miembro superior	-	-	r=0,695; p<0,001	-	-
D. biileocrestal	-	-	r=0,847; p<0,001	-	r=0,674; p=0,016
D. fémur	-	-	r=0,626; p=0,029	-	r=0,761; p=0,004
Pr. corregido brazo	-	-	r=0,833; p<0,001	-	r=0,778; p=0,003
Pr. corregido muslo	-	-	r=0,869; p<0,001	r=0,607; p=0,036	r=0,718; p=0,009
Pr. corregido pierna	-	-	r=0,760; p=0,004	-	-
IMC	-	-	r=0,860; p<0,001	r=0,678; p=0,015	r=0,639; p=0,035
∑8 pliegues cutáneos	-	r=-0,644; p=0,024	r=0,729; p=0,007	r=0,812; p=0,001	r=0,631; p=0,028
Masa grasa (%)	-	-	r=0,772; p=0,003	r=0,882; p<0,001	r=0,625; p=0,030
Masa grasa (Kg)	-	-	r=0,790; p=0,002	r=0,883; p<0,001	r=0,630; p=0,028
Masa muscular (Kg)	-	-	r=0,901; p<0,001	r=0,640; p=0,025	r=-0,768; p=0,004
Índice musculoesquelético	-	-	r=0,747; p=0,005	-	-

D.: diámetro; L.: longitud; Pr.:perímetro.

Tabla 11. Correlaciones entre las variables antropométricas y de condición física en el grupo de 15 años.

15 years (n=14)	Salto de longitud	Lanzamiento de balón medicinal	CMJ	Potencia CMJ	20 m sprint
Desfase madurativo	-	r=0,886; p<0,001	-	r=0,915; p<0,001	-
Masa corporal	-	r=0,730; p=0,003	-	r=0,844; p<0,001	-
Talla	-	r=0,736; p=0,003	-	r=0,829; p<0,001	-
Envergadura	-	r=0,735; p=0,003	-	r=0,775; p<0,001	-
Talla sentado	-	r=0,909; p<0,001	-	r=0,915; p<0,001	-
L. miembro superior	-	r=0,649; p=0,012	-	r=0,757; p=0,002	-
D. biacromial	-	r=0,784; p<0,001	-	r=0,933; p<0,001	-
D. biileocrestal	-	r=0,818; p<0,001	-	r=0,820; p<0,001	-
D. fémur	-	r=0,787; p<0,001	-	r=0,856; p<0,001	-
D. húmero	-	r=0,545; p=0,044	-	r=0,567; p=0,035	-
D. biestiloideo	-	r=0,625; p=0,017	-	r=0,835; p<0,001	-
Pr. corregido brazo	-	r=0,741; p=0,022	-	r=0,798; p<0,001	-
Pr. corregido muslo	-	r=0,796; p<0,001	-	r=0,870; p<0,001	-
Pr. corregido pierna	-	r=0,730; p=0,003	-	r=0,823; p<0,001	-
IMC	-	r=0,562; p=0,037	-	r=0,631; p=0,016	-
∑8 pliegues cutáneos	r=-0,606; p=0,022	-	r=-0,554; p=0,040	-	r=0,695; p=0,006
Masa grasa (%)	r=-0,631; p=0,016	-	r=-0,615; p=0,019	-	r=0,694; p=0,006

Masa muscular (%)	-	-	r=0,535; p=0,048	-	-
Masa grasa (Kg)	r=-0,549; p=0,042	-	-	-	r=0,647; p=0,012
Masa muscular (Kg)	-	r=0,815; p=0,001	-	r=0,920; p=0,001	-
Índice musculo-esquelético	-	r=0,598; p=0,024	-	r=0,603; p=0,022	-

D.: diámetro; L.: longitud; Pr.:perímetro.

Tabla 12. Modelos de regresión del rendimiento en las diferentes pruebas de condición física en el grupo de 12 años

Grupo de edad	Variable	Análisis	R <sup>2</sup>	p	Variables independientes incluidas	CE	Ecuación
12 años	CMJ	Modelo 1	0,58	0,047	Desfase madurativo	-0,76	CMJ = 6,479 - 21,229*Desfase madurativo
	Potencia CMJ	Modelo 1	0,87	0,002	IMC	0,93	Potencia CMJ = 128,328 + 22,052*IMC

CE: coeficiente estandarizado.

Tabla 13. Modelos de regresión del rendimiento en las diferentes pruebas de condición física en el grupo de 13 años.

Grupo de edad	Variable	análisis	R <sup>2</sup>	p	Variables independientes incluidas	CE	Ecuación
13 años	Salto de longitud	Modelo 1	0,47	0,005	Talla sentado	0,69	Salto de longitud = -1,390 + 0,038*talla sentado
		Modelo 2	0,74	<0,001	Talla sentado Pr. corregido pierna	0,99 -	Salto de longitud = -0,550 + 0,055*talla sentado - 0,075*Pr. corregido pierna
		Modelo 3	0,82	<0,001	Talla sentado Pr. corregido pierna D. biestiloideo	0,82 - 0,38	Salto de longitud = -0,356 + 0,045*talla sentado - 0,085*Pr. corregido pierna + 0,190*D. biestiloideo
Lanzamiento de balón medicinal	Modelo 1	0,63	<0,001	Desfase madurativo	0,79	Lanzamiento de balón medicinal = 5,332 + 1,544*desfase madurativo	
CMJ	Modelo 1	0,35	0,020	∑8 pliegues cutáneos	- 0,59	CMJ = 33,668 - 0,076*∑8 pliegues cutáneos	
Potencia CMJ	Modelo 1	0,73	<0,001	Masa corporal	0,85	Potencia CMJ = 124,236 + 9,072*masa corporal	
	Modelo 2	0,83	<0,001	Masa corporal Pr. corregido del brazo	1,48 -	Potencia CMJ = 395,396 + 15,715*masa corporal - 30,141*Pr. corregido del brazo	
	Modelo 3	0,89	<0,001	Masa corporal Pr. corregido del brazo Masa muscular (%)	2,00 - 0,39	Potencia CMJ = -541,713 + 21,252* masa corporal - 42,547*Pr. corregido del brazo + 23,420*masa muscular (%)	
20 m sprint	Modelo 1	0,42	0,009	Índice musculo-esquelético	0,65	Sprint = 2,806 + 0,561*Índice musculo-esquelético	
Test de agilidad	Modelo 1	0,31	0,032	D. biestiloideo	- 0,55	Agilidad = 14,275 - 0,982*D, biestiloideo	

CE: Coeficiente estandarizado; D.: diámetro; Pr.: perímetro.

Tabla 14. Modelos de regresión del rendimiento en las diferentes pruebas de condición física en el grupo de 14 años.

Grupo de edad	Variable	Análisis	R <sup>2</sup>	p	Variables independientes incluidas	CE	Ecuación
14 años	Lanzamiento de balón medicinal	Modelo 1	0,45	0,017	Talla sentado	0,67	Lanzamiento de balón medicinal = -16,293 + 0,260*talla sentado
	CMJ	Modelo 1	0,41	0,024	∑8 pliegues cutáneos	-0,64	CMJ = 35,526 - 0,421*∑8 pliegues cutáneos
	Potencia CMJ	Modelo 1	0,89	<0,001	Masa corporal	0,94	Potencia CMJ = 144,949 + 9,810*masa corporal (kg)
		Modelo 2	0,95	<0,001	Masa corporal ∑8 pliegues cutáneos	1,43 -0,55	Potencia CMJ = -59,752 + 14,930*masa corporal - 1,486*∑8 pliegues cutáneos
	20 m sprint	Modelo 1	0,78	<0,001	Masa grasa (%)	0,88	Sprint = 3,492 + 0,023*masa grasa (%)
	Test de agilidad	Modelo 1	0,61	0,003	Pr. corregido del brazo	0,78	Agility = 4,812 + 0,168*Pr. corregido del brazo

CE: coeficiente estandarizado; Pr.: perímetro.

Tabla 15. Modelos de regresión del rendimiento en las diferentes pruebas de condición física en el grupo de 15 años.

Grupo de edad	Variable	Análisis	R <sup>2</sup>	p	Variables independientes incluidas	CE	Ecuación
15 años	Salto de longitud	Modelo 1	0,40	0,016	Masa grasa (%)	-0,47	Salto de longitud = 2,555 - 0,025*masa grasa (%)
		Modelo 2	0,59	0,008	Masa grasa (%) Pr. corregido brazo	-0,53 0,49	Salto de longitud = 1,694 - 0,035*masa grasa (%) + 0,042*Pr. corregido brazo
Lanzamiento de balón medicinal		Modelo 1	0,83	<0,001	Talla senatado	0,91	Lanzamiento de balón medicinal = -19,967 + 0,296*talla sentado
CMJ		Modelo 1	0,38	0,019	Masa grasa (%)	-0,61	CMJ = 43,695 - 0,744*masa grasa (%)
		Modelo 2	0,78	<0,001	Masa grasa (%) D. femur	-1,04 0,76	CMJ = -73,071 - 1,259*masa grasa (%) + 12,495*D. femur
Potencia CMJ		Modelo 1	0,87	<0,001	D. biacrimial	0,93	Potencia CMJ = -1219,122 + 54,512*D, biacrimial (kg)
		Modelo 2	0,93	<0,001	D. biacrimial Masa muscular (%)	1,03 0,27	Potencia CMJ = -2215,952 + 60,481*D. biacrimial + 17,659*masa muscular (%)
20 m sprint		Modelo 1	0,48	0,006	∑8 pliegues cutáneos	0,69	Sprint = 3,400 + 0,004*∑8 pliegues cutáneos
		Modelo 2	0,65	0,003	∑8 pliegues cutáneos D. biileocrestal	1,02 -0,52	Sprint = 4,401 + 0,006*∑8 pliegues cutáneos - 0,058*D. biileocrestal

CE: coeficiente estandarizado; D.: diámetro; Pr.: perímetro.

### 3.5. – Discusión

Uno de los objetivos de la presente investigación fue analizar las diferencias entre los grupos de maduración en las variables antropométricas de los atletas adolescentes de voleibol. Se encontraron valores significativamente más altos en los maduradores tempranos en comparación con los maduradores medios y tardíos en la masa corporal, la talla, la envergadura de los brazos y la estatura en posición sentada. Estos resultados concuerdan con estudios previos realizados en población de deportistas masculinos adolescentes, en los que también se encontró que los sujetos cuyo proceso de maduración era más avanzado mostraban valores más altos en estas variables (Arede et al., 2019; López-Plaza et al., 2017b). Las diferencias encontradas entre las etapas de maduración en las variables antropométricas podrían estar relacionadas con los cambios hormonales que se producen en torno a la EPVC (Malina & Bouchard, 1991). Estudios anteriores han observado que tanto las hormonas sexuales como la hormona del crecimiento (GH) aumentan drásticamente su concentración durante esta etapa (Handelsman et al., 2018; Malina & Bouchard, 1991). Las hormonas sexuales juegan un papel importante en la acumulación de tejido adiposo y masa libre de grasa (Handelsman et al., 2018), lo que podría explicar las diferencias encontradas en la masa corporal. Por otro lado, la estatura y la talla sentada están marcadamente influenciadas por la GH (Saenger, 2003), lo que podría explicar los mayores valores obtenidos por los sujetos del grupo de maduradores tempranos. Del mismo modo, el grupo de maduradores tempranos obtuvo resultados más elevados en la envergadura de los brazos y la longitud del miembro superior. Mientras que en las primeras etapas del crecimiento, los niños experimentan un desarrollo céfalo-caudal y proximal-distal (Malina & Bouchard, 1991), durante la adolescencia el crecimiento se produce primero en las extremidades (Malina & Bouchard, 1991). Este orden distal-proximal en el desarrollo podría explicar las diferencias mostradas entre los grupos de maduración

Asimismo, se observaron diferencias significativas en las variables relacionadas con la adiposidad (masa y porcentaje de grasa, y  $\Sigma 6$  y  $\Sigma 8$  pliegues cutáneos), entre los maduradores tempranos y los maduradores en tiempo, y entre los grupos tempranos y tardíos (masa grasa), con valores más altos en los sujetos más maduros. Estos resultados son similares a los encontrados en estudios anteriores en los que se observó que en la población de atletas adolescentes, los maduradores tempranos tenían una mayor cantidad de tejido adiposo (Albaladejo-Saura et al., 2021). La acumulación y distribución del tejido adiposo sufre cambios durante la etapa adolescente en relación con las hormonas sexuales (Sandhu et al., 2005). En este caso, una mayor acumulación de tejido adiposo parece estar relacionada con un inicio más temprano de la maduración en los



varones (Sandhu et al., 2005), esto podría explicar por qué, en este estudio, los maduradores tempranos mostraron una mayor masa grasa.

En cuanto a los otros tejidos de la composición corporal, se encontró que el grupo de maduradores tempranos mostraba valores significativamente más altos que los maduradores en tiempo y tardíos en los componentes relacionados con el desarrollo muscular (masa muscular y perímetros corregidos) y el desarrollo óseo (longitud del miembro superior y diámetros óseos). Investigaciones anteriores han demostrado que los maduradores tempranos también tienen mayor masa libre de grasa y masa muscular que sus compañeros (López-Plaza et al., 2017b). Se ha demostrado que la masa muscular es de gran importancia en el rendimiento deportivo (Fitts et al., 1991). El desarrollo de la masa muscular parece estar ligado a la maduración biológica, ya que el aumento de la masa muscular durante la adolescencia está relacionado con el aumento de la testosterona circulante, que en la población masculina puede ser hasta 30 veces superior a los valores basales (Handelsman et al., 2018). También se ha demostrado que el tejido óseo es de gran utilidad en el rendimiento deportivo, sirviendo de estructura para el desarrollo muscular (Holway & Garavaglia, 2009). El desarrollo óseo se produce con un marcado aumento en la etapa puberal, influenciado por la GH, y luego aumenta gradualmente en la edad adulta (Ohlsson et al., 1998). Este incremento de las hormonas responsables del aumento de la masa ósea y muscular en torno a la EPVC podría ser la explicación de las diferencias encontradas entre los grupos de maduración en este estudio.

Cuando se introdujo la edad como covariable, se observó una influencia significativa en las diferencias encontradas entre todos los grupos en las medidas básicas, las variables óseas y las variables musculares, mientras que en las variables de grasa sólo se observó influencia en las diferencias entre los maduradores tempranos y en tiempo, mostrando el grupo de maduradores tempranos valores más altos. Este fenómeno ha sido descrito en trabajos anteriores que analizan el efecto de la edad en las variables antropométricas. Valente dos Santos et al. (2014) observaron que la talla y la masa libre de grasa aumentaban con la edad en todos los grupos de maduración, con valores más altos en los individuos más maduros, mientras que las diferencias de masa grasa eran menores. En el presente trabajo, la influencia analizada de la edad en las diferencias significativas puede estar relacionada con el hecho de que la muestra del presente estudio tenía una edad cercana a la EPVC, que suele darse en los varones alrededor de los  $13,8 \pm 1,0$  años de edad (Malina & Bouchard, 1991; Rommers et al., 2019; Sherar et al., 2005), ya que es en este periodo cuando se producen los cambios más notables producidos por el estirón, con un aumento

del tejido muscular y óseo a medida que avanza la edad (Handelsman et al., 2018; Malina & Bouchard, 1991).

Teniendo en cuenta que la talla, la envergadura de los brazos y la longitud de las piernas son factores importantes en el rendimiento del voleibol (Zhao et al., 2019), se podría hipotetizar en base a los resultados obtenidos que los maduradores tempranos podrían tener una ventaja competitiva en las etapas de adolescencia que podría ser neutralizada por los maduradores en tiempo y tardíos cuando alcancen la talla adulta. En ese caso, se trata de una cuestión que habría que tener en cuenta en los modelos de identificación de talentos en el voleibol.

Otro de los objetivos de este artículo fue comparar los grupos de maduración en cuanto al rendimiento en las pruebas de condición física. La selección de las pruebas incluidas en el presente estudio se realizó teniendo en cuenta las capacidades físicas más determinantes en los jóvenes voleibolistas masculinos, como la potencia de los miembros superiores e inferiores (Tsoukos et al., 2019b), basándose en estudios previos que han utilizado las pruebas en una población similar de voleibolistas adolescentes (Albaladejo-Saura et al., 2022c) y en otros deportes (Arede et al., 2019; Castro-Piñeiro et al., 2013; Katić et al., 2006; López-Plaza et al., 2017b). Se demostró que los maduradores tempranos obtuvieron mejores resultados en el lanzamiento de balón medicinal y en la potencia CMJ que sus compañeros de los grupos de maduradores medios y tardíos, y que los maduradores medios obtuvieron mejores resultados que los tardíos. Entre los factores que afectan positivamente a la producción de potencia muscular, se ha observado que uno de los factores clave es la masa muscular, existiendo una relación entre el aumento de la masa muscular y la producción de potencia (Fitts et al., 1991). Dado que ambas pruebas están relacionadas con la cantidad de masa muscular y, además, la potencia del CMJ también está relacionada con la masa corporal, las diferencias significativas encontradas en estas variables antropométricas entre los grupos de maduración pueden ayudar a entender por qué se encontraron estas diferencias en las pruebas de condición física. Por otro lado, las pruebas de flexibilidad no mostraron diferencias significativas entre los grupos. Esto podría deberse a que la flexibilidad no es una capacidad física muy influenciada por el proceso madurativo (Albaladejo-Saura et al., 2021), y sin embargo podría estar más influenciada por las adaptaciones producidas por el entrenamiento de voleibol, ya que la extensibilidad parece ser sensible a los cambios producidos por el entrenamiento, mejorándola y produciendo adaptaciones morfológicas y neurológicas (Klaver et al., 2018), sin que influya el estado madurativo en estas adaptaciones (Albaladejo-Saura et al., 2021). Los resultados de la presente investigación están en consonancia con los encontrados

en adolescentes masculinos, en los que se ha encontrado que los grupos de maduración temprana tienen mejores resultados que los de maduración media y tardía en las pruebas de fuerza muscular y aquellas que dependían de la potencia, pero no hubo diferencias en las pruebas de flexibilidad entre los grupos de maduración (Albaladejo-Saura et al., 2021). En este sentido, Arede et al. (2019), observaron que, en una muestra de jugadores de baloncesto de edad similar a la incluida en nuestro estudio, los jugadores más maduros rendían mejor en el lanzamiento de balón medicinal y en la potencia del CMJ, pero no en la altura de salto del CMJ. Del mismo modo, López-Plaza et al. (2017a), observaron que los jugadores más maduros de una muestra de piragüistas rendían mejor en las pruebas mencionadas que sus compañeros de edad cronológica.

La inclusión de la covariable edad mostró una influencia significativa en las diferencias de rendimiento en el lanzamiento de balón medicinal, la potencia CMJ, el sprint de 20 m y las pruebas de agilidad. Sin embargo, el análisis por pares de las diferencias sólo mostró significación estadística en el lanzamiento de balón medicinal y la potencia CMJ, obteniendo mejores resultados los jugadores cuyo proceso de maduración era más avanzado. La influencia de la edad ha sido demostrada en estudios anteriores, en los que se ha observado que a medida que avanza la edad, mejora el rendimiento en las pruebas de condición física (Rommers et al., 2019; Valente-Dos-Santos et al., 2014), especialmente a medida que los jóvenes deportistas se acercan a la EPVC debido a los cambios fisiológicos y morfológicos que se producen en torno a estas etapas (Handelsman et al., 2018; Malina & Bouchard, 1991).

Como resultado de la presente investigación, los programas de identificación de talentos deportivos podrían incluir valoraciones de estas capacidades, debiendo relativizar exclusivamente los resultados de miembros superiores y potencia de salto en función del estado madurativo del adolescente, ya que la maduración no parece afectar a los otros factores de forma aislada, sino en combinación con la edad. Sin embargo, se puede considerar que estas pruebas no son estrictamente específicas del voleibol, por lo que sería de gran interés seguir investigando en este tema incluyendo pruebas de rendimiento relacionadas con el voleibol.

Otro objetivo de la presente investigación fue determinar cuál de las variables analizadas podía predecir mejor el rendimiento en las pruebas de condición física. Se encontró que el porcentaje de masa grasa predecía un peor rendimiento en las pruebas de salto de longitud, sprint y agilidad. Esto puede deberse a que en las capacidades físicas caracterizadas por movimientos explosivos, el peso añadido en forma de tejido adiposo puede lastrar el rendimiento al requerir un mayor esfuerzo para los desplazamientos (Albaladejo-Saura et al., 2021). Sin embargo,

las variables absolutas relacionadas con el tejido adiposo, como la masa grasa en kilogramos o las sumas de pliegues cutáneos, no mostraron contribución al rendimiento, ni positiva ni negativa en los resultados mostrados en el análisis de regresión en las pruebas mencionadas. Esto puede deberse a que, como se ha observado en investigaciones anteriores, el ejercicio físico puede modificar los porcentajes de masa grasa sin que existan diferencias significativas en la masa grasa absoluta como consecuencia del aumento de la masa muscular (Cruz-Ferreira et al., 2009; Vaquero-Cristóbal et al., 2016). Resultados similares se han encontrado en investigaciones anteriores, encontrando que el tejido adiposo en cantidades absolutas podría no ser la variable más determinante que contribuye al rendimiento deportivo relacionado con el salto de longitud en población adolescente, ya que se ha observado que aquellos sujetos que eran más altos y tenían extremidades superiores e inferiores más largas tuvieron un mejor rendimiento que sus compañeros (Hraski et al., 2015). Aunque los jugadores más maduros mostraron una mayor cantidad de masa grasa y valores más altos de las variables relacionadas con el tejido adiposo que sus compañeros, parece que los valores relativos de la masa grasa, representados como porcentaje, son más relevantes para el rendimiento deportivo en las pruebas seleccionadas en jóvenes jugadores de voleibol masculinos.

Por otro lado, la edad, el desfase madurativo y las variables estructurales, como la talla, la talla sentado y la altura ilioespinal; y las variables relacionadas con el desarrollo muscular, como la masa muscular (kg) y los perímetros corregidos del brazo y la pierna, son predictores de un mejor rendimiento en las pruebas de salto de longitud, lanzamiento de balón medicinal, potencia del CMJ y agilidad. Estudios anteriores ya han señalado la importancia de la estructura ósea en el rendimiento físico, por su relación con los parámetros biomecánicos de la ejecución de la fuerza y por proporcionar el entorno adecuado para un mejor desarrollo muscular (Holway & Garavaglia, 2009). La masa muscular es un factor clave para mejorar el rendimiento en las capacidades físicas donde la masa corporal se desplaza en el plano horizontal o vertical, como las que determinan el rendimiento del voleibol (Sarro et al., 2019).

Cuando se realizó el análisis de regresión dividiendo la muestra por grupos de edad, se observó la misma dirección de los resultados, mostrando que las variables relacionadas con el hueso y el músculo eran predictoras de un mejor rendimiento en aquellas variables de condición física relacionadas con la fuerza y la producción de potencia en todos los grupos de edad, y las variables relacionadas con la grasa estaban relacionadas con un peor rendimiento. La masa corporal fue un predictor de una mejor producción de potencia en el test CMJ, resultado que está en línea con investigaciones anteriores, ya que el cálculo de la

potencia depende de la masa corporal de los atletas (Jeras et al., 2020). Sin embargo, la altura del CMJ, el sprint y la agilidad se relacionaron negativamente con la grasa subcutánea y las variables relacionadas en el grupo de 13, 14 y 15 años, lo que coincide con investigaciones anteriores (Albaladejo-Saura et al., 2021; Chena Sinovas et al., 2015). Cabe destacar que el desfase madurativo fue una de las variables predictoras del rendimiento en los grupos de 12 y 13 años, en relación a las pruebas de CMJ y lanzamiento de balón medicinal. Estos grupos de edad son, en términos de edad cronológica, anteriores al momento teórico de la EPVC, que en los varones se ha documentado en torno a los 14 años, con variaciones individuales (Malina & Bouchard, 1991). Investigaciones anteriores han descrito que las diferencias encontradas en el rendimiento físico de los deportistas adolescentes tienden a igualarse a medida que avanza la edad cronológica, especialmente a partir de los 14 años, después de que todos los sujetos hayan superado la EPVC, hasta la edad adulta (Dugdale, McRobert, et al., 2021a; Dugdale, Sanders, et al., 2021). Esta podría ser la razón por la que la compensación de la madurez es un predictor del rendimiento a estas edades, pero no fue un predictor del rendimiento en los grupos de 14 y 15 años. Puede observarse que algunas de las variables que mostraron correlaciones significativas cuando se analizó el grupo completo no parecían tener correlaciones en los grupos de edad, quizás debido a la pequeña muestra incluida en cada uno. Las correlaciones y la influencia de las variables antropométricas en el rendimiento en la prueba de condición física en los atletas adolescentes deberían investigarse en profundidad con muestras más grandes de diferentes edades. También son necesarias más investigaciones para aclarar si estas variables relacionadas con la masa ósea y muscular permiten diferenciar a los jugadores según su nivel deportivo una vez alcanzado el desarrollo adulto.

Sin embargo, la presente investigación tiene algunas limitaciones. En primer lugar, el método utilizado para establecer el estado de madurez de los jugadores no fue la radiografía de muñeca y mano, considerada el gold standard (Malina & Bouchard, 1991). Sin embargo, a pesar de ser el gold standard, hay que tener en cuenta algunas consideraciones, ya que los métodos de rayos X no están exentos de problemas. Se ha demostrado que exponen a los participantes a una cantidad significativa de radiación; son invasivos, costosos y requieren mucho tiempo (Towlson et al., 2021). Como consecuencia de los problemas potenciales del uso de este método, algunos autores han propuesto el uso de métodos alternativos menos invasivos en la población adolescente (Towlson et al., 2021).

Se han desarrollado métodos alternativos para observar la EPVC basados en medidas repetidas a lo largo del tiempo y en el desarrollo de modelos matemáticos, como el SITAR, que permiten observar en lugar de estimar el pico

de crecimiento durante la adolescencia (Cole, 2018). Sin embargo, este modelo solo puede aplicarse a partir de diseños longitudinales, por lo que no era una opción para la presente investigación debido a su carácter transversal.

La otra opción es utilizar ecuaciones de estimación de la maduración basadas en ecuaciones de regresión, que es un método no invasivo y fácil de aplicar en la investigación de campo y que ha sido ampliamente utilizado en la investigación reciente en ciencias del deporte (Albaladejo-Saura et al., 2021). Sin embargo, las ecuaciones pueden introducir error en el cálculo del desfase madurativo, establecido en torno a 0,50-0,59 años, según investigaciones anteriores, lo que limita en cierta medida su uso (Malina et al., 2016; Malina, Coelho-E-Silva, et al., 2021; Mirwald et al., 2002). De hecho, se ha observado que las ecuaciones de estimación del desfase madurativo tienden a subestimar el valor para los maduradores tempranos, mientras que lo sobreestiman para los maduradores tardíos (Towlson et al., 2021). Entre ellas, quizás la más utilizada ha sido la de Mirwald et al. (2002), ya que en una reciente revisión sistemática con meta-análisis, de siete estudios que seleccionaron evaluar la maduración somática a través de ecuaciones antropométricas, seis utilizaban la ecuación de Mirwald et al. (2002) para clasificar a los atletas de diferentes deportes (Albaladejo-Saura et al., 2021). Aunque esta ecuación presenta los problemas señalados anteriormente, se siguieron algunas recomendaciones de estudios anteriores para minimizar su efecto. En concreto, aunque la fórmula original de Mirwald et al. (2002) fue validada en una población con un amplio rango de edad (8-18 años), y se ha observado que los resultados cambian de forma más o menos constante con el avance de la edad cronológica (Malina, Coelho-E-Silva, et al., 2021). Por este motivo, algunos autores han recomendado reducir el rango de edad de los participantes a los 12-16 años, así como controlar el efecto de la edad cronológica en las estimaciones (Malina, Coelho-E-Silva, et al., 2021; Towlson et al., 2017; Towlson et al., 2021). Además, una vez demostrados los problemas potenciales del uso de ecuaciones basadas en medidas antropométricas, se ha observado que pueden tener cierta utilidad cuando se utilizan para categorizar a los participantes como pre-, circum- o post-EPVC (Malina, Coelho-E-Silva, et al., 2021; Mirwald et al., 2002; Towlson et al., 2021). Conociendo las limitaciones de este método, esta investigación utiliza la estimación del desplazamiento de la madurez como una variable categórica, incluye a los participantes con rangos de edad cronológica dentro del rango recomendado y utiliza la edad cronológica de los participantes para controlar el efecto de las diferencias entre los grupos.

Otras limitaciones del presente estudio son el diseño de investigación transversal, lo que impidió el uso de modelos de observación de la EPVC así como el establecimiento de una relación más profunda entre las variables

antropométricas y la condición física a lo largo de la adolescencia y el tamaño de la muestra, que limita la extrapolación de los resultados a poblaciones que no tienen características similares a la incluida en el presente estudio. Futuras investigaciones podrían abordar estas limitaciones en diseños de investigación longitudinales, con muestras más amplias, estudiando la influencia de la maduración biológica en las variables antropométricas y de condición física. Debería ser recomendable también el uso de diferentes métodos para abordar la estimación u observación del estado madurativo, que permitan al investigador incluir sujetos de un rango de edad más amplio para aclarar las relaciones entre maduración y rendimiento durante las diferentes etapas.

### 3.6. – Conclusiones

Los maduradores tempranos mostraron valores más altos en medidas como la talla, la masa corporal, la envergadura de los brazos, la talla sentado, los diámetros óseos, los perímetros musculares y las masas grasa, muscular y ósea, así como en la distancia alcanzada en el lanzamiento de balón medicinal y en la potencia CMJ. Estas diferencias encontradas a favor de los jugadores cuyo proceso de maduración estaba más avanzado podrían representar una ventaja en el rendimiento deportivo del voleibol durante la adolescencia con respecto a sus compañeros de igual edad cronológica. A la hora de evaluar las variables antropométricas y la condición física de los jugadores jóvenes, debe tenerse en cuenta la maduración biológica, ya que los maduradores tempranos pueden tener una ventaja competitiva. Del mismo modo, debe prestarse atención a variables como la talla, la talla sentado, la altura ilioespinal y los perímetros musculares, ya que han demostrado tener un alto poder predictivo del rendimiento en las pruebas de condición física relacionadas con los requerimientos del voleibol. También hay que tener en cuenta que cuando la edad de los jugadores es cercana a la EPVC, las diferencias encontradas entre los grupos de maduración tanto en el rendimiento antropométrico como en la condición física están influenciadas por la edad. Sin embargo, debido a la pequeña muestra incluida y a las limitaciones identificadas en la presente investigación, estos hallazgos deben tomarse con precaución, ya que pueden ser sólo aplicables a la población objetivo.





**Vd – ESTUDIO 4: Variables  
cineantropométricas y de  
condición física determinantes  
en la selección de jugadores y  
jugadoras adolescentes para  
equipos regionales que  
compiten en el campeonato  
nacional.**



## V – ESTUDIO 4

### VARIABLES CINEANTROPOMÉTRICAS Y DE CONDICIÓN FÍSICA DETERMINANTES EN LA SELECCIÓN DE VOLEIBOLISTAS ADOLESCENTES PARA EQUIPOS REGIONALES QUE COMPITEN EN EL CAMPEONATO NACIONAL.

#### 4.1. – Resumen

Objetivos: analizar la influencia de las variables cineantropométricas, la condición física y la edad cronológica y biológica en la posibilidad de ser seleccionado para formar parte del equipo regional que compite en el campeonato nacional de selecciones en jugadores de voleibol adolescentes.

Equipo y métodos: Un total de 100 jugadores de voleibol (48 chicos, edad=14,17±1,00 años; 52 chicas, edad=14,22±1,14 años) participaron en el presente estudio de diseño transversal y completaron un cuestionario sociodemográfico y deportivo diseñado ad hoc. Los participantes se sometieron a una evaluación cineantropométrica, que incluía medidas básicas, pliegues cutáneos, perímetros y diámetros. La condición física se evaluó mediante el test sit-and-reach, el test back scratch, salto de longitud, lanzamiento de balón medicinal, salto con contramovimiento (CMJ), el sprint y la agilidad. Se calculó el desfase madurativo de los jugadores.

Resultados: Se observó que valores más bajos en las variables relacionadas con la masa grasa aumentaban la posibilidad de ser seleccionado ( $p=0,023-0,027$ ); mientras que valores más altos en las variables relacionadas con la masa ósea las aumentaban ( $p<0,001-0,032$ ). También valores más altos en las pruebas físicas de salto de longitud, lanzamiento de balón medicinal, CMJ y pruebas de agilidad ( $p<0,001-0,007$ ) o en variables como la edad y el desfase madurativo ( $p=0,027-0,030$ ) aumentaron la posibilidad de ser seleccionado. Sin embargo, al dividir la muestra por sexo, en el grupo de las chicas ninguna de las variables cineantropométricas se relacionó con una mayor probabilidad de ser seleccionadas ( $p>0,05$ ).

Conclusiones: Un mejor rendimiento en las pruebas de condición física y una mayor edad cronológica o biológica son indicadores de una mayor probabilidad de ser seleccionado tanto en chicos como en chicas, mientras que las variables cineantropométricas sólo fueron determinantes en el grupo de chicos.

#### 4.2. – Introducción

La detección del talento deportivo ha sido una preocupación recurrente en las ciencias del deporte durante las últimas décadas (Johnston et al., 2018). Sin embargo, a pesar de las numerosas investigaciones al respecto, se ha encontrado que existe una gran variabilidad a la hora de determinar qué factores pueden diferenciar a aquellos deportistas que demuestran mejores condiciones para llegar a la élite (Dugdale, McRobert, et al., 2021b; Dugdale, Sanders, et al., 2021; Johnston et al., 2018). No obstante, la mayoría de los estudios que implementan programas de detección de talentos deportivos incluyen como variable principal el perfil físico de los participantes, entendiendo por este término las características cineantropométricas, el estado madurativo, las capacidades físicas o fisiológicas y el rendimiento en habilidades propias del deporte (Johnston et al., 2018).

Más concretamente, en los deportes de equipo, se ha observado que los jugadores adolescentes de mayor nivel deportivo tienen mayor talla y masa muscular, menor masa corporal y porcentaje de grasa, así como un mejor rendimiento en las pruebas de condición física relacionadas con el rendimiento deportivo (Arede et al., 2019; Garcia-Gil et al., 2018; Sedano et al., 2009; Till et al., 2017). Al tener un mayor rendimiento deportivo, estudios previos han encontrado que estos deportistas, que tienen una ventaja competitiva basada en sus características físicas, suelen formar parte de programas específicos de tecnificación y desarrollo (Leiva-Arcas et al., 2021), como las selecciones regionales. La inclusión de estos deportistas en programas de alto rendimiento conlleva una serie de ventajas respecto al resto de deportistas de su categoría, entre las que se encuentran el acceso a recursos humanos y materiales no disponibles para el conjunto de la población, o la posibilidad de obtener ayudas económicas para desarrollar su carrera deportiva (Leiva-Arcas et al., 2021), lo que les sitúa en una mejor posición para convertirse en profesionales del deporte. Sin embargo, pocas veces se tiene en cuenta en este tipo de programas o selecciones que la mayor parte de las ventajas que tienen estos jugadores en base a sus características físicas son fruto de tener una mayor edad biológica o cronológica y que una vez pasado el periodo de crecimiento es muy probable que pierdan esa ventaja (Dugdale, McRobert, et al., 2021a, 2021b; Dugdale, Sanders, et al., 2021). Por lo tanto, este tipo de modelo podría ser eficaz para optimizar el rendimiento a corto plazo, pero no a largo plazo (Dugdale, McRobert, et al., 2021b).

Además, la mayor parte de las investigaciones sobre las características que hacen que un deportista rinda más y, por tanto, tenga más posibilidades de ser seleccionado a una edad temprana, se centran en la población masculina y en el fútbol. Esto significa que hay una falta de representación de la población femenina y un menor conocimiento respecto a las variables que podrían predecir

una mayor probabilidad de ser seleccionado en otros deportes (Johnston et al., 2018). En este sentido, el voleibol es un deporte cuyos participantes han aumentado en los últimos años, alcanzando aproximadamente 33 millones de jugadores de élite (Verhagen et al., 2004). Este hecho, unido a las características del voleibol, que incluyen saltos, aterrizajes y acciones explosivas (Huang et al., 2016), hace relevante conocer qué características se relacionan con una mayor probabilidad de ser seleccionado para formar parte de las selecciones autonómicas, lo que da acceso a programas específicos de tecnificación (Leiva-Arcas et al., 2021). Sin embargo, solo un estudio ha abordado esta cuestión en jugadores de voleibol en chicos (Tsoukos et al., 2019b) y otro en chicas (Tsoukos et al., 2019a). No obstante, estos estudios no abordaron este fenómeno de forma global, incluyendo variables antropométricas musculares y óseas, determinantes en el rendimiento físico (Holway & Garavaglia, 2009), y variables relacionadas con la maduración biológica o la edad relativa, que han demostrado tener influencia en las variables cineantropométricas y de condición física (Albaladejo-Saura et al., 2021).

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue analizar la influencia de las variables cineantropométricas, la condición física y la edad cronológica y biológica en la posibilidad de ser seleccionado para competir en el campeonato nacional como parte de la selección regional en una muestra masculina y femenina de jugadores adolescentes de voleibol.

#### 4.3. - Material y métodos.

En el presente estudio se analizó la influencia de las variables cineantropométricas, la condición física y la edad cronológica y biológica en la posibilidad de ser seleccionado para competir en el campeonato nacional como parte del equipo regional, ya que investigaciones anteriores han demostrado que estas variables podrían ser determinantes para diferenciar a los atletas de élite de los que no lo son (Johnston et al., 2018; Tsoukos et al., 2019a, 2019b). Para ello, se siguió un diseño descriptivo transversal, de acuerdo con las directrices del modelo STROBE (Vandenbroucke et al., 2014). Se realizó una evaluación cineantropométrica, seguida de un calentamiento estandarizado y las pruebas de condición física. Se registró la edad cronológica de los participantes y se calculó el desfase madurativo como indicativo de la maduración biológica.

##### 4.3.1. Sujetos

El cálculo del tamaño de la muestra necesario para llevar a cabo el presente estudio se realizó con el software Rstudio (versión 3.15.0, Rstudio Inc., Boston,

MA, USA). La desviación estándar se estableció en base a la masa corporal de estudios anteriores (SD=7,82)(Albaladejo-Saura et al., 2022c). Con un error estimado de 1,53 kg de masa corporal, fijando el nivel de significación en  $\alpha=0,05$ , la muestra necesaria estimada fue de 100 participantes.

Antes de iniciar el estudio, los entrenadores, padres y jugadores fueron informados sobre los procedimientos de medición y firmaron un consentimiento informado. Los criterios de inclusión fueron: a) entrenamiento regular de voleibol, al menos dos días por semana; b) participación en competiciones federadas; c) edad entre 12 y 15 años; d) haber jugado al voleibol durante al menos dos temporadas consecutivas en el momento de la medición. Los participantes fueron excluidos si: a) sufrían una lesión que les impidiera completar las pruebas; y b) habían faltado a más del 25% de los entrenamientos en los últimos tres meses.

El comité de ética institucional revisó y autorizó el protocolo diseñado para la recogida de datos de acuerdo con el Código de la Asociación Médica Mundial (número de código: CE061921). Durante todo el proceso se siguieron las afirmaciones de la Declaración de Helsinki. Las mediciones se realizaron en el pabellón de entrenamiento habitual.

#### **4.3.2. Procedimientos**

Se pidió a los participantes que rellenaran un cuestionario ad hoc diseñado para recoger información sociodemográfica y deportiva. En el cuestionario se preguntaba por la fecha de nacimiento, los años que llevaban jugando al voleibol, los años que llevaban compitiendo de forma federada, la categoría en la que jugaban actualmente, los días y el tiempo de entrenamiento a la semana y si habían sido convocados para formar parte del equipo regional para competir en el campeonato nacional del año inmediatamente anterior. El cuestionario fue previamente explicado a los participantes por un investigador, y completado individualmente en presencia del investigador, para resolver cualquier duda que pudiera surgir. La información de los jugadores seleccionados para la selección regional fue contrastada posteriormente con los datos de la Federación de Voleibol de la Región de Murcia.

Una vez completado el cuestionario, se realizó una valoración cineantropométrica de los participantes, según los criterios establecidos por la International Society for the Advancement in Kinanthropometry (ISAK)(Esparza-Ros et al., 2019). Cuatro medidas básicas (masa corporal, talla, talla sentado y envergadura); ocho pliegues cutáneos (tríceps, subescapular, bíceps, cresta ilíaca, supraespal, abdominal, muslo y pierna); seis perímetros (brazo relajado, brazo

flexionado y contraído, cintura, cadera, muslo medio y pierna); cinco diámetros (biacromial, biiliocrystal, húmero, fémur y biestiloideo); tres longitudes (acromiale-radiale, radiale-styilion y styilion-medio dactylion); y una altura (iliospinal) fueron medidas por antropometristas de nivel 2 y 3 acreditados por la ISAK. El error técnico de medida (ETM) se calculó intraevaluador (0,06% para las medidas básicas, longitudes, alturas y perímetros; 1,17% para los pliegues cutáneos) e interevaluador (0,09% para las medidas básicas, longitudes, alturas y perímetros; 2,65% para los pliegues cutáneos).

Se utilizó una báscula SECA 862 (SECA, Alemania) con una precisión de 100 g; un tallímetro SECA 213 (SECA, Alemania), un medidor de envergadura (Smartmet, México), una cinta métrica inextensible (Lufkin, EE.UU.), un segmómetro (CESCORF, Brasil) un antropómetro (Realmet, España) y un paquímetro (Holtain, Reino Unido) con una precisión de 0,1 cm; y un plicómetro (Harpenden, Reino Unido) con una precisión de 0,2 mm. Todas las mediciones se realizaron dos veces. Cuando la diferencia entre la primera y la segunda medición era superior al 5% en el caso de los pliegues cutáneos, o al 1% en el caso de las demás mediciones, se realizaba una tercera medición. Se utilizó la media entre las mediciones en el caso de dos intentos, y la mediana en el caso de tres mediciones como valor final para el análisis.

Las mediciones cineantropométricas se utilizaron para calcular las variables de masa grasa (Slaughter et al., 1988), masa muscular (Poortmans et al., 2005), masa ósea (Matiegka, 1921),  $\sum 6$  pliegues cutáneos (tríceps, subescapular, supraespinal, abdominal, muslo y pierna),  $\sum 8$  pliegues cutáneos (tríceps, subescapular, bíceps, cresta ilíaca, supraespinal, abdominal, muslo y pierna), longitud del miembro superior [longitud acromiale-radiale + longitud radiale-styilion + longitud styilion- medio dactylion], los perímetros corregidos del brazo [perímetro relajado del brazo - ( $\pi$ \*pliegue cutáneo del tríceps)], del muslo [perímetro del muslo medio - ( $\pi$ \*pliegue cutáneo del muslo)] y de la pierna [perímetro de la pierna - ( $\pi$ \*pliegue cutáneo de la pierna)], tal como se realizó en investigaciones anteriores (Albaladejo-Saura et al., 2022c).

El desfase madurativo se calculó utilizando las fórmulas descritas por Mirwald et al. (2002). Esta fórmula se ha utilizado en la población de atletas adolescentes, mostrando un alto coeficiente de correlación interclase (ICC=0,96), así como un bajo coeficiente de porcentaje de varianza (CV%=0,8) y un bajo error típico (TE=0,1) (Towlson et al., 2017). Se registró el cuartil de nacimiento de los participantes. Teniendo en cuenta que, por normativa de la competición, cada categoría abarca dos años naturales consecutivos, se categorizaron los cuartiles del primer año de cada categoría con los números 1 a 4 respectivamente, y se

utilizaron los números 5 a 8 para los cuartiles del segundo año de cada categoría (Castillo et al., 2019).

Tras la evaluación cineantropométrica, se realizó una evaluación de la condición física, que incluía el test sit-and-reach, el test de back scratch, el salto de longitud, el lanzamiento de balón medicinal, el salto de contramovimiento (CMJ), el sprint de 20 metros y un test de agilidad (9-3-6-3-9). El orden seguido en las pruebas también ha sido utilizado en investigaciones anteriores en poblaciones similares (Katić et al., 2006; López-Plaza et al., 2017b). y fue seleccionado según las recomendaciones de la National Strength and Conditioning Association (NSCA), en base a la fatiga generada por las diferentes pruebas, así como a las vías metabólicas requeridas por cada una de ellas (Coburn & Malek, 2014). En primer lugar, se realizaron pruebas de flexibilidad, seguidas de un calentamiento estandarizado consistente en 10 minutos de carrera continua, seguido de movilidad articular y familiarización con las pruebas de condición física. Dos investigadores con experiencia previa en la valoración de pruebas de condición física se encargaron de la familiarización y valoración de estas pruebas, siendo el mismo investigador el responsable de cada prueba durante todas las mediciones, para evitar el error interevaluador en las valoraciones. Se realizaron dos intentos para cada prueba, con un descanso de tres minutos entre ellos, y siendo el valor final la media de los dos intentos.

La prueba de sit-and-reach se realizó con el Acuflex Tester III (Novel Products, EE.UU.); la prueba back scratch con una regla milimétrica (GIMA, Italia); las pruebas de salto de longitud y lanzamiento de balón medicinal con una cinta métrica (HaeSt, Alemania) con una precisión de 0,1 cm; el CMJ con una plataforma de fuerza (MuscleLab, Noruega); la prueba de sprint (20 m) con MySprint (Apple Inc, USA); y la prueba de agilidad (9-3-6-3-9) con cinco fotocélulas (Microgate, Italia).

#### **4.3.3. Análisis estadístico**

Se utilizaron las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y *W* de Mauchly para evaluar la distribución y la esfericidad de la muestra. Se calcularon las estadísticas descriptivas media y desviación estándar para las variables cuantitativas. Se utilizaron análisis de regresión logística para estimar las asociaciones entre las variables cineantropométricas y de condición física y la posibilidad de ser seleccionado para el equipo regional en toda la muestra, y en la muestra dividida por sexo y categoría de edad. Los resultados se presentaron como odds ratios (OR) brutos con intervalos de confianza (IC) del 95%. El IC del 95% de los odds ratios se estableció para expresar la magnitud de las asociaciones. El análisis



estadístico se realizó con IBM SPSS Statistics (versión 24.0). Se estableció la significación estadística en  $p \leq 0,05$ .

#### 4.4. – Resultados

Participaron en el estudio un total de 100 jugadores adolescentes de voleibol de la Región de Murcia, 48 chicos (edad=14,17±1,00) y 52 chicas (edad=14,22±1,14), de los cuales 49 habían sido seleccionados para competir a nivel nacional con la selección regional (23 chicos, edad=14,41±0,85; 26 chicas, edad=14,47±1,17).

La tabla 1 muestra la media y la desviación estándar (DE) de las variables analizadas, dividiendo la muestra en jugadores que fueron seleccionados para formar parte del equipo regional y competir en el campeonato nacional y los que no fueron seleccionados. La influencia de las variables cineantropométricas y de rendimiento físico en las posibilidades de ser seleccionado también se encuentra en la Tabla 1. Se observó que valores más bajos en los  $\Sigma 6$  y  $\Sigma 8$  pliegues cutáneos aumentaban la posibilidad de ser seleccionado en un 4,9-5,1% en el presente modelo ( $p=0,023-0,027$ ); y valores más altos en las variables talla, envergadura, talla sentado, longitud del miembro superior y diámetro biacromial aumentaban la posibilidad de ser seleccionado en un 4,6-8,7% de los casos ( $p < 0,001-0,032$ ). En cuanto a las variables de rendimiento físico, una mayor distancia en salto de longitud y lanzamiento de balón medicinal, una mayor talla de salto en CMJ y un menor tiempo tanto en sprint como en agilidad aumentaron la posibilidad de ser seleccionado en un 5,4-13,7% ( $p < 0,001-0,007$ ). Por otro lado, mayores valores en edad cronológica y desfase madurativo también aumentaron las posibilidades de ser seleccionado en un 4,7-4,9% ( $p=0,027-0,030$ ), mientras que el cuartil de nacimiento no mostró influencia ( $p=0,027-0,030$ ).

Tabla 1. Odds ratio de ser seleccionado para la competición nacional en relación con las variables cineantropométricas y de condición física.

General	Seleccionados (n=49; 49.0%)	No seleccionados (n=51; 51.0%)	R <sup>2</sup>	OR	p
Edad	14,44±1,03	13,97±1,07	0,049	-0,221	0,027
Cuartil de nacimiento	3,76±2,19	4,10±1,75	0,008	0,087	0,387
Desfase madurativo	1,56±1,04	1,05±1,25	0,047	-0,217	0,030
EPVC	12,88±0,73	12,92±0,94	0,001	0,021	0,833
Masa corporal	60,06±8,76	60,39±14,27	0,001	0,014	0,891
Talla	169,24±8,58	164,15±8,11	0,087	-0,294	0,003
Envergadura	170,70±9,67	165,46±9,87	0,068	-0,261	0,009
Talla sentado	87,56±3,70	85,57±4,25	0,060	-0,245	0,014
L. miembro superior	76,06±4,35	73,81±4,40	0,063	-0,251	0,012
D. biacromial	36,80±2,10	35,75±2,66	0,046	-0,215	0,032
D. biileocrestal	26,34±1,59	26,10±2,08	0,004	-0,065	0,521
D. fémur	9,48±0,60	9,49±0,66	0,001	0,014	0,890
D. húmero	6,62±0,44	6,54±0,48	0,007	-0,086	0,395
D. biestiloideo	5,15±0,35	5,07±0,36	0,010	-0,101	0,319
Pr. corregido brazo	21,94±2,31	21,94±3,09	0,001	-0,001	0,990
Pr. corregido muslo	43,07±3,22	43,71±5,25	0,005	0,074	0,466
Pr. corregido pierna	30,31±2,35	30,58±2,93	0,003	0,051	0,616
∑6 pliegues cutáneos	71,38±25,06	85,03±34,64	0,049	0,222	0,027
∑8 pliegues cutáneos	89,35±31,72	107,58±45,82	0,051	0,227	0,023
Masa grasa (%)	20,02±7,11	22,25±7,43	0,023	0,153	0,128
Masa muscular (%)	34,87±4,49	34,68±4,30	0,001	-0,022	0,831
Masa ósea (%)	17,35±2,22	16,67±2,51	0,020	-0,143	0,157
Sit & Reach	5,54±6,96	2,55±9,47	0,032	-0,178	0,076
Back scratch	2,98±6,32	3,08±6,71	0,001	0,008	0,939
Salto de longitud	1,91±0,25	1,74±0,41	0,054	-0,233	0,020
Lanzamiento de balón medicinal	6,16±1,12	5,21±1,28	0,137	-0,370	<0,001

---

CMJ	28,93±5,56	25,70±5,44	0,081	-0,284	0,004
Sprint (20m)	3,94±0,31	4,03±0,27	0,023	0,152	0,131
Agilidad	8,88±0,68	9,28±0,62	0,087	0,295	0,003

---

D.: diámetro; Pr.: perímetro; L.: longitud.

Las tablas 2 y 3 muestran los estadísticos descriptivos y los odds ratios para la muestra dividida en chicos y chicas, respectivamente. En el caso de la población masculina, las variables cineantropométricas talla, talla sentado, longitud del miembro superior,  $\Sigma 6$  y  $\Sigma 8$  pliegues cutáneos y porcentaje de masa adiposa explicaron el 8,40-23,4% de las probabilidades de ser seleccionado ( $p < 0,001-0,046$ ), mientras que las pruebas de condición física, como el lanzamiento de balón medicinal, CMJ, Sprint y Agilidad explicaron el 9,2-13,3% de las probabilidades ( $p = 0,011-0,016$ ); el desfase madurativo explicó el 8,6% de las probabilidades de ser seleccionado (Tabla 2). En el caso de las chicas, sólo las variables de condición física salto de longitud, CMJ y lanzamiento de balón medicinal mostraron influencia en la posibilidad de ser seleccionadas en el 8,3-21,2% de los casos ( $p = 0,001-0,038$ ) (Tabla 3).

Tabla 2. Odds ratio de ser seleccionado para la competición nacional en relación con las variables cineantropométricas y de condición física en el grupo masculino.

Male	Seleccionados (n=23; 47.9%)	No seleccionados (n=25; 52.1%)	R <sup>2</sup>	OR	p
Edad	14,41±0,86	13,96±1,10	0,049	-0,222	0,130
Cuartil de nacimiento	4,17±2,34	4,28±1,96	0,001	0,025	0,866
Desfase madurativo	0,92±0,86	0,30±1,15	0,086	-0,294	0,043
EPVC	13,48±0,44	13,66±0,66	0,025	0,159	0,281
Masa corporal	62,23±9,71	62,85±16,04	0,001	0,023	0,874
Talla	175,31±7,09	166,48±9,03	0,234	-0,484	<0,001
Envergadura	177,56±8,03	169,35±10,54	0,165	-0,406	0,004
Talla sentado	89,51±3,75	85,83±4,96	0,152	0,390	0,006
L. miembro superior	79,25±3,37	75,75±4,48	0,167	-0,409	0,004
D. biacromial	37,99±1,80	36,48±3,17	0,080	-0,284	0,051
D. biileocrestal	26,42±1,66	25,80±2,45	0,022	-0,149	0,312
D. fémur	9,85±0,59	9,90±0,53	0,003	0,051	0,730
D. húmero	6,94±0,37	6,79±0,43	0,034	-0,184	0,210
D. biestiloideo	5,36±0,35	5,29±0,34	0,012	-0,110	0,456
Pr. corregido brazo	22,79±2,50	23,20±3,20	0,005	0,073	0,623
Pr. corregido muslo	43,92±3,50	44,98±5,25	0,014	0,119	0,422
Pr. corregido pierna	31,65±2,44	31,88±2,18	0,003	0,050	0,734
∑6 pliegues cutáneos	55,35±23,07	77,05±39,99	0,101	0,318	0,028
∑8 pliegues cutáneos	69,87±29,75	97,91±51,73	0,101	0,318	0,028
Masa grasa (%)	14,57±6,06	18,87±8,21	0,084	0,290	0,046
Masa muscular (%)	38,71±2,95	38,37±2,26	0,004	-0,066	0,654
Masa ósea (%)	18,65±2,12	17,43±2,68	0,061	-0,248	0,090
Sit & Reach	3,26±5,36	-1,19±10,39	0,069	-0,262	0,072
Back scratch	1,80±7,32	1,42±7,40	0,001	-0,027	0,857
Salto de longitud	2,08±0,23	1,88±0,50	0,065	-0,255	0,080
Lanzamiento de balón medicinal	6,66±1,28	5,62±1,40	0,133	-0,365	0,011

---

CMJ	31,77±6,15	27,52±5,58	0,120	-0,347	0,016
Sprint (20m)	3,75±0,25	3,91±0,27	0,092	0,303	0,011
Agilidad	8,75±0,65	9,27±0,70	0,133	0,365	0,011

---

D.: diámetro; Pr.: perímetro; L.: longitud.

Tabla 3. Odds ratio de ser seleccionado para la competición nacional en relación con las variables cineantropométricas y de condición física en el grupo femenino.

Female	Seleccionadas (n=26; 50.0%)	No seleccionadas (n=26; 50.0%)	R <sup>2</sup>	OR	p
Edad	14,47±1,18	13,98±1,07	0,048	-0,220	0,118
Cuartil de nacimiento	3,38±2,00	3,92±1,52	0,023	0,153	0,280
Desfase madurativo	2,13±0,84	1,78±0,84	0,043	-0,207	0,141
EPVC	12,35±0,48	12,20±0,53	0,021	-0,147	0,300
Masa corporal	58,15±7,50	58,03±12,18	0,001	-0,006	0,967
Talla	163,87±5,75	161,92±6,53	0,026	-0,160	0,257
Envergadura	164,63±6,41	161,73±7,66	0,042	-0,205	0,145
Talla sentado	85,84±2,70	85,31±3,52	0,007	-0,086	0,546
L. miembro superior	73,23±2,94	71,94±3,48	0,040	-0,200	0,155
D. biacromial	35,75±1,79	35,06±1,86	0,036	-0,190	0,177
D. biileocrestal	26,27±1,56	26,39±1,64	0,002	0,039	0,782
D. fémur	9,15±0,39	9,10±0,53	0,003	-0,053	0,708
D. húmero	6,33±0,28	6,30±0,40	0,003	-0,056	0,691
D. biestiloideo	4,95±0,22	4,87±0,25	0,033	-0,182	0,197
Pr. corregido brazo	21,19±1,86	20,72±2,47	0,012	-0,110	0,437
Pr. corregido muslo	42,32±2,80	42,50±5,06	0,001	0,022	0,877
Pr. corregido pierna	29,12±1,48	29,32±3,05	0,002	0,043	0,761
∑6 pliegues cutáneos	85,55±17,10	92,69±27,19	0,025	0,158	0,263
∑8 pliegues cutáneos	106,59±22,23	116,88±38,03	0,028	0,166	0,239
Masa grasa (%)	24,84±3,64	25,50±4,84	0,006	0,078	0,581
Masa muscular (%)	31,48±2,33	31,14±2,33	0,005	-0,073	0,606
Masa ósea (%)	16,19±1,60	15,94±2,12	0,005	-0,069	0,625
Sit & Reach	7,56±7,66	6,14±6,95	0,010	-0,098	0,489
Back scratch	4,03±5,21	4,68±5,66	0,004	0,061	0,665
Salto de longitud	1,75±0,12	1,62±0,23	0,115	-0,339	0,014
Lanzamiento de balón medicinal	5,72±0,74	4,81±1,03	0,212	-0,460	0,001

CMJ	26,42±3,49	23,95±4,77	0,083	-0,288	0,038
Sprint (20m)	4,12±0,24	4,15±0,23	0,005	0,073	0,605
Agilidad	9,00±0,70	9,29±0,55	0,053	0,231	0,099

D.: diámetro; Pr.: perímetro; L.: longitud.

#### 4.5. – Discusión

Uno de los objetivos de la presente investigación fue analizar la probabilidad de ser seleccionado para competir en el campeonato nacional como parte del equipo regional según las características cineantropométricas de los jugadores. Al analizar la muestra en su conjunto, se observó que los jugadores con mayor talla, envergadura, longitud del miembro superior y diámetros biacromiales tenían entre un 4,6 y un 8,7% más de probabilidades de ser seleccionados. Se ha demostrado que la estructura ósea es de gran importancia en el rendimiento deportivo debido a su función estructural y de soporte de los tejidos blandos (Holway & Garavaglia, 2009). Estudios anteriores han indicado que los jugadores de voleibol de élite tienen mayor talla, envergadura, longitud del miembro superior y mayores diámetros con respecto a los jugadores de niveles inferiores (Pocek et al., 2021; Toselli & Campa, 2018), lo cual concuerda con lo observado en la presente investigación. De hecho, se ha observado que los jóvenes deportistas con mayor tamaño corporal pueden ser más propensos a ser seleccionados también en otros deportes, como se ha observado en los adolescentes futbolistas (Dugdale, McRobert, et al., 2021a). Esto podría explicar los resultados encontrados, que indican que aquellos jugadores con valores más altos en las variables estructurales tienen más probabilidades de ser seleccionados para formar parte del equipo regional y competir en el campeonato nacional.

Por el contrario, valores más bajos en los  $\Sigma 6$  y  $\Sigma 8$  pliegues cutáneos explican entre el 4,9-5,1% de las probabilidades de ser seleccionado. En la mayoría de los deportes, un menor contenido adiposo se relaciona con un mejor rendimiento deportivo, siendo de especial importancia en las disciplinas que requieren un desplazamiento activo de la masa corporal, para evitar el peso añadido de la masa grasa (Hamano et al., 2015). Concretamente, al analizar el porcentaje graso de los jugadores de voleibol de élite, se ha observado que tienen un porcentaje graso menor que los jugadores de menor nivel (Malousaris et al., 2008; Toselli & Campa, 2018). Esta podría ser la razón por la que los resultados de este estudio muestran una mayor probabilidad de ser seleccionados para aquellos jugadores con valores más bajos en estas variables.

Por otro lado, en deportes que requieren la aplicación de fuerza y potencia muscular como el voleibol, las variables relacionadas con la masa muscular podrían ser claves en el rendimiento (Tsoukos et al., 2019b). Se ha observado que



estos jugadores de alto nivel suelen tener valores más altos en las variables relacionadas con la masa muscular (Toselli & Campa, 2018). Sin embargo, esto contrasta con lo observado en la presente investigación, ya que ninguna de las variables relacionadas con la masa muscular mostró una relevancia significativa en cuanto a las probabilidades de ser seleccionado. Esto podría deberse a que, debido a las características del voleibol, específicamente la altura de la red, la capacidad de aplicar la potencia puede ser más determinante para el rendimiento junto con las variables óseas estructurales y las habilidades motoras de los jugadores (Grgantov et al., 2006; Tsoukos et al., 2019a, 2019b). Por otro lado, la aplicación de fuerza y potencia no solo depende de la masa muscular, sino también de otros factores neurales y de coordinación (Moritani & deVries, 1979), lo que podría explicar la ausencia de diferencias en este estudio.

También se observó que los jugadores de mayor edad cronológica y mayor desfase madurativo estimado tenían mayor probabilidad de ser seleccionados (4,7-4,9%). Estos resultados son coherentes con estudios anteriores, que han observado un predominio de jugadores de mayor edad y con un proceso de maduración más avanzado que son seleccionados para equipos de élite (Torres-Unda et al., 2013). Se ha observado que la maduración biológica y la edad influyen en las variables cineantropométricas y de condición física, mostrando los jugadores más maduros valores más altos en las variables óseas y musculares, así como mejores resultados en las pruebas de condición física (Albaladejo-Saura et al., 2022a; Albaladejo-Saura et al., 2021). Este hecho podría suponer una ventaja competitiva a corto plazo para aquellos jugadores cuyo proceso de maduración esté más avanzado o sean mayores que el resto de jugadores de su categoría, por lo que tendrían más posibilidades de ser seleccionados. Sin embargo, esto puede no traducirse en una ventaja competitiva a largo plazo una vez que el proceso de maduración entre los jugadores se iguale (Dugdale, McRobert, et al., 2021b; Dugdale, Sanders, et al., 2021). Por lo tanto, es importante que los clubes y las selecciones nacionales tengan en cuenta a la hora de seleccionar a los participantes en este tipo de competiciones y programas de tecnificación si buscan un rendimiento inmediato o a largo plazo, ya que es probable que la estrategia de selección de jugadores deba ser diferente en función de la respuesta a esta pregunta.

Al dividir la muestra por sexo, se observó que los chicos tenían un 8,4-23,4% más de posibilidades de ser seleccionados si tenían valores más altos en las variables óseas y valores más bajos en las variables relacionadas con la adiposidad, mientras que ninguna de las variables cineantropométricas fue relevante para predecir las posibilidades de selección en la muestra de chicas. En el caso de los chicos, estos resultados concuerdan con investigaciones anteriores

en una población similar, donde se observó que aquellos jugadores de voleibol que fueron seleccionados obtuvieron valores más altos en talla y valores más bajos de tejido adiposo subcutáneo (Tsoukos et al., 2019b). En cuanto al hecho de que se haya encontrado una influencia en la probabilidad de ser seleccionado de las variables cineantropométricas en el grupo de los chicos pero no en el de las chicas, esto podría estar relacionado con el estado madurativo en el momento del estudio, ya que chicos y chicas experimentan diferentes ritmos de maduración durante la adolescencia (Malina & Bouchard, 1991). Más concretamente, mientras que los chicos tienen un pico de crecimiento en torno a los 14 años, estando la muestra incluida en este estudio cerca de esa edad, en el caso de las chicas suele producirse antes de esa edad (Malina & Bouchard, 1991). De hecho, en esta misma línea, mientras que en el caso de los chicos la maduración desfase era una de las variables que explicaba una mayor probabilidad de ser seleccionado (8,6%), no era así en el caso de las chicas. En este sentido, se ha observado que, una vez superado el pico de crecimiento durante la adolescencia, las diferencias provocadas por las distintas tasas de maduración entre individuos tienden a igualarse con el avance de la edad (Dugdale, McRobert, et al., 2021a, 2021b), lo que podría explicar, junto con el hecho de que las chicas hubieran superado el EPVC estimado unos dos años antes, por qué no hubo diferencias en este grupo. No obstante, estos resultados deberían ser contrastados en futuros estudios longitudinales que analicen la evolución de este fenómeno durante todo el periodo de maduración.

Otro de los objetivos de este estudio fue analizar la probabilidad de ser seleccionado en función del rendimiento en las pruebas de rendimiento físico. Se observó que un mejor rendimiento en las pruebas de salto de longitud, lanzamiento de balón medicinal, CMJ, sprint y agilidad se relacionaba con un aumento entre el 3,6-16,9% de las probabilidades de ser seleccionado. El voleibol es un deporte caracterizado por acciones explosivas, incluyendo saltos, aterrizajes, sprints y cambios continuos de dirección, así como la potencia del tren superior puede ser determinante en el rendimiento (Huang et al., 2016; Tsoukos et al., 2019b), siendo por tanto el rendimiento en estas habilidades determinante para el desempeño en el deporte (Torres-Unda et al., 2013). Más concretamente, se ha identificado que la producción de potencia, tanto en el tren superior como en el inferior, es una característica que permite diferenciar a los jugadores de voleibol de distintos niveles de competición (Tsoukos et al., 2019b), lo cual es coherente con lo encontrado en la presente investigación.

Al dividir la muestra entre sexos, se observaron similitudes entre chicos y chicas en cuanto a las variables de condición física que podrían explicar las posibilidades de ser seleccionados, encontrando que los mejores resultados en las

relacionadas con la aplicación de fuerza y potencia, como lanzamiento de balón medicinal, CMJ, sprint y agilidad en los chicos y salto de longitud, lanzamiento de balón medicinal y CMJ en las chicas se relacionaban con una mayor probabilidad de ser seleccionados (8,3-21,2%). En el caso de los chicos, estos datos están en concordancia con lo observado en artículos anteriores realizados en jugadores de voleibol adolescentes, en los que se observó que los jugadores de mayor nivel tenían un mejor rendimiento en las pruebas de lanzamiento de balón medicinal, CMJ y sprint (Tsoukos et al., 2019b). Sin embargo, en el caso de las chicas existen datos contradictorios, ya que mientras algunos estudios afirman que la capacidad de salto es relevante para diferenciar a jugadoras de voleibol de distintos niveles (Lidor & Ziv, 2010), en otros estudios no se ha encontrado ninguna relación que permita afirmar que la producción de potencia sea útil para diferenciar a las jugadoras de voleibol seleccionadas para formar parte de un equipo nacional de las que no lo son (Tsoukos et al., 2019a). Esto podría atribuirse a las diferencias en los protocolos de medición utilizados para evaluar el salto vertical. En el caso de la revisión realizada por Lidor & Ziv (2010), los autores indican que, de los tres artículos analizados, dos de ellos utilizaron un protocolo basado en el salto y el marcaje de la pared, por lo que la longitud del brazo y la talla de los jugadores podrían influir significativamente en el resultado. Por otro lado, Tsoukos et al. (2019a), encontraron que, al analizar el alcance del remate, influenciado por las variables antropométricas, había diferencias entre aquellos jugadores que habían sido seleccionados y los que no, pero al analizar el CMJ no se encontraron diferencias, resultados que están en línea con lo observado en el presente trabajo. Es por ello que las futuras líneas de investigación deberían ir encaminadas a profundizar en las relaciones entre las variables cineantropométricas, las variables de condición física y la probabilidad de ser seleccionado en jugadores de voleibol adolescentes.

Otro objetivo de este estudio fue analizar la probabilidad de ser seleccionado en relación con la edad cronológica, la maduración biológica y el cuartil de nacimiento de los jugadores. Se observó que, al analizar toda la muestra, tanto la edad cronológica como la maduración biológica aumentaban la probabilidad de ser seleccionado para el equipo regional. Investigaciones anteriores han demostrado que los deportistas adolescentes de mayor edad dentro de la misma categoría, o con un proceso madurativo más avanzado, tenían más probabilidades de ser seleccionados (Gil, Zabala-Lili, et al., 2014; Torres-Unda et al., 2013). Esto puede deberse a que las diferencias encontradas a favor de los jugadores más maduros o con mayor edad cronológica en el rendimiento en las pruebas de condición física y los mayores valores en las variables cineantropométricas relacionadas con el rendimiento podrían representar una ventaja competitiva que

les favorezca a la hora de afrontar un proceso de selección (Albaladejo-Saura et al., 2021; Garcia-Gil et al., 2018; Gil, Zabala-Lili, et al., 2014; Torres-Unda et al., 2013). Por otro lado, al dividir la muestra por sexo, se observó que una maduración biológica más avanzada aumentaba las posibilidades de ser seleccionado en el grupo de los chicos. Estudios anteriores han señalado que los diferentes ritmos de maduración biológica podrían ser la base de las diferencias encontradas en las variables cineantropométricas y en el rendimiento físico de los adolescentes voleibolistas masculinos (Albaladejo-Saura et al., 2022a). La edad no mostró influencia en las posibilidades de ser seleccionado, lo que coincide con los resultados de estudios anteriores que no encontraron diferencias en la edad cronológica de los jugadores seleccionados y no seleccionados (Tsoukos et al., 2019b). Esta podría ser la causa de la influencia de una mayor maduración biológica en las posibilidades de ser seleccionado en el subgrupo masculino. Por el contrario, ni la maduración biológica ni la edad cronológica aumentaron las posibilidades de ser seleccionadas en el grupo de las chicas. Se ha observado que las diferencias influidas por la maduración biológica son más notables en torno a la edad a la que se alcanza la EPVC, y que estas diferencias tienden a atenuarse a medida que la maduración avanza y los sujetos se acercan al desarrollo adulto (Dugdale, McRobert, et al., 2021a; Malina & Bouchard, 1991). En el caso de los jugadores del presente estudio, tanto el grupo que fue seleccionado para formar parte del equipo regional como los jugadores que no fueron seleccionados mostraron una maduración desfasada avanzada y alejada de la EPVC, lo que podría estar relacionado con la ausencia de influencia de la maduración biológica en las posibilidades de ser seleccionado. Además, estudios anteriores realizados en población similar no encontraron diferencias en la edad de los grupos de seleccionados y no seleccionados (Tsoukos et al., 2019a), lo que es coherente con la ausencia de influencia de la edad cronológica en las posibilidades de ser seleccionado en el presente estudio en el grupo de chicas. Sin embargo, futuras investigaciones deberían abordar estas cuestiones en diferentes rangos de edad para seguir explorando la relación de la edad y la maduración biológica con las posibilidades de ser seleccionado a lo largo de todas las etapas de formación.

Cabe señalar que el presente estudio no está exento de limitaciones. Las pruebas de condición física están relacionadas con el rendimiento del voleibol, pero no son pruebas que midan directamente el rendimiento del voleibol, ni son pruebas estrictamente relacionadas con este deporte. Además, el método de estimación de la maduración biológica ha sido el uso de fórmulas de regresión basadas en la antropometría, en lugar de utilizar el patrón de oro (métodos radiográficos). Se han identificado algunos problemas potenciales con el método del patrón de oro de los rayos X que deben ser considerados, ya que son

invasivos, costosos y requieren mucho tiempo, y además, exponen a los participantes a una cantidad significativa de radiación (Towlson et al., 2021). Debido a los problemas potenciales del uso de métodos de rayos X, algunos autores han propuesto el uso de métodos alternativos menos invasivos en la población adolescente (Towlson et al., 2021). Entre ellos, quizás el más utilizado ha sido el de Mirward et al. (2002), ya que en una reciente revisión sistemática con meta-análisis, de siete estudios que seleccionaron evaluar la maduración somática a través de ecuaciones cineantropométricas, seis utilizaban esta ecuación para clasificar a los deportistas de diferentes deportes (Albaladejo-Saura et al., 2021). Por otro lado, se trata de un diseño transversal, lo que permite analizar la relación de las variables medidas con las posibilidades de los jugadores de ser seleccionados en un momento determinado, cuando no hay garantía de que los deportistas que destacan en la etapa de la adolescencia sean los que pasen a formar parte de la élite en la edad adulta (Dugdale, McRobert, et al., 2021b; Dugdale, Sanders, et al., 2021).

Todas estas limitaciones hacen que los resultados del presente estudio sólo puedan extrapolarse a poblaciones con características similares. Futuras líneas de investigación deberían incluir muestras más amplias tanto de chicos como de chicas de diferentes categorías de edad, incluir pruebas específicas relacionadas con el rendimiento en voleibol y realizarse con diseños longitudinales, que permitan observar, más que estimar, la maduración biológica, así como las relaciones de las variables cineantropométricas y el rendimiento físico, realizando un seguimiento a lo largo del proceso durante las etapas de entrenamiento hasta llegar a la élite.

#### 4.6. – Conclusiones

En jugadores de voleibol adolescentes, se ha observado que aquellos sujetos que presentan mayor edad y maduración biológica, mayores valores en las variables relacionadas con la estructura ósea, menores valores en las variables relacionadas con la adiposidad y mejor rendimiento en salto, lanzamiento de balón medicinal, sprint y agilidad, tienen más posibilidades de ser seleccionados para formar parte del equipo regional y competir a nivel nacional. Sin embargo, se encontraron diferencias entre chicos y chicas, observándose que un mejor rendimiento en las pruebas de condición física es un indicador de mayor posibilidad de ser seleccionado en ambos sexos, mientras que las variables cineantropométricas y la maduración biológica sólo fueron determinantes en el grupo de chicos. Las aplicaciones prácticas que se derivan de los resultados del presente artículo podrían estar relacionadas con las variables sobre las que los entrenadores deberían prestar atención a la hora de seleccionar jugadores para sus equipos. En este sentido, en el caso de los chicos, los valores más altos en

variables como la maduración biológica, las variables óseas estructurales y las variables de condición física, y los valores más bajos en las variables relacionadas con la adiposidad mejoraron las posibilidades de ser seleccionados, mientras que en el caso de las chicas sólo las variables de condición física mostraron influir positivamente en las posibilidades de ser seleccionadas. Algunas de estas variables, como la maduración biológica o las variables óseas estructurales, son poco modificables con el entrenamiento, pero las otras pueden mejorarse mediante intervenciones específicas, por lo que son las variables que deberían mejorarse con los programas de entrenamiento propuestos.

**Ve – ESTUDIO 5: ¿Qué variables permiten diferenciar a los jugadores de voleibol adolescentes más y menos exitosos?**





## V – ESTUDIO 5

### ¿QUÉ VARIABLES PERMITEN DIFERENCIAR A LOS JUGADORES DE VOLEIBOL ADOLESCENTES MÁS Y MENOS EXITOSOS?

#### 5.1. –Resumen

Las variables cineantropométricas y de condición física han sido utilizadas para la detección del talento deportivo en poblaciones adolescentes, siendo seleccionados para su promoción aquellos jugadores que destacaban sobre sus compañeros en estas variables, sin tener en cuenta el posible efecto del proceso madurativo. El objetivo del presente artículo fue analizar las diferencias entre los jugadores de voleibol adolescentes en cuanto a la valoración del éxito y la categoría de edad, así como identificar las variables que pueden predecir el éxito en el voleibol. Participaron en el estudio 101 jugadores de voleibol de la categoría de edad Sub14 (28 chicos y 73 chicas; edad=13,28±0,49) y 99 jugadores de la categoría de edad Sub16 (20 chicos y 79 chicas; edad=15,24±0,59). Se observaron diferencias significativas en la maduración biológica en los grupos masculinos ( $p<0,001-0,041$ ), en las variables cineantropométricas relacionadas con la estructura ósea y la masa muscular en los grupos masculinos ( $p<0,001-0,048$ ), en las variables relacionadas con el tejido adiposo en el grupo femenino sub16 ( $p=0,012-0,032$ ) y en las pruebas de condición física relacionadas con la fuerza y la potencia muscular ( $p<0,001-0,049$ ) encontrando que las jugadoras con mejor rendimiento (MR) mostraron un proceso de maduración biológica más avanzado, valores más altos en las variables cineantropométricas relacionadas con el hueso y el músculo y valores más bajos en las variables relacionadas con el tejido adiposo, y un mejor rendimiento en las pruebas de rendimiento físico. Las diferencias en la maduración biológica y su relación con las variables antropométricas estructurales y musculares en los chicos, y las pruebas de condición física relacionadas con la fuerza y la potencia muscular tanto en chicos como en chicas son de gran importancia en el proceso de selección de talentos deportivos en voleibol. Esto debería ser tenido en cuenta por los clubes y entrenadores, que podrían estar descartando a jugadores que podrían mejorar su rendimiento deportivo en etapas posteriores cuando el desarrollo madurativo se iguale.

## 5.2. – Introducción

El objetivo principal de los programas de identificación de talentos deportivos se basa en la selección temprana de jugadores con potencial para alcanzar el éxito como profesionales en su disciplina deportiva (Larkin & O'Connor, 2017), por lo que este tema que ha atraído el interés de la comunidad científica en los últimos años. Estos programas de identificación de talentos deportivos han incluido tradicionalmente variables cineantropométricas, así como variables relacionadas con el rendimiento físico (Albaladejo-Saura et al., 2021). Siguiendo estas caracterizaciones, muchos programas de identificación de talentos han basado su selección en la talla y el físico, dividiendo a los deportistas por grupos de edad, pero sin tener en cuenta el estado madurativo.

El proceso de maduración ocurre a diferentes ritmos entre los individuos, con un rango para el inicio de la maduración de 9 a 15,8 años de edad (Malina & Bouchard, 1991). Como consecuencia de los cambios hormonales provocados por el proceso de maduración, tanto en la población masculina como en la femenina, y su influencia en la forma y composición corporal, se ha observado que los maduradores tempranos muestran valores más altos en las variables de cineantropometría y de condición física (Albaladejo-Saura et al., 2021). Dado que estas variables son utilizadas habitualmente en la identificación de talentos deportivos, junto con las habilidades técnico-tácticas, los diferentes ritmos en el desarrollo madurativo podrían afectar al proceso de selección de talentos deportivos. La identificación de talentos podría priorizar la selección de sujetos cuyo proceso de maduración está más avanzado por tener una ventaja competitiva sobre sus compañeros (Rubajczyk & Rokita, 2020), sin tener en cuenta que a medida que el proceso de maduración continúa, estas características podrían igualarse, y los modelos tradicionales son propensos a excluir a los deportistas cuyo proceso de maduración es más tardío (Vaeyens et al., 2008). No es de extrañar que investigaciones anteriores hayan concluido que el reclutamiento precoz no garantiza el éxito deportivo, y que es posible que hasta después de los 14 años los jugadores más exitosos no destaquen sobre sus compañeros en términos de capacidades físicas (Dugdale, Sanders, et al., 2021). Como consecuencia de lo anterior, recientemente se ha incluido la maduración biológica en las investigaciones y programas de detección de talentos deportivos, cuando los deportistas se encuentran en la etapa de crecimiento (Albaladejo-Saura et al., 2021).

Además, hay que tener en cuenta que las variables cineantropométricas y de condición física que más pueden influir en el rendimiento deportivo pueden depender de los requerimientos específicos de los diferentes deportes (Carter, 1982). En este sentido, el voleibol se caracteriza por acciones explosivas, lo que

hace que la condición física tenga una gran importancia en el rendimiento (Huang et al., 2016). Debido a las reglas de este deporte, la talla, la envergadura de los brazos y la longitud de las piernas diferencian a los jugadores de alto nivel (Zhao et al., 2019) de los demás, junto con capacidades físicas específicas como el salto vertical y la coordinación en las pruebas de agilidad (Rubajczyk & Rokita, 2020), todo ello influenciado por la maduración (Albaladejo-Saura et al., 2021). Esto significa que durante las edades de crecimiento, los equipos o el cuerpo técnico que buscan un rendimiento inmediato pueden tener una mayor valoración y ofrecer más oportunidades a aquellos deportistas que son maduradores tempranos, para desarrollarse en el deporte, ya que tienen ventajas competitivas sobre sus compañeros, como se encuentra en otros deportes, como el fútbol o los deportes de combate (Dugdale, McRobert, et al., 2021a).

A pesar de todo lo anterior, no se han encontrado estudios que analicen este fenómeno en la población adolescente de jugadores de voleibol. Por lo tanto, el objetivo de este artículo fue analizar las diferencias entre los jugadores de voleibol adolescentes con diferentes niveles de rendimiento en las categorías sub14 y sub16, así como identificar las variables que mejor podrían predecir el éxito en ambos grupos de edad.

### 5.3. – Material y métodos.

#### 5.3.1. Participantes

Los cálculos del tamaño de la muestra se realizaron con el software Rstudio (versión 3.15.0, Rstudio Inc., Boston, MA, USA). El nivel de significación se fijó en  $\alpha=0,05$ . La desviación estándar (DE) se fijó basándose en el desfase madurativo de estudios anteriores (DE=0,26) (14). Con un error estimado (d) de 0,052 años de desfase madurativo, la muestra estimada necesaria fue de 99 sujetos por grupo. Un total de 101 jugadores sub14 (28 chicos y 73 chicas; edad=13,28±0,49) y 99 jugadores sub16 (20 chicos y 79 chicas; edad=15,24±0,59) de la 1ª División Regional de voleibol de Murcia, España, formaron parte del estudio. La clasificación de los participantes en dos grupos de edad se debe a los rangos de edad establecidos por la Federación de Voleibol competente para las competiciones oficiales.

#### 5.3.2. Participantes

Antes de iniciar el estudio, se informó a los entrenadores, padres y jugadores sobre los procedimientos de medición y se firmó un consentimiento informado

para los padres o tutores legales de los participantes. Los criterios de inclusión fueron: a) entrenamiento regular de voleibol, al menos dos días por semana; b) participación en competiciones federadas; c) edad entre 12 y 15 años; d) haber jugado al voleibol durante al menos dos temporadas consecutivas en el momento de la medición. Los participantes fueron excluidos si: a) sufrían una lesión que les impidiera completar las pruebas; y b) habían faltado a más del 25% de las sesiones de entrenamiento en los últimos tres meses.

### 5.3.3. Medidas

Se pidió a los entrenadores que rellenaran un cuestionario sobre el papel y la importancia de cada uno de los jugadores de su equipo. Tenían que clasificar a los jugadores como "Jugadores principales del equipo", "Otros jugadores importantes" y "Jugadores que rara vez entran en juego" (Katić et al., 2006). Esta clasificación, junto con la posición del equipo en la liga, se utilizó para categorizar a los participantes en grupos de mejor rendimiento (MR) o peor rendimiento (PR) siguiendo los métodos de Katić et al. (2006).

### 5.3.4. Evaluación cineantropométrica y de la maduración biológica

Cuatro medidas básicas (masa corporal, talla, talla sentado y envergadura); ocho pliegues cutáneos (tríceps, subescapular, bíceps, cresta ilíaca, supraespinal, abdominal, muslo y pierna); seis perímetros (brazo relajado, brazo flexionado y contraído, cintura, cadera, muslo medio y pierna); cinco diámetros (biacromial, biiliocristal, húmero, fémur y biestiloideo); tres longitudes (acromiale-radiale, radiale-stylion y stylion-medio dactylion); y una altura (iliospinale) se midieron siguiendo las directrices de la International Society for the Advancement in Kinanthropometry (ISAK) (Esparza-Ros et al., 2019). Todas las mediciones fueron realizadas por antropometristas de nivel 2 y 3 acreditados por la ISAK. Se calculó el error técnico de medida (ETM) intra e interevaluador en una submuestra. El ETM intraevaluador fue del 0,06% para las mediciones básicas de longitudes, tallas y perímetros; y del 1,12% para los pliegues cutáneos; y el ETM interevaluador fue del 0,04% para las mediciones básicas de longitudes, tallas y perímetros; y del 2,95% para los pliegues cutáneos.

Para la evaluación cineantropométrica se utilizó el siguiente material: Una báscula SECA 862 (SECA, Alemania) con una precisión de 100 g para medir la masa corporal; un tallímetro SECA (SECA, Alemania) con una precisión de 0,1 cm para medir la talla y la talla sentado; un medidor de envergadura (Smartmet,

México) con una precisión de 0,1 cm para medir la envergadura; un plicómetro (Harpenden, Reino Unido) con una precisión de 0.2 mm para medir los pliegues cutáneos; una cinta métrica inextensible (Lufkin, EE.UU.) con una precisión de 0,1 cm para medir los perímetros; un segmómetro (CESCORF, Brasil) con una precisión de 0,1 cm para medir las alturas y las longitudes; un antropómetro (Realmet, España) y un paquímetro (Holtain, Reino Unido) con una precisión de 0,1 cm para medir los diámetros. Todas las mediciones se realizaron dos veces. Cuando la diferencia entre la primera y la segunda medición era superior al 5% para los pliegues, o al 1% para las demás mediciones, se tomaba una tercera medición. El valor final utilizado para el análisis fue la media entre las mediciones en el caso de dos intentos, y la mediana en el caso de tres mediciones. Los valores finales de las mediciones cineantropométricas se utilizaron para calcular las variables de índice de masa corporal (IMC), masa grasa (Slaughter et al., 1988), masa muscular (Poortmans et al., 2005), masa ósea (Matiegka, 1921), somatotipo (Carter & Heath, 1990),  $\Sigma 6$  pliegues cutáneos (tríceps, subescapular, supraespinal, abdominal, muslo y pierna),  $\Sigma 8$  pliegues cutáneos (tríceps, subescapular, bíceps, cresta ilíaca, supraespinal, abdominal, muslo y pierna), índice córico [(talla sentado/talla)\*100], envergadura relativa [(envergadura/talla)\*100], longitud del miembro superior [longitud acromiale-radiale + longitud radiale-styilion + longitud styilion-medio dactylion], los perímetros corregidos del brazo [perímetro relajada del brazo - ( $\pi$ \* pliegue cutáneo del tríceps)], del muslo [perímetro del muslo medio - ( $\pi$ \* pliegue cutáneo del muslo)] y de la pierna [perímetro de la pierna - ( $\pi$ \* pliegue cutáneo de la pierna)], el índice musculoesquelético [masa muscular / masa ósea] y la relación cintura-cadera (perímetro de la cintura / perímetro de las caderas).

El desfase madurativo se calculó de acuerdo con los procedimientos descritos por Mirwald et al. (2002), utilizando la fórmula específica del sexo. El resultado se utilizó para calcular la edad a la que se alcanza el pico de velocidad de crecimiento (EPVC) para cada sujeto utilizando la siguiente fórmula EPVC= edad cronológica - resultado del desfase madurativo.

### 5.3.5. Evaluación de la condición física

Las pruebas se realizaron en el siguiente orden: test de sit-and-reach, test de back scratch, salto de longitud, lanzamiento de balón medicinal, salto con contramovimiento (CMJ), sprint de 20 metros y prueba de agilidad (9-3-6-3-9). La selección de la prueba y la evaluación se realizó según protocolos previamente descritos (Albaladejo-Saura et al., 2022c). Dos investigadores con experiencia previa en la evaluación de las pruebas de condición física supervisaron la

familiarización y la evaluación de estas pruebas, siendo el mismo investigador el responsable de cada prueba durante todas las mediciones, con el fin de evitar el error interevaluador en las evaluaciones. Se realizaron dos intentos para cada prueba, con un descanso de dos minutos entre ellos, y siendo el valor final la media de los dos ensayos.

La prueba de sit-and-reach se realizó con el Acuflex Tester III (Novel Products, EE.UU.); la prueba de back scratch con una regla milimétrica (GIMA, Italia); las pruebas de salto de longitud y lanzamiento de balón medicinal con una cinta métrica (HaeSt, Alemania) con una precisión de 0,1 cm; el CMJ con una plataforma de fuerza (MuscleLab, Noruega); la prueba de sprint (20 m) con MySprint (Apple Inc, USA)(Romero-Franco et al., 2017); el test de agilidad (9-3-6-3-9) con cinco fotocélulas (Microgate, Italy).

#### **5.3.6. Diseño**

Los procedimientos del presente estudio siguieron un diseño transversal, de acuerdo con las directrices de STROBE (Vandenbroucke et al., 2014). El comité de ética institucional revisó y autorizó el protocolo diseñado para la recogida de datos de acuerdo con el Código de la Asociación Médica Mundial (número de código: CE061921). Durante todo el proceso se siguieron las afirmaciones de la Declaración de Helsinki. Las mediciones se realizaron en la sala de entrenamiento habitual. Se instruyó a los participantes para que evitaran el ejercicio físico extenuante y la ingesta de alimentos pesados 24 horas antes de las mediciones. En primer lugar, se realizó una evaluación antropométrica, seguida de las pruebas de condición física. Antes del calentamiento, se realizaron las pruebas de flexibilidad. A continuación, se realizó un calentamiento estandarizado, consistente en 10 minutos de carrera continua, seguido de movilidad articular y familiarización con las pruebas de condición física. Después se realizaron las pruebas de salto de longitud, lanzamiento de balón medicinal, CMJ, sprint y agilidad, en ese orden. El orden de las pruebas se seleccionó según las recomendaciones de la National Strength and Conditioning Association (NSCA), en función de la fatiga generada por las diferentes pruebas, así como de las vías metabólicas requeridas por cada una de ellas (Coburn & Malek, 2014).

Se pidió a los entrenadores que rellenaran un cuestionario sobre la importancia del jugador en el equipo.

#### **5.3.7. Análisis estadístico**

Se realizó un análisis descriptivo de la muestra, incluyendo la media y la desviación estándar. Se calculó la distribución (prueba de Kolmogorov-Smirnov), la curtosis y la asimetría de las variables. Se utilizó la prueba de Levene para evaluar la homogeneidad de las variables. Se realizó una prueba MANOVA dividiendo la muestra por sexo y categoría de edad. El tamaño del efecto se calculó con la eta cuadrada parcial ( $\eta^2_p$ ). El nivel de significación se fijó a priori en  $p < 0,05$ . Todos los análisis estadísticos se realizaron con el programa informático SPSS v.23 (IBM, Endicott, NY, EE.UU.).

#### 5.4. – Resultados

Las estadísticas descriptivas y las diferencias entre los jugadores MR y PR se muestran en las tablas 1 y 2 para los jugadores masculinos Sub14 y Sub16, respectivamente; y en las tablas 3 y 4 para las jugadoras Sub14 y Sub16, respectivamente.

Tabla 1. Análisis descriptivo y comparación entre los jugadores masculinos Sub14 de MR y PR

Variable	Grupo		Diferencia de medias $\pm$ SD	ANOVA		
	MR (n=9) Media $\pm$ DE	PR (n=14) Media $\pm$ DE		p	Min a Max	$\eta^2_p$
Desfase madurativo (años)	0.62 $\pm$ 0.32	-0.47 $\pm$ 0.52	1.09 $\pm$ 0.25	<0.001	0.58 a 1.60	0.482
EPVC (años)	13.02 $\pm$ 0.35	13.65 $\pm$ 0.38	-0.63 $\pm$ 0.19	0.003	-1.03 a -0.24	0.344
Masa corporal (Kg)	61.96 $\pm$ 10.12	55.96 $\pm$ 9.67	6.00 $\pm$ 4.93	0.237	-4.25 a 16.26	0.066
Talla (cm)	175.58 $\pm$ 8.02	163.96 $\pm$ 7.12	11.62 $\pm$ 3.69	0.005	3.95 a 19.29	0.321
Envergadura (cm)	177.46 $\pm$ 8.96	167.06 $\pm$ 8.48	10.40 $\pm$ 4.33	0.026	1.39 a 19.41	0.215
Talla sentado (cm)	90.31 $\pm$ 2.12	83.31 $\pm$ 2.76	7.00 $\pm$ 1.34	<0.001	4.21 a 9.79	0.565
L. miembro superior (cm)	78.53 $\pm$ 3.75	74.68 $\pm$ 3.93	3.85 $\pm$ 1.97	0.064	-0.24 a 7.94	0.154
D. biacromial (cm)	37.64 $\pm$ 2.02	35.42 $\pm$ 1.76	2.22 $\pm$ 0.92	0.025	0.31 a 4.12	0.218
D. biileocrestal (cm)	26.17 $\pm$ 1.94	25.08 $\pm$ 1.80	1.09 $\pm$ 0.92	0.250	-0.83 a 3.01	0.062
D. fémur (cm)	10.03 $\pm$ 0.69	9.72 $\pm$ 0.46	0.31 $\pm$ 0.26	0.254	-0.24 a 0.85	0.061
D. húmero (cm)	7.02 $\pm$ 0.48	6.65 $\pm$ 0.29	0.37 $\pm$ 0.17	0.041	0.02 a 0.72	0.184
D. biestiloideo (cm)	5.54 $\pm$ 0.40	5.14 $\pm$ 0.33	0.40 $\pm$ 0.18	0.032	0.04 a 0.77	0.200
Pr. corregido brazo (cm)	22.44 $\pm$ 3.10	21.77 $\pm$ 1.98	0.67 $\pm$ 1.13	0.560	-1.68 a 3.03	0.016
Pr. corregido muslo (cm)	43.01 $\pm$ 3.57	42.64 $\pm$ 3.53	0.38 $\pm$ 1.79	0.836	-3.34 a 4.09	0.002
Pr. corregido pierna (cm)	31.29 $\pm$ 2.23	30.43 $\pm$ 1.75	0.86 $\pm$ 0.94	0.370	-1.09 a 2.80	0.038
Endomorfia	2.23 $\pm$ 1.19	2.92 $\pm$ 1.68	-0.69 $\pm$ 0.81	0.401	-2.37 a 0.99	0.034
Mesomorfia	3.88 $\pm$ 1.72	4.71 $\pm$ 1.30	-0.83 $\pm$ 0.70	0.250	-2.29 a 0.63	0.063
Ectomorfia	4.10 $\pm$ 2.23	3.05 $\pm$ 1.60	1.05 $\pm$ 0.88	0.246	-0.78 a 2.88	0.063
$\Sigma$ 6 pliegues cutáneos (mm)	58.64 $\pm$ 27.62	69.90 $\pm$ 32.27	-11.26 $\pm$ 15.89	0.486	-44.31 a 21.79	0.023
$\Sigma$ 8 pliegues cutáneos (mm)	73.74 $\pm$ 35.43	88.64 $\pm$ 43.32	-14.90 $\pm$ 21.20	0.490	-58.99 a 29.18	0.023



Masa grasa (%)	15.40±6.19	18.04±7.45	-2.64±3.65	0.478	-10.24 a 4.95	0.024
Masa muscular (%)	37.53±2.26	38.28±2.50	-0.75±1.24	0.550	-3.34 a 1.83	0.017
Masa ósea (%)	19.49±2.70	18.22±2.56	1.27±1.31	0.345	-1.46 a 3.99	0.043
Masa grasa (Kg)	9.99±5.06	10.65±5.88	-0.66±2.90	0.822	-6.69 a 5.37	0.002
Masa muscular (Kg)	23.15±3.21	21.26±2.80	1.89±1.46	0.208	-1.14 a 4.92	0.074
Masa ósea (Kg)	11.94±1.71	10.01±0.98	1.93±0.59	0.003	0.71 a 3.15	0.341
IMC (Kg/m <sup>2</sup> )	20.20±3.89	20.82±3.47	-0.62±1.80	0.734	-4.36 a 3.12	0.006
Índice musculo-esquelético	1.96±0.32	2.13±0.23	-0.17±0.13	0.197	-0.44 a 0.10	0.078
Sit-and-reach test (cm)	4.70±6.22	-2.14±9.04	6.84±4.33	0.129	-2.17 a 15.85	0.106
Back scratch test (cm)	0.17±6.49	2.74±7.56	-2.57±3.73	0.498	-10.32 a 5.18	0.022
Salto de longitud (m)	2.10±0.13	1.79±0.17	0.31±0.08	0.001	0.14 a 0.48	0.406
Lanzamiento de balón medicinal (m)	5.99±1.09	5.02±0.81	0.97±0.44	0.039	0.05 a 1.89	0.188
CMJ (cm)	27.85±7.58	26.56±3.53	1.29±2.32	0.585	-3.54 a 6.11	0.014
Potencia CMJ (W)	698.75±119.83	621.49±98.28	77.26±51.94	0.152	-30.74 a 185.27	0.095
20 m sprint (s)	3.80±0.22	3.97±0.26	-0.18±0.13	0.177	-0.44 a 0.09	0.085
Test de agilidad (s)	8.90±0.37	9.44±0.80	-0.54±0.37	0.163	-1.32 a 0.24	0.090

MR: mejor rendimiento; PR: peor rendimiento; D.: diámetro; L.: longitud; Pr.: Perímetro.

Tabla 2. Análisis descriptivo y comparación entre los jugadores masculinos Sub16 de MR y PR.

Variable	Grupo		Diferencia de medias±SD	ANOVA		
	MR (n=16) Media±DE	PR (n=9) Media±DE		p	Min a Max	η <sup>2</sup> p
Desfase madurativo (años)	1.58±0.76	0.99±0.56	0.59±0.29	0.045	-0.01 a 1.19	0.152
EPVC (años)	13.60±0.79	13.68±0.35	-0.09±0.28	0.763	-0.66 a 0.49	0.004
Masa corporal (Kg)	68.58±15.55	65.35±12.21	3.23±6.03	0.597	-9.24 a 15.71	0.012
Talla (cm)	176.08±8.40	171.96±7.12	4.13±3.33	0.227	-2.75 a 11.00	0.063
Envergadura (cm)	177.62±10.03	175.69±9.34	1.93±4.08	0.641	-6.51 a 10.37	0.010
Talla sentado (cm)	91.01±4.52	88.58±2.39	2.44±1.63	0.149	-0.94 a 5.81	0.088
L. miembro superior (cm)	79.36±3.74	78.87±4.03	0.50±1.60	0.759	-2.82 a 3.81	0.004
D. biacromial (cm)	38.87±3.12	37.53±1.59	1.34±1.12	0.243	-0.98 a 3.66	0.059
D. biileocrestal (cm)	26.97±2.19	26.55±2.06	0.43±0.89	0.639	-1.43 a 2.27	0.010
D. fémur (cm)	10.11±0.56	9.69±0.56	0.42±0.23	0.086	-0.07 a 0.90	0.122
D. húmero (cm)	7.08±0.38	6.82±0.42	0.25±0.17	0.138	-0.09 a 0.59	0.093
D. biestiloideo (cm)	5.48±0.27	5.30±0.27	0.18±0.11	0.126	-0.06 a 0.42	0.099
Pr. corregido brazo (cm)	24.34±3.28	23.42±2.73	0.92±1.29	0.483	-1.75 a 3.59	0.022
Pr. corregido muslo (cm)	46.93±4.89	44.59±4.39	2.34±1.97	0.247	-1.73 a 6.41	0.058
Pr. corregido pierna (cm)	33.37±1.99	31.87±2.25	1.50±0.87	0.098	-0.30 a 3.30	0.115
Endomorfia	2.51±1.76	3.08±1.73	-0.57±0.73	0.442	-2.08 a 0.94	0.026
Mesomorfia	4.75±1.16	4.37±1.30	0.39±0.50	0.450	-0.65 a 1.43	0.025
Ecamorfia	4.05±3.65	2.89±1.53	1.16±1.28	0.374	-1.49 a 3.82	0.034
∑6 pliegues cutáneos (mm)	63.98±42.86	69.36±28.99	-5.38±16.09	0.741	-38.66 a 27.90	0.005
∑8 pliegues cutáneos (mm)	80.94±54.05	88.37±37.31	-7.43±20.37	0.719	-49.57 a 34.71	0.006

Masa grasa (%)	15.80±9.21	16.92±5.31	-1.12±3.36	0.742	-8.07 a 5.84	0.005
Masa muscular (%)	39.74±3.00	37.43±1.31	2.31±1.06	0.040	0.12 a 4.50	0.171
Masa ósea (%)	17.89±2.46	17.03±2.17	0.86±0.98	0.392	-1.18 a 2.89	0.032
Masa grasa (Kg)	11.89±10.31	11.61±5.54	0.29±3.73	0.940	-7.42 a 7.99	0.000
Masa muscular (Kg)	27.01±5.07	24.38±4.09	2.63±1.98	0.197	-1.46 a 6.73	0.071
Masa ósea (Kg)	11.95±1.37	10.94±1.19	1.01±0.55	0.076	-0.12 a 2.14	0.130
IMC (Kg/m <sup>2</sup> )	21.96±4.02	22.02±3.37	-0.06±1.59	0.969	-3.35 a 3.22	0.000
Índice musculo-esquelético	2.25±0.27	2.23±0.26	0.03±0.11	0.817	-0.20 a 0.25	0.002
Sit-and-reach test (cm)	1.53±9.65	3.97±4.89	-2.45±3.46	0.487	-9.61 a 4.72	0.021
Back scratch test (cm)	0.45±7.48	2.18±7.55	-1.73±3.13	0.586	-8.20 a 4.74	0.013
Sala de longitud (m)	2.20±0.32	1.88±0.71	0.32±0.21	0.128	-0.10 a 0.75	0.098
Lanzamiena de balón medicinal (m)	7.08±1.52	6.69±0.81	0.38±0.55	0.492	-0.75 a 1.52	0.021
CMJ (cm)	32.37±7.54	31.48±4.55	0.89±2.77	0.751	-4.84 a 6.63	0.004
Potencia CMJ (W)	837.55±180.90	790.99±139.48	46.57±69.86	0.512	-97.94 a 191.08	0.019
20 m sprint (s)	3.75±0.28	3.70±0.18	0.05±0.11	0.631	-0.17 a 0.27	0.010
Test de agilidad (s)	8.81±0.59	8.62±0.53	0.18±0.24	0.453	-0.31 a 0.67	0.025

MR: mejor rendimiento; PR: peor rendimiento; D.: diámetro; L.: longitud; Pr.: Perímetro.

Tabla 3. Análisis descriptivo y comparación entre las jugadoras Sub14 de MR y PR.

Variable	Grupo		Diferencia de medias±SD	ANOVA		
	MR (n=26) Media±DE	PR (n=49) Media±DE		p	Min a Max	$\eta^2p$
Desfase madurativo (años)	1.26±0.62	1.02±0.55	0.25±0.14	0.082	-0.03 a 0.52	0.041
EPVC (años)	11.91±0.50	11.97±0.41	-0.06±0.11	0.593	-0.27 a 0.16	0.004
Masa corporal (Kg)	56.21±10.67	53.39±10.43	2.82±2.55	0.273	-2.27 a 7.90	0.016
Talla (cm)	161.32±6.61	158.91±5.60	2.41±1.45	0.100	-0.47 a 5.30	0.037
Envergadura (cm)	162.17±7.38	159.08±6.66	3.09±1.68	0.070	-0.25 a 6.43	0.044
Talla sentado (cm)	84.12±3.64	83.08±3.60	1.04±0.88	0.239	-0.71 a 2.79	0.019
L. miembro superior (cm)	72.03±3.48	71.32±2.91	0.71±0.76	0.350	-0.80 a 2.22	0.012
D. biacromial (cm)	34.92±2.06	34.34±1.87	0.58±0.47	0.221	-0.36 a 1.52	0.020
D. biileocrestal (cm)	26.25±2.32	25.49±1.94	0.76±0.50	0.135	-0.24 a 1.77	0.030
D. fémur (cm)	9.05±0.46	9.01±0.56	0.04±0.13	0.747	-0.22 a 0.30	0.001
D. húmero (cm)	6.33±0.37	6.23±0.37	0.10±0.09	0.292	-0.08 a 0.28	0.015
D. biestiloideo (cm)	4.90±0.26	4.92±0.27	-0.02±0.06	0.732	-0.15 a 0.11	0.002
Pr. corregido brazo (cm)	20.63±2.30	20.00±2.14	0.63±0.53	0.241	-0.43 a 1.69	0.019
Pr. corregido muslo (cm)	41.95±3.99	40.37±4.82	1.58±1.11	0.157	-0.62 a 3.78	0.027
Pr. corregido pierna (cm)	28.75±2.30	28.00±2.78	0.75±0.64	0.244	-0.52 a 2.02	0.019
Endomorfia	3.95±1.24	4.07±1.56	-0.12±0.35	0.736	-0.83 a 0.59	0.002
Mesomorfia	4.00±0.92	3.96±1.30	0.05±0.29	0.870	-0.53 a 0.62	0.000
Ecamorfia	2.47±1.16	2.60±1.60	-0.12±0.35	0.728	-0.83 a 0.58	0.002
∑6 pliegues cutáneos (mm)	87.56±21.97	88.12±30.88	-0.55±6.83	0.936	-14.17 a 13.06	0.000
∑8 pliegues cutáneos (mm)	110.08±29.10	111.08±39.84	-1.01±8.86	0.910	-18.67 a 16.65	0.000

Masa grasa (%)	24.71±4.51	24.37±6.75	0.34±1.48	0.820	-2.60 a 3.28	0.001
Masa muscular (%)	31.11±2.05	30.47±2.89	0.63±0.64	0.324	-0.64 a 1.91	0.013
Masa ósea (%)	16.27±1.86	16.86±2.43	-0.60±0.55	0.279	-1.69 a 0.49	0.016
Masa grasa (Kg)	14.14±4.61	13.51±6.07	0.64±1.36	0.642	-2.08 a 3.35	0.003
Masa muscular (Kg)	17.47±3.40	16.22±3.29	1.25±0.81	0.125	-0.36 a 2.86	0.032
Masa ósea (Kg)	9.00±1.02	8.80±0.90	0.20±0.23	0.382	-0.26 a 0.66	0.010
IMC (Kg/m <sup>2</sup> )	21.49±3.08	21.06±3.43	0.44±0.81	0.589	-1.17 a 2.04	0.004
Índice musculo-esquelético	1.94±0.27	1.84±0.27	0.10±0.07	0.123	-0.03 a 0.23	0.032
Sit-and-reach test (cm)	6.82±7.14	4.39±7.86	2.42±1.85	0.194	-1.26 a 6.11	0.023
Back scratch test (cm)	4.37±4.13	3.93±5.16	0.44±1.17	0.710	-1.90 a 2.78	0.002
Sala de longitud (m)	1.64±0.16	1.57±0.22	0.08±0.05	0.111	-0.02 a 0.17	0.034
Lanzamiena de balón medicinal (m)	5.18±0.82	4.40±1.02	0.78±0.23	0.001	0.31 a 1.24	0.133
CMJ (cm)	24.33±3.12	22.87±4.40	1.46±0.97	0.139	-0.48 a 3.40	0.030
Potencia CMJ (W)	595.85±91.51	548.66±103.42	47.19±24.14	0.049	-0.92 a 95.31	0.050
20 m sprint (s)	4.18±0.25	4.21±0.36	-0.04±0.08	0.643	-0.20 a 0.12	0.003
Test de agilidad (s)	9.27±0.63	9.22±1.40	0.05±0.29	0.872	-0.53 a 0.63	0.000

MR: mejor rendimiento; PR: peor rendimiento; D.: diámetro; L.: longitud; Pr.: Perímetro.

Tabla 4. Análisis descriptivo y comparación entre las jugadoras Sub16 de MR y PR.

Variable	Grupo		Diferencia de medias±SD	ANOVA		
	MR (n=34) Media±DE	PR (n=43) Media±DE		p	Min a Max	$\eta^2p$
Desfase madurativo (años)	2.51±0.49	2.52±0.55	-0.01±0.12	0.917	-0.25 a 0.23	0.000
EPVC (años)	12.71±0.40	12.73±0.41	-0.03±0.09	0.778	-0.21 a 0.16	0.001
Masa corporal (Kg)	57.62±8.13	59.82±8.49	-2.20±1.91	0.254	-6.01 a 1.61	0.017
Talla (cm)	164.08±5.47	163.53±5.95	0.54±1.32	0.681	-2.08 a 3.17	0.002
Envergadura (cm)	166.14±6.19	163.94±7.59	2.20±1.61	0.175	-1.01 a 5.41	0.024
Talla sentado (cm)	85.96±2.53	85.86±3.61	0.10±0.73	0.887	-1.35 a 1.56	0.000
L. miembro superior (cm)	74.04±3.07	73.37±3.24	0.67±0.73	0.359	-0.78 a 2.12	0.011
D. biacromial (cm)	35.89±1.62	35.44±1.75	0.45±0.39	0.253	-0.33 a 1.22	0.017
D. biileocrestal (cm)	26.81±1.46	26.94±1.47	-0.13±0.34	0.704	-0.80 a 0.54	0.002
D. fémur (cm)	9.01±0.39	9.18±0.54	-0.17±0.11	0.123	-0.39 a 0.05	0.031
D. húmero (cm)	6.20±0.32	6.32±0.37	-0.13±0.08	0.116	-0.29 a 0.03	0.033
D. biestiloideo (cm)	4.92±0.26	4.94±0.27	-0.02±0.06	0.786	-0.14 a 0.11	0.001
Pr. corregido brazo (cm)	21.08±1.71	21.20±1.71	-0.12±0.39	0.767	-0.90 a 0.67	0.001
Pr. corregido muslo (cm)	41.89±3.27	42.41±3.78	-0.53±0.82	0.522	-2.16 a 1.10	0.005
Pr. corregido pierna (cm)	29.67±1.58	30.45±2.76	-0.79±0.53	0.142	-1.85 a 0.27	0.028
Endomorfia	3.49±0.97	4.12±1.17	-0.63±0.25	0.014	-1.13 a -0.13	0.078
Mesomorfia	3.66±0.90	4.21±1.17	-0.55±0.24	0.028	-1.03 a -0.06	0.063
Ecamorfia	2.66±1.25	2.20±1.13	0.46±0.27	0.099	-0.09 a 1.00	0.036
∑6 pliegues cutáneos (mm)	79.46±18.93	91.69±21.84	-12.23±4.73	0.012	-21.65 a -2.80	0.082
∑8 pliegues cutáneos (mm)	98.68±25.55	113.21±31.45	-14.53±6.66	0.032	-27.79 a -1.28	0.060

Masa grasa (%)	23.29±4.54	25.40±5.46	-2.12±1.17	0.073	-4.44 a 0.21	0.042
Masa muscular (%)	31.71±2.06	31.12±1.95	0.59±0.46	0.200	-0.32 a 1.51	0.022
Masa ósea (%)	16.16±1.77	15.70±1.39	0.46±0.36	0.201	-0.25 a 1.18	0.022
Masa grasa (Kg)	13.68±4.20	15.42±4.85	-1.73±1.05	0.103	-3.82 a 0.36	0.035
Masa muscular (Kg)	18.23±2.54	18.61±2.90	-0.38±0.63	0.549	-1.64 a 0.88	0.005
Masa ósea (Kg)	9.21±0.81	9.32±0.99	-0.11±0.21	0.599	-0.53 a 0.31	0.004
IMC (Kg/m <sup>2</sup> )	21.37±2.55	22.34±2.66	-0.97±0.60	0.112	-2.16 a 0.23	0.033
Índice musculo-esquelético	1.98±0.22	2.00±0.20	-0.02±0.05	0.747	-0.11 a 0.08	0.001
Sit-and-reach test (cm)	7.27±8.81	4.85±9.32	2.41±2.09	0.252	-1.75 a 6.58	0.017
Back scratch test (cm)	5.52±6.36	3.74±5.52	1.78±1.36	0.194	-0.92 a 4.47	0.022
Sala de longitud (m)	1.75±0.22	1.61±0.17	0.14±0.05	0.004	0.05 a 0.23	0.108
Lanzamiena de balón medicinal (m)	5.47±0.82	5.23±1.01	0.25±0.21	0.254	-0.18 a 0.67	0.017
CMJ (cm)	27.16±5.00	24.65±3.48	2.51±0.97	0.011	0.59 a 4.44	0.083
Potencia CMJ (W)	647.11±101.08	641.28±95.71	5.84±22.52	0.796	-39.02 a 50.69	0.001
20 m sprint (s)	4.03±0.26	4.23±0.23	-0.21±0.06	<0.001	-0.32 a -0.10	0.159
Test de agilidad (s)	9.18±0.75	9.38±0.96	-0.20±0.20	0.331	-0.60 a 0.20	0.013

MR: mejor rendimiento; PR: peor rendimiento; D.: diámetro; L.: longitud; Pr.: Perímetro.

#### 5.4.1. Maduración biológica

El análisis ANOVA mostró diferencias significativas entre los jugadores MR y PR en el desfase de maduración tanto en los grupos masculinos sub14 como sub16 ( $p < 0,001-0,045$ ), mostrando los jugadores del grupo MR un momento de maduración más avanzado (Tablas 1 y 2). En cuanto a la EPVC, sólo los jugadores masculinos sub14 mostraron diferencias estadísticas ( $p = 0,003$ ), observándose una EPVC más temprana en el grupo de MR (Tabla 1).

Ninguna de las variables relacionadas con la maduración mostró diferencias en los grupos femeninos.

#### 5.4.2. Cineantropometría

Se encontraron diferencias significativas en la población masculina entre los grupos de MR y PR en el grupo de edad sub14 en la talla, la envergadura, la talla sentado, los diámetros biacromial, húmero y biestiloideo y la masa ósea ( $p < 0,001-0,041$ ) (Tabla 1), mostrando los jugadores de MR valores más altos. En el grupo de jugadores sub16, se observaron diferencias significativas en el porcentaje de masa muscular ( $p = 0,040$ ), donde los jugadores de MR obtuvieron un porcentaje mayor (Tabla 2).

En el caso de la población femenina, ninguna de las variables cineantropométricas mostró diferencias significativas entre los grupos MR y PR en el grupo de edad sub14 (Tabla 3). Sin embargo, en el caso del grupo sub16, se observaron diferencias significativas en los componentes endomórfico y mesomórfico del somatotipo ( $p = 0,014-0,28$ ), y en los  $\Sigma 6$  y  $\Sigma 8$  pliegues cutáneos ( $p = 0,012-0,032$ ), observándose valores inferiores en las jugadoras clasificadas como MR (Tabla 4).

#### 5.4.3. Test de condición física

Cuando se analizaron las pruebas de condición física, se encontraron diferencias significativas en el rendimiento en el salto de longitud y el lanzamiento de balón medicinal en el grupo de jugadores sub14 masculinos ( $p = 0,001-0,039$ ) (Tabla 1); en el lanzamiento de balón medicinal y la potencia del CMJ en el grupo de jugadoras sub14 ( $p = 0,001-0,049$ ) (Tabla 3); y en el salto de longitud, el CMJ y el sprint en el grupo de jugadoras sub16 ( $p < 0,001-0,011$ ) (Tabla 4). En todos los casos, las jugadoras y jugadores del grupo MR mostraron un mejor rendimiento que los clasificados como PR. No se encontraron diferencias en



el grupo de jugadores masculinos sub16 en cuanto a las pruebas de condición física.

### **5.5. – Discusión y conclusiones**

Uno de los objetivos del presente estudio fue analizar las diferencias entre los jugadores según su clasificación como MR o PR, tanto en las variables cineantropométricas como en las de condición física. Se observó que en ambos grupos de sexo, los jugadores del grupo MR presentaron valores más favorables para el rendimiento deportivo. En relación con la maduración biológica, se observaron diferencias significativas entre los grupos MR y PR en el desfase de la maduración en los grupos masculinos, pero no en los femeninos. También se encontraron diferencias significativas entre los jugadores de MR y PR en el EPVC en el grupo masculino sub14. En todos los casos MR y mostraron un proceso de maduración más avanzado. El proceso de clasificación de los jugadores en grupos MR o PR depende tanto del criterio del entrenador como del rendimiento del equipo en la competición (Katić et al., 2006). Estos resultados están en consonancia con investigaciones anteriores, que destacaban que los jugadores cuya maduración era más avanzada tenían más probabilidades de ser mejor clasificados y seleccionados para la promoción (Dugdale, McRobert, et al., 2021a; Rubajczyk & Rokita, 2020). Además, se sabe que los niños y las niñas tienen diferentes rangos de edad en torno a la EPVC (Mirwald et al., 2002), lo que podría explicar las diferencias al comparar las dos categorías de edad. Asimismo, se sabe que los niños y las niñas tienen diferentes rangos de edad en torno a la EPVC (Mirwald et al., 2002). En este sentido, se ha observado que en las chicas, la edad en la que se produce la EPVC suele ser entre los 11 y los 14 años, mientras que en el caso de los chicos suele producirse entre los 13 y los 16 años (Malina & Bouchard, 1991). En estudios anteriores se ha observado cómo las diferencias provocadas por los distintos ritmos de maduración son más notables en torno a la EPVC y tienen tendencia a igualarse a medida que los sujetos avanzan hacia el desarrollo adulto (Dugdale, McRobert, et al., 2021b; Figueiredo et al., 2011; Malina & Bouchard, 1991). En el presente estudio, las niñas de ambas categorías de edad habían superado el EPVC, hecho que podría ayudar a explicar la ausencia de diferencias en cuanto a la maduración de las jugadoras de MR y PR.

Cuando se compararon las variables cineantropométricas, se observaron diferencias significativas en las variables estructurales (talla, envergadura, talla sentado, diámetros biacromial, húmero y biestiloideo, masa ósea en los chicos sub14); y el porcentaje de masa muscular en los chicos sub16 entre los jugadores MR y PR a favor del grupo MR. Las diferencias encontradas en las variables musculares y óseas entre los grupos de MR y PR podrían estar asociadas a

diferencias en la maduración biológica entre los grupos (Albaladejo-Saura et al., 2021), ya que los jugadores de MR mostraron un proceso de maduración más avanzado. En este sentido, no hubo diferencias entre los jugadores de MR y PR en las variables relacionadas con la maduración en la población femenina, lo que podría explicar la ausencia de diferencias estadísticas significativas en las variables cineantropométricas musculares y óseas. El desarrollo de la masa muscular parece estar ligado a la maduración biológica, ya que se ha demostrado que el aumento de la masa muscular durante la adolescencia está relacionado con el aumento de la testosterona circulante durante este periodo de tiempo (Handelsman et al., 2018). Del mismo modo, el desarrollo óseo se produce con un marcado aumento en la etapa puberal, influenciado por la hormona del crecimiento (GH), y luego aumenta gradualmente hasta la edad adulta (Ohlsson et al., 1998). Se ha demostrado que la masa muscular tiene una gran importancia en el rendimiento deportivo debido a su relación con la producción de fuerza y potencia (Holway & Garavaglia, 2009). La masa ósea también es un componente clave debido a su papel estructural en el desarrollo muscular (Holway & Garavaglia, 2009). En este sentido, en el caso de un deporte como el voleibol, una mayor talla y envergadura, así como una mayor masa muscular en las piernas, podrían ser factores clave en el rendimiento deportivo (Zhao et al., 2019), ya que podrían suponer una ventaja competitiva debido a las características del juego. De hecho, la envergadura de los brazos podría permitir específicamente diferenciar a los jugadores de alto nivel (Zhao et al., 2019). En cuanto a las variables cineantropométricas, en el caso de los grupos de chicas, sólo se encontraron diferencias significativas en el grupo sub16, en el que se observaron diferencias significativas en la mesomorfia, endomorfia y  $\Sigma 6$  y  $\Sigma 8$  pliegues cutáneos, mostrando las jugadoras del grupo MR valores más bajos. En los deportes que implican movimientos activos, se ha observado que un exceso de tejido adiposo podría penalizar el rendimiento debido al peso añadido resultante (Cabañas & Esparza, 2009; Tanda & Knechtle, 2013). Se afirma que las hormonas sexuales femeninas están estrechamente relacionadas con el tejido adiposo (Sandhu et al., 2005). En este sentido, se ha observado que la cantidad y distribución del tejido adiposo presente en los adolescentes está asociada a la presencia de hormonas sexuales femeninas circulantes, que tienen un pico de concentración después de la etapa puberal (Garnett et al., 2004). Por otro lado, el tejido adiposo ha demostrado ser muy sensible a las intervenciones basadas en el ejercicio físico o la nutrición, estando la mayoría de ellas encaminadas a que los deportistas tengan una cantidad de tejido adiposo adecuada a la disciplina que practican (Albaladejo et al., 2019; Vaquero-Cristóbal et al., 2018). Además, se ha observado que las variables relacionadas con el tejido adiposo podrían ayudar a diferenciar a las

deportistas de élite de las que no lo son, mostrando las deportistas de mayor nivel un menor valor del porcentaje de grasa (Sedano et al., 2009). Todo ello podría ayudar a entender las diferencias encontradas en las jugadoras del grupo sub16. Por lo tanto, los resultados del presente estudio pueden ayudar a identificar las variables cineantropométricas clave a la hora de intentar identificar el futuro rendimiento deportivo de las jugadoras adolescentes.

Al analizar las diferencias de rendimiento en las pruebas de condición física, se observó que ambas MR, mostraron valores significativamente más altos en el salto de longitud (sub14 varones y sub16 mujeres), lanzamiento de balón medicinal (sub14 varones y mujeres), CMJ (sub16 mujeres), potencia CMJ (sub14 mujeres), y sprint (sub16 mujeres). Estos resultados están en consonancia con investigaciones anteriores que afirmaban que la capacidad de producir fuerza y potencia con las extremidades superiores e inferiores podrían ser variables clave en la diferenciación de los jugadores de voleibol de diferentes niveles competitivos (Tsoukos et al., 2019a, 2019b). El rendimiento físico en este tipo de pruebas específicas suele requerir el uso de la fuerza y la potencia muscular, y se ven favorecidas por valores más altos de masa muscular (Fitts et al., 1991). Sin embargo, durante la adolescencia, el aumento de la producción de potencia no siempre se debe a un incremento de la masa muscular, sino que la coordinación inter e intramuscular y las adaptaciones neuromusculares pueden ser factores clave (McQuilliam et al., 2020). De hecho, los aumentos de fuerza en ausencia de ganancias de masa corporal tienen un mayor impacto en los deportes en los que los atletas impulsan su propia masa corporal, por ejemplo el sprint y el salto (McQuilliam et al., 2020), como el voleibol, lo que podría explicar por qué los jugadores de MR mostraron valores más altos en las pruebas dependientes de la fuerza. Este mejor rendimiento en pruebas que requieren una rápida aplicación de fuerza podría ser clave para caracterizar a los jugadores de voleibol de élite (Rubajczyk & Rokita, 2020). Los jugadores que durante la adolescencia mostraron un mejor rendimiento en las pruebas de condición física relacionadas con la fuerza y la potencia muscular, podrían tener más posibilidades de ser considerados más exitosos.

Los resultados del presente estudio, tanto en relación con las variables antropométricas como con las pruebas de condición física, encontraron diferencias a favor de los jugadores de MR, están en consonancia con investigaciones anteriores. En este sentido, se ha observado una tendencia a promocionar a los jugadores en etapas de formación que mostraban un mayor tamaño corporal y un mejor rendimiento físico, debido a que solían ser cronológica o biológicamente mayores que sus compañeros (Gil et al., 2014; Kelly et al., 2021). Sin embargo, este rendimiento temprano no garantiza el éxito

profesional, ya que una vez superado el periodo de maduración, estas diferencias pueden igualarse (Dugdale, McRobert, et al., 2021b). Por ello, debido a la complejidad de los deportes de equipo, la influencia de las capacidades físicas y de las variables cineantropométricas puede ser clave para la identificación del talento deportivo, pero también deben tenerse en cuenta variables como la capacidad técnica deportiva o los aspectos cognitivos y psicológicos de los jóvenes deportistas (Dugdale, McRobert, et al., 2021a).

Teniendo en cuenta todo lo anterior, las implicaciones prácticas derivadas del presente estudio parecen indicar que en deportes como el voleibol, la maduración biológica, junto con una mayor estructura ósea en los jugadores sub14 y mayores valores de porcentaje de masa muscular en los sub16, juega un papel crucial en la clasificación de los jugadores como más o menos exitosos en los varones cercanos a la EPVC, teniendo más posibilidades de ser seleccionados aquellos cuyo proceso está más avanzado, debido también a los cambios en el rendimiento en las pruebas de condición física relacionadas con la producción de potencia que se producen a lo largo de la etapa de maduración. Esto debería ser tenido en cuenta por los clubes y entrenadores, que podrían estar descartando a jugadoras que podrían mejorar su rendimiento deportivo en etapas posteriores cuando el desarrollo madurativo se iguale, como se ha encontrado en otros deportes (Dugdale, McRobert, et al., 2021b). En el caso de las chicas, un menor valor en las variables relacionadas con el adiposismo y un mejor rendimiento en miembros superiores e inferiores parece estar relacionado con el éxito deportivo en voleibol. En las jugadoras de voleibol sub14 y sub16, la maduración o las variables relacionadas parecen ser menos importantes en relación con el rendimiento, ya que no se encontraron diferencias entre las jugadoras de MR y PR.

Entre las limitaciones del presente estudio, se encuentra su diseño transversal, ya que sólo permite establecer relaciones entre las variables analizadas, y la menor participación de la población masculina, lo que llevó a que los grupos fueran pequeños al dividir a los jugadores en categorías de edad y grupos de éxito. Otra de las limitaciones de este estudio es la utilización de ecuaciones de estimación basadas en el análisis de regresión para la valoración de la maduración biológica, en lugar de la radiografía de muñeca y mano, considerada el *gold standard* (Malina & Bouchard, 1991). Sin embargo, se han identificado algunas consideraciones con el método del estándar de oro de los rayos X que deben ser consideradas. Se ha comprobado que son invasivos, costosos y requieren mucho tiempo y, además, exponen a los participantes a una cantidad significativa de radiación (Towlson et al., 2021). Debido a los problemas potenciales de la utilización de este método, algunos autores han propuesto utilizar métodos alternativos menos invasivos en la población adolescente

(Towlson et al., 2021). Sin embargo, las ecuaciones pueden introducir algún error en el cálculo del desfase de maduración, establecido en torno a 0,50-0,59, lo que limita en cierta medida su uso (Malina et al., 2016). Entre ellas, quizás la más utilizada ha sido la de Mirward et al. (2002), ya que en una reciente revisión sistemática con meta-análisis, de siete estudios que seleccionaron evaluar la maduración somática a través de ecuaciones antropométricas, seis utilizaban esta ecuación para clasificar a los deportistas de diferentes deportes (Albaladejo-Saura et al., 2021). Debido a los problemas identificados, los hallazgos de la presente investigación deben tomarse con precaución, ya que pueden ser sólo aplicables a la población objetivo.

Futuras líneas de investigación podrían abordar las diferencias entre jugadores exitosos y no exitosos incluyendo muestras más grandes de ambos sexos, con un diseño longitudinal para que el proceso de maduración pueda ser observado, no estimado, incluyendo variables cineantropométricas, pruebas de rendimiento físico, evaluación de la maduración biológica, así como habilidades específicas del deporte y variables cognitivas para aclarar las relaciones entre estas variables y el futuro rendimiento deportivo de los jugadores en las etapas de formación.

Para concluir, se observaron diferencias significativas en la maduración biológica, las variables cineantropométricas y la condición física que permiten caracterizar y diferenciar a los jugadores de voleibol clasificados como más y menos exitosos. Los jugadores más exitosos mostraron una mayor maduración biológica y valores más altos en las variables antropométricas relacionadas con la estructura ósea y la masa muscular en el caso de los chicos, mientras que las chicas mostraron valores más bajos en las variables relacionadas con el tejido adiposo, así como un mejor rendimiento en las pruebas que requieren potencia y fuerza muscular, tanto en hombres como en mujeres. Según los resultados obtenidos, la maduración biológica en los chicos, y su relación con las características cineantropométricas y físicas, sigue siendo un factor clave para clasificar a los jugadores como más exitosos, frente a aquellos cuyo proceso de maduración comienza más tarde, pero en las chicas esta cuestión sigue sin resolverse. Esto debería tenerse en cuenta a la hora de realizar los procesos de selección, ya que los clubes podrían estar descartando a jugadoras que podrían mejorar su rendimiento deportivo en etapas posteriores, cuando el desarrollo madurativo se equipare. Por otro lado, la caracterización de los requerimientos físicos de las jugadoras de voleibol adolescentes podría arrojar luz sobre el entrenamiento físico en estas etapas. Por lo tanto, debido a la naturaleza multifactorial del éxito deportivo en los deportes de equipo, se necesitan más

investigaciones para aclarar las relaciones entre el rendimiento y las variables predictoras en las etapas de formación de los jugadores de voleibol

## **VI – CONCLUSIONES**





## VI – Conclusiones

### 6.1.a – Conclusiones generales

A través de los estudios que componen la presente tesis doctoral se ha podido observar que existe una influencia de los distintos ritmos madurativos en las variables cineantropométricas y de condición física estudiadas en una población masculina y femenina de jugadores de voleibol. Se ha observado que aquellos deportistas, tanto chicos como chicas, cuyo proceso de maduración se encontraba más avanzado mostraron mayores valores en las variables antropométricas analizadas, así como un mejor rendimiento en las pruebas de condición física que se llevaron a cabo. Debido a la relación entre el rendimiento deportivo y estas variables analizadas, cuando lo que se pretende es buscar el rendimiento inmediato en categorías de formación aquellos jugadores y jugadoras con una maduración temprana pueden tener ventaja respecto a sus compañeros. Por otro lado, cuando se analizaron las variables más determinantes en éxito de los jugadores, la edad cronológica, la maduración biológica, las variables óseas y musculares y la capacidad de producir fuerza y potencia musculares con el tren superior e inferior se mostraron como la clave de los modelos predictivos.

### 6.2.a – Conclusiones específicas

1. Existe una clara influencia de la edad y la maduración biológica en las diferencias encontradas entre sexos en los jugadores de voleibol adolescentes, mientras que el cuartil de nacimiento parece tener menos influencia como efecto principal. Los jugadores de voleibol masculinos mostraron valores más altos en las variables cineantropométricas básicas; diámetros óseos, excepto el biileocrestal; perímetros musculares corregidos; masas ósea y muscular e índice musculo-esquelético, mientras que las jugadoras mostraron valores más altos en las variables relacionadas con la adiposidad. Además, se observaron diferencias significativas en las pruebas de condición física dependientes de la fuerza y la potencia muscular, mostrando los chicos valores más altos, mientras que las chicas mostraron un mejor rendimiento en las pruebas de flexibilidad. Estas diferencias podrían ser tenidas en cuenta y modificar los agrupamientos entre chicos y chicas en las etapas de iniciación deportiva hasta el estirón de la adolescencia.

2. En el caso de las chicas, se encontraron diferencias influenciadas por la edad entre las distintas etapas de maduración biológica en las variables cineantropométricas estudiadas, siendo las jugadoras que maduraron antes las que mostraron valores más altos en todas las variables cineantropométricas, siendo especialmente relevantes las diferencias en las medidas básicas, las variables relacionadas con la adiposidad y la composición corporal absoluta, los diámetros óseos o los perímetros corregidos. Sin embargo, en general, no se encontraron diferencias en el rendimiento en las pruebas de condición física en función de la maduración, siendo la edad un factor determinante en esta relación. En el caso de los chicos, los maduradores tempranos mostraron valores más altos en medidas como la talla, la masa corporal, la envergadura de los brazos, la talla sentado, los diámetros óseos, los perímetros musculares y las masas grasa, muscular y ósea, así como en la distancia alcanzada en el lanzamiento de balón medicinal y en la potencia CMJ. Estas diferencias encontradas a favor de los jugadores cuyo proceso de maduración estaba más avanzado podrían representar una ventaja en el rendimiento deportivo del voleibol durante la adolescencia con respecto a sus compañeros de igual edad cronológica. Por todo ello, a la hora de evaluar las variables antropométricas y la condición física de los jugadores jóvenes, debe tenerse en cuenta la maduración biológica, ya que los maduradores tempranos pueden tener una ventaja competitiva.
3. Se ha observado que aquellos sujetos que presentan mayor edad y maduración biológica, mayores valores en las variables relacionadas con la estructura ósea, menores valores en las variables relacionadas con la adiposidad y mejor rendimiento en salto, lanzamiento de balón medicinal, sprint y agilidad, tienen más posibilidades de ser seleccionados para formar parte del equipo regional y competir a nivel nacional. Sin embargo, se encontraron diferencias entre chicos y chicas, observándose que un mejor rendimiento en las pruebas de condición física es un indicador de mayor posibilidad de ser seleccionado en ambos sexos, mientras que las variables cineantropométricas y la maduración biológica sólo fueron determinantes en el grupo de chicos.
4. Los jugadores clasificados como “mejor rendimiento” y sub16, respectivamente, mostraron una mayor maduración biológica, valores más altos en las variables antropométricas relacionadas con la estructura ósea y la masa muscular, así como un mejor rendimiento en

las pruebas que requieren potencia y fuerza muscular. El sexo, introducido como covariable, no modificó las diferencias encontradas entre los grupos. Según los resultados obtenidos, la maduración biológica, y su relación con las características cineantropométricas y físicas, sigue siendo un factor clave para clasificar a los jugadores como más exitosos, frente a aquellos cuyo proceso de maduración se inicia más tarde. Esto debe ser considerado a la hora de realizar procesos de selección, ya que los clubes podrían estar descartando a jugadores que podrían mejorar su rendimiento deportivo en etapas posteriores

#### 6.1.b – General conclusions

Through the studies that make up this doctoral thesis, it has been observed that there is an influence of the different maturational rhythms in the kinanthropometric and physical condition variables studied in a male and female population of volleyball players. It has been observed that those athletes, both boys and girls, whose maturation process was more advanced showed higher values in the anthropometric variables analyzed, as well as a better performance in the physical condition tests that were carried out. Due to the relationship between sports performance and these variables analyzed, when the aim is to seek immediate performance in training categories, those players with an early maturation may have an advantage over their peers. On the other hand, when analyzing the most determining variables in the success of the players, chronological age, biological maturation, bone and muscle variables and the capacity to produce muscular strength and power with the upper and lower train were shown to be the key to the predictive models.

#### 6.2.b – Specific conclusions

1. There is a clear influence of age and biological maturation in the differences found between sexes in adolescent volleyball players, while birth quartile seems to have less influence as a main effect. Male volleyball players showed higher values in the basic kinanthropometric variables; bone diameters, except the biileocrestal; corrected muscle perimeters; bone and muscle masses and musculoskeletal index, while female players showed higher values in the variables related to adiposity. In addition, significant differences were observed in the physical condition tests dependent on muscular strength and power, with the boys showing higher values, while the girls showed better performance in the flexibility tests. These differences could be considered and modify the groupings between

boys and girls in the stages of sports initiation until the adolescent growth spurt.

2. In the case of girls, differences influenced by age were found between the different stages of biological maturation in the kinanthropometric variables studied, being the players who matured earlier those who showed higher values in all the kinanthropometric variables, being especially relevant the differences in basic measurements, variables related to adiposity and absolute body composition, bone diameters or corrected perimeters. However, in general, no differences were found in performance in physical fitness tests as a function of maturation, age being a determining factor in this relationship. In the case of boys, early maturers showed higher values in measures such as height, body mass, arm span, sitting height, bone diameters, muscle perimeters and fat, muscle and bone masses, as well as in distance achieved in the medicine ball throw and in CMJ power. These differences found in favor of players whose maturation process was more advanced could represent an advantage in volleyball sports performance during adolescence with respect to their peers of the same chronological age. Therefore, when evaluating anthropometric variables and the physical condition of young players, biological maturation should be taken into account, since early maturers may have a competitive advantage.
3. It has been observed that those subjects who present greater age and biological maturation, higher values in the variables related to bone structure, lower values in the variables related to adiposity and better performance in jumping, medicine ball throwing, sprinting and agility, have more possibilities of being selected to form part of the regional team and compete at national level. However, differences were found between boys and girls, observing that better performance in the physical condition tests is an indicator of greater possibility of being selected in both sexes, while the kinanthropometric variables and biological maturation were only determinant in the group of boys.
4. 4. Players classified as "best performance" and U16, respectively, showed greater biological maturation, higher values in anthropometric variables related to bone structure and muscle mass, as well as better performance in tests requiring power and muscle strength. Sex, introduced as a covariate, did not modify the differences found between the groups. According to the results

obtained, biological maturation, and its relationship with kinanthropometric and physical characteristics, continues to be a key factor in classifying players as more successful, as opposed to those whose maturation process begins later. This should be taken into account when carrying out selection processes, since clubs could be discarding players who could improve their sporting performance at later stages.



# **VII – APLICACIONES PRÁCTICAS**





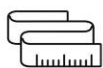
## VII – APLICACIONES PRÁCTICAS

Las aplicaciones prácticas de la presente tesis se componen de un documento que constituye una guía para la detección y seguimiento de talentos en jugadores y jugadoras de voleibol adolescente, que ha sido compartido con la Federación de Voleibol de la Región de Murcia para su difusión mediante los medios que se consideren oportunos.

# GUÍA DE DETECCIÓN Y SEGUIMIENTO DE TALENTOS DEPORTIVOS EN VOLEIBOL



## 1 VARIABLES ANTROPOMÉTRICAS DETERMINANTES



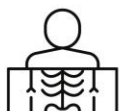
- Talla.
- Envergadura.
- Masa grasa.
- Masa muscular.
- Masa ósea.

## 2 VARIABLES DE CONDICIÓN FÍSICA



- Fuerza miembro superior e inferior.
- La capacidad de sprint.
- Velocidad en los cambios de dirección.

## 3 VARIABLES ÓSEAS



- Factor no modificable con entrenamiento y nutrición.

## 4 MADURACIÓN Y EL "ESTIRÓN"

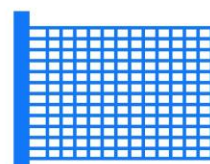


Para medir la maduración es necesario medir la **talla**, la **talla sentado** y la **masa corporal** de los jugadores, así como saber su **edad** y **género**.

Hay un efecto de la maduración sobre las variables antropométricas y de condición física en periodos de crecimiento, por lo que una comparación basada en valores brutos no es recomendable.



Hasta que se produce el "estirón" (entre los 13 y 14 años), no existen grandes diferencias en el rendimiento de los jugadores/as de voleibol. Por lo tanto, se pueden valorar los siguientes aspectos:



Se podrían proponer competiciones mixtas hasta el comienzo de la pubertad (categorías inferiores a "infantil"), maximizando así las posibilidades de formarse y competir desde edades tempranas.

Si lo que se busca es el rendimiento a corto plazo se ha de considerar que a igualdad de edad cronológica, los deportistas más maduros biológicamente pueden tener una ventaja competitiva.

También tienen una ventaja competitiva durante esta etapa cercana al "estirón" aquellos deportistas que son de segundo año dentro de una misma categoría, y los que han nacido en los primeros meses del año.

Sin embargo, se ha de tener en cuenta que esta ventaja desaparecerá cuando el resto de jugadores/as maduren, por lo que si lo que se busca es maximizar las oportunidades de que los jugadores/as lleguen al alto nivel, es importante que en las edades de formación se den oportunidades también a los jugadores/as con una maduración retrasada, de primer año o que han nacido en los últimos meses del año.



## **VIII – REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**



## VII – REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albaladejo-Saura, M., Vaquero-Cristóbal, R., García-Roca, J. A., & Esparza-Ros, F. (2022a). Influence of biological maturation status on selected anthropometric and physical fitness variables in adolescent male volleyball players. *PeerJ*, 10, e13216. <https://doi.org/10.7717/peerj.13216>
- Albaladejo-Saura, M., Vaquero-Cristóbal, R., García-Roca, J. A., & Esparza-Ros, F. (2022b). Influence of maturity status on kinanthropometric and physical fitness variables in adolescent female volleyball players. *Applied Sciences*, 12, 4400.
- Albaladejo-Saura, M., Vaquero-Cristóbal, R., García-Roca, J. A., & Esparza-Ros, F. (2022c). The effect of age, biological maturation and birth quartile in the kinanthropometric and physical fitness differences between male and female adolescent volleyball players. *Children*, 9(1), 58.
- Albaladejo-Saura, M., Vaquero-Cristóbal, R., González-Gálvez, N., & Esparza-Ros, F. (2021). Relationship between biological maturation, physical fitness, and kinanthropometric variables of young athletes: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(1), 328. <https://doi.org/10.3390/ijerph18010328>
- Albaladejo-Saura, M., Vaquero-Cristóbal, R., Marcos-Pardo, P. J., & Esparza-Ros, F. (2020). Effect of an injury prevention program on the lower limb stability in young volleyball players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 61(7), 943-952. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.20.11477-4>
- Altmann, S., Ringhof, S., Neumann, R., Woll, A., & Rumpf, M. C. (2019). Validity and reliability of speed tests used in soccer: A systematic review. *PLoS One*, 14(8), e0220982. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220982>
- Arede, J., Paulo Ferreira, A., Gonzalo-Skok, O., & Leite, N. (2019). Maturation development as a key aspect in physiological performance and national-team selection in elite male basketball players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(7), 902-910. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0681>
- Avrillon, S., Lacourpaille, L., Hug, F., Le Sant, G., Frey, A., Nordez, A., & Guilhem, G. (2020). Hamstring muscle elasticity differs in specialized high-performance athletes. *Scandinavian Journal of Medicine and Sciences in Sports*, 30(1), 83-91. <https://doi.org/10.1111/sms.13564>
- Ayala, F., Sainz de Baranda, P., De Ste Croix, M., & Santonja, F. (2012). Absolute reliability of five clinical tests for assessing hamstring flexibility in professional futsal players. *Journal of Sciences and Medicine in Sport*, 15(2), 142-147. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2011.10.002>

- Ayvaz, G., & Çimen, A. R. (2011). Methods for body composition analysis in adults. *The Open Obesity Journal*, 3, 62-69.
- Beets, M., Hammer, S., & Pitetti, K. (2005). Relationship of maturation and sport participation to 20-m shuttle run performance in high school girls. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37, S17. <https://doi.org/10.1097/00005768-200505001-00117>
- Beunen, G., & Malina, R. M. (1988). Growth and physical performance relative to the timing of the adolescent spurt. *Exercise and Sport Science Review*, 16, 503-540.
- Beunen, G., & Malina, R. M. (1996). Growth and biological maturation: relevance to athletic performance. In O. Bar-Or (Ed.), *The child and adolescent athlete* (Vol. 6, pp. 3-24). Blackwell.
- Beunen, G. P., Malina, R. M., Lefevre, J., Claessens, A. L., Renson, R., Eynde, B. K., . . . Simons, J. (1997). Skeletal maturation, somatic growth and physical fitness in girls 6-16 years of age. *International Journal of Sports Medicine*, 18(6), 413-419.
- Beunen, G. P., Rogol, A. D., & Malina, R. M. (2006). Indicators of biological maturation and secular changes in biological maturation. *Food and Nutrition Bulletin*, 27(4 Suppl Growth Standard), S244-256. <https://doi.org/10.1177/15648265060274S508>
- Bidaurrazaga-Letona, I., Carvalho, H. M., Lekue, J. A., Santos-Concejero, J., Figueiredo, A. J., & Gil, S. M. (2015). Longitudinal field test assessment in a Basque soccer youth academy: a multilevel modeling framework to partition effects of maturation. *International Journal of Sports Medicine*, 36(3), 234-240. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1385881>
- Bidaurrazaga-Letona, I., Lekue, J. A., Amado, M., & Gil, S. M. (2019). Progression in youth soccer: selection and identification in youth soccer players aged 13-15 years. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(9), 2548-2558. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001924>
- Biro, F. M., Pinney, S. M., Huang, B., Baker, E. R., Walt Chandler, D., & Dorn, L. D. (2014). Hormone changes in peripubertal girls. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 99(10), 3829-3835. <https://doi.org/10.1210/jc.2013-4528>
- Booyesen, M. J., Gradidge, P. J., & Constantinou, D. (2019). Anthropometric and motor characteristics of south african national level female soccer players. *Journal of Human Kinetics*, 66, 121-129. <https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0189>
- Cabañas, M. D., & Esparza, F. (2009). *Compendio de cineantropometría*. CTO Editorial: Madrid, España.

- Carling, C., Le Gall, F., & Malina, R. M. (2012). Body size, skeletal maturity, and functional characteristics of elite academy soccer players on entry between 1992 and 2003. *Journal of Sports Sciences*, 30(15), 1683-1693. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.637950>
- Carter, J. (1982). Body composition of Montreal Olympic athletes. In J. Carter (Ed.), *Physical structure of Olympic athletes Part I: The Montreal Olympic Games Anthropological Project*. Karger: Basel, Switzerland
- Carter, J. E. L., & Heath, B. H. (1990). *Somatotyping: Development and application*. Cambridge University Press: Cambridge, United Kingdom.
- Carvalho, H. M., Lekue, J. A., Gil, S. M., & Bidaurrezaga-Letona, I. (2017). Pubertal development of body size and soccer-specific functional capacities in adolescent players. *Research in Sports Medicine*, 25(4), 421-436. <https://doi.org/10.1080/15438627.2017.1365301>
- Castanier, C., Bougault, V., Teulier, C., Jaffré, C., Schiano-Lomoriello, S., Vibarel-Rebot, N.,... Collomp, K. (2021). The specificities of elite female athletes: a multidisciplinary approach. *Life (Basel)*, 11(7), 622. <https://doi.org/10.3390/life11070622>
- Castillo, D., Pérez-González, B., Raya-González, J., Fernández-Luna, Á., Burillo, P., & Lago-Rodríguez, Á. (2019). Selection and promotion processes are not associated by the relative age effect in an elite Spanish soccer academy. *PLoS One*, 14(7), e0219945. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219945>
- Castro-Piñeiro, J., Girela-Rejón, M. J., González-Montesinos, J. L., Mora, J., Conde-Caveda, J., Sjöström, M., & Ruiz, J. R. (2013). Percentile values for flexibility tests in youths aged 6 to 17 years: Influence of weight status. *European Journal of Sport Science*, 13(2), 139-148.
- Chena Sinovas, M., Pérez-López, A., Álvarez Valverde, I., Borez Cerezal, A., Ramos-Campo, D. J., Rubio-Arias, J., & Valadés Cerrato, D. (2015). Influence of body composition on vertical jump performance according with the age and the playing position in football players. *Nutrición Hospitalaria*, 32(1), 299-307. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.32.1.8876>
- Coburn, J. W., & Malek, M. H. (2014). *Manual NSCA: Fundamentos del Entrenamiento Personal* (2ª ed.). Paidotribo: Barcelona, España.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for behavioral science* (2 ed.). Lawrence Erlbaum Associates.
- Cole, T. J. (2018). Optimal design for longitudinal studies to estimate pubertal height growth in individuals. *Annals of Human Biology*, 45(4), 314-320. <https://doi.org/10.1080/03014460.2018.1453948>

- Cruz-Ferreira, A. I., Lino, C., & Azevedo, J. (2009). Effects of three months of Pilates based exercise in women on body composition. *Medicine Science in Sport and Exercise*, 41, 16-17.
- Davis, K. L., Kang, M., Boswell, B. B., DuBose, K. D., Altman, S. R., & Binkley, H. M. (2008). Validity and reliability of the medicine ball throw for kindergarten children. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(6), 1958-1963. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181821b20>
- De Donno, A., Angrisani, C., Mele, F., Introna, F., & Santoro, V. (2021). Dental age estimation: Demirjian's versus the other methods in different populations. A literature review. *Medicine, Science and the Law*, 61(1suppl), 125-129. <https://doi.org/10.1177/0025802420934253>
- Demirjian, A., & Goldstein, H. (1976). New systems for dental maturity based on seven and four teeth. *Annals of Human Biology*, 3(5), 411-421. <https://doi.org/10.1080/03014467600001671>
- Demirjian, A., Goldstein, H., & Tanner, J. M. (1973). A new system of dental age assessment. *Human Biology*, 45(2), 211-227.
- Desmangles, J. C., Lappe, J. M., Lipaczewski, G., & Haynatzki, G. (2006). Accuracy of pubertal Tanner staging self-reporting. *Journal of Pediatric Endocrinology and Metabolism*, 19(3), 213-221. <https://doi.org/10.1515/jpem.2006.19.3.213>
- Drenowatz, C., Eisenmann, J. C., Pfeiffer, K. A., Wickel, E. E., Gentile, D., & Walsh, D. (2010). Maturity-related differences in physical activity among 10- to 12-year-old girls. *American Journal of Human Biology*, 22(1), 18-22. <https://doi.org/10.1002/ajhb.20905>
- Drenowatz, C., Wartha, O., Klenk, J., Brandstetter, S., Wabitsch, M., & Steinacker, J. (2013). Differences in health behavior, physical fitness, and cardiovascular risk in early, average, and late mature children. *Pediatric Exercise Science*, 25(1), 69-83. <https://doi.org/10.1123/pes.25.1.69>
- Dugdale, J. H., McRobert, A. P., & Unnithan, V. B. (2021a). "He's just a wee laddie": the relative age effect in male scottish soccer. *Frontiers in Psychology*, 12, 633469. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.633469>
- Dugdale, J. H., McRobert, A. P., & Unnithan, V. B. (2021b). Selected, deselected, and reselected: a case study analysis of attributes associated with player reselection following closure of a youth soccer academy. *Front Sports Act Living*, 3, 633124. <https://doi.org/10.3389/fspor.2021.633124>
- Dugdale, J. H., Sanders, D., Myers, T., Williams, A. M., & Hunter, A. M. (2021). Progression from youth to professional soccer: A longitudinal study of successful and unsuccessful academy graduates. *Scandinavian Journal of*



- Medicine and Sciences in Sports*, 31(Suppl 1), 73-84.  
<https://doi.org/10.1111/sms.13701>
- Díaz-Soler, M. Á., Vaquero-Cristóbal, R., Espejo-Antúnez, L., & López-Miñarro, P. A. (2015). The effect of a warm-up protocol on the sit-and-reach test score in adolescent students. *Nutrición Hospitalaria*, 31(6), 2618-2623.
- Eberbach, H., Hohloch, L., Feucht, M. J., Konstantinidis, L., Südkamp, N. P., & Zwillingmann, J. (2017). Operative versus conservative treatment of apophyseal avulsion fractures of the pelvis in the adolescents: a systematical review with meta-analysis of clinical outcome and return to sports. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 18(1), 162.  
<https://doi.org/10.1186/s12891-017-1527-z>
- Egger, M., Davey Smith, G., Schneider, M., & Minder, C. (1997). Bias in meta-analysis detected by a simple, graphical test. *British Medicine Journal*, 315(7109), 629-634. <https://doi.org/10.1136/bmj.315.7109.629>
- Esparza-Ros, F., Vaquero-Cristóbal, R., & Marfell-Jones, M. (2019). *International standards for anthropometric assessment*. International Society for Advancement in Kinanthropometry: Murcia, Spain.
- Faigenbaum, A. D., Lloyd, R. S., MacDonald, J., & Myer, G. D. (2016). Citius, Altius, Fortius: beneficial effects of resistance training for young athletes: Narrative review. *British Journal of Sports Medicine*, 50(1), 3-7.  
<https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094621>
- Farr, J. N., Laddu, D. R., & Going, S. B. (2014). Exercise, hormones and skeletal adaptations during childhood and adolescence. *Pediatric Exercise Sciences*, 26(4), 384-391. <https://doi.org/10.1123/pes.2014-0077>
- Ferretti, G., Narici, M. V., Binzoni, T., Gariod, L., Le Bas, J. F., Reutenauer, H., & Cerretelli, P. (1994). Determinants of peak muscle power: effects of age and physical conditioning. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 68(2), 111-115. <https://doi.org/10.1007/BF00244022>
- Figueiredo, A. J., Gonçalves, C. E., Coelho E Silva, M. J., & Malina, R. M. (2009). Youth soccer players, 11-14 years: maturity, size, function, skill and goal orientation. *Annals of Human Biology*, 36(1), 60-73.  
<https://doi.org/10.1080/03014460802570584>
- Finkelstein, J. S., Lee, H., Burnett-Bowie, S. A., Pallais, J. C., Yu, E. W., Borges, L. F., . . . Leder, B. Z. (2013). Gonadal steroids and body composition, strength, and sexual function in men. *New England Journal of Medicine*, 369(11), 1011-1022. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1206168>
- Fitts, R. H., McDonald, K. S., & Schluter, J. M. (1991). The determinants of skeletal muscle force and power: their adaptability with changes in activity

- pattern. *Journal of Biomechanics*, 24(Suppl 1), 111-122. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(91\)90382-w](https://doi.org/10.1016/0021-9290(91)90382-w)
- Folgado, H., Bravo, J., Quintas, A., Raimundo, A., & Gonçalves, B. (2021). Relative Age Effect in Physical Fitness of South Portugal Students between 10 and 18 Years Old. *Internatonal Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(11), 6092. <https://doi.org/10.3390/ijerph18116092>
- Fonseca, F. S., Figueiredo, L. S., Gantois, P., de Lima-Junior, D., & Fortes, L. S. (2019). Relative age effect is modulated by playing position but is not related to competitive success in elite under-19 Handball Athletes. *Sports*, 7(4), 91. <https://doi.org/10.3390/sports7040091>
- Gallagher, R., Marquez, J., & Osmotherly, P. (2019). Clinimetric properties and minimal clinically important differences for a battery of gait, balance, and cognitive examinations for the tap test in idiopathic normal pressure hydrocephalus. *Neurosurgery*, 84(6), E378-E384. <https://doi.org/10.1093/neuros/nyy286>
- Garcia-Gil, M., Torres-Unda, J., Esain, I., Duñabeitia, I., Gil, S. M., Gil, J., & Irazusta, J. (2018). Anthropometric parameters, age, and agility as performance predictors in elite female basketball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(6), 1723-1730. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002043>
- Garnett, S. P., Högler, W., Blades, B., Baur, L. A., Peat, J., Lee, J., & Cowell, C. T. (2004). Relation between hormones and body composition, including bone, in prepubertal children. *American Journal of Clinical Nutrition*, 80(4), 966-972. <https://doi.org/10.1093/ajcn/80.4.966>
- Gastin, P. B., Bennett, G., & Cook, J. (2013). Biological maturity influences running performance in junior Australian football. *Journal of Sciences and Medicine in Sport*, 16(2), 140-145. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.05.005>
- Genton, L., Mareschal, J., Karsegard, V. L., Achamrah, N., Delsoglio, M., Pichard, C., . . . Herrmann, F. R. (2019). An increase in fat mass index predicts a deterioration of running speed. *Nutrients*, 11(3), 701. <https://doi.org/10.3390/nu11030701>
- Gil, S., Ruiz, F., Irazusta, A., Gil, J., & Irazusta, J. (2007). Selection of young soccer players in terms of anthropometric and physiological factors. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 47(1), 25-32.
- Gil, S. M., Badiola, A., Bidaurrazaga-Letona, I., Zabala-Lili, J., Gravina, L., Santos-Concejero, J., . . . Granados, C. (2014). Relationship between the relative age effect and anthropometry, maturity and performance in young soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 32(5), 479-486. <https://doi.org/10.1080/02640414.2013.832355>

- Gil, S. M., Zabala-Lili, J., Bidaurrezaga-Letona, I., Aduna, B., Lekue, J. A., Santos-Concejero, J., & Granados, C. (2014). Talent identification and selection process of outfield players and goalkeepers in a professional soccer club. *Journal of Sports Sciences*, 32(20), 1931-1939. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.964290>
- Gouvea, M., Cyrino, E. S., Ribeiro, A. S., da Silva, D. R. P., Ohara, D., Valente-dos-Santos, J., . . . Ronque, E. (2016). Influence of skeletal maturity on size, function and sport-specific technical skills in youth soccer players. *International Journal of Sports Medicine*, 37(6), 464-469. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1569370>
- Greulich, W., & Pyle, S. J. (1959). *Radiographic atlas of skeletal development of the hand wrist*. (2<sup>o</sup> ed.). Stanford University Press: California, United States of America.
- Grgantov, Z., Katić, R., & Janković, V. (2006). Morphological characteristics, technical and situation efficacy of young female volleyball players. *Collegium Antropologicum*, 30(1), 87-96.
- Guimaraes, E., Baxter-Jones, A., Maia, J., Fonseca, P., Santos, A., Santos, E., . . . Janeira, M. A. (2019). The roles of growth, maturation, physical fitness, and technical skills on selection for a portuguese under-14 years basketball team. *Sports*, 7(3), 61. <https://doi.org/10.3390/sports7030061>
- Guimarães, E., Ramos, A., Janeira, M. A., Baxter-Jones, A. D. G., & Maia, J. (2019). How does biological maturation and training experience impact the physical and technical performance of 11-14-year-old male basketball players? *Sports (Basel, Switzerland)*, 7(12). <https://doi.org/10.3390/sports7120243>
- Gutiérrez-Díaz del Campo, D. (2013). Revisión y propuestas de intervención sobre el Efecto de la Edad Relativa en los ámbitos educativo y deportivo. *Retos. Nuevas Tendencias en Educación Física, Deporte y Recreación*, 1(23), 51-63.
- Gómez-Campos, R., de Arruda, M., Hobold, E., Abella, C. P., Camargo, C., Martínez-Salazar, C., & Cossio-Bolaños, M. A. (2013). Valoración de la maduración biológica: usos y aplicaciones en el ámbito escolar. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 6(4), 151-160.
- Hamano, S., Ochi, E., Tsuchiya, Y., Muramatsu, E., Suzukawa, K., & Igawa, S. (2015). Relationship between performance test and body composition/physical strength characteristic in sprint canoe and kayak paddlers. *Open Access Journal of Sports Medicine*, 6, 191-199. <https://doi.org/10.2147/OAISM.S82295>

- Hamilton, A., Balnave, R., & Adams, R. (1994). Grip strength testing reliability. *Journal of Hand Therapy*, 7(3), 163-170. [https://doi.org/10.1016/s0894-1130\(12\)80058-5](https://doi.org/10.1016/s0894-1130(12)80058-5)
- Hammami, R., Sekulic, D., Selmi, M. A., Fadhloun, M., Spasic, M., Uljevic, O., & Chaouachi, A. (2018). Maturity status as a determinant of the relationships between conditioning qualities and preplanned agility in young handball athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(8), 2302-2313.
- Handelsman, D. J. (2017). Sex differences in athletic performance emerge coinciding with the onset of male puberty. *Clinical Endocrinology*, 87(1), 68-72. <https://doi.org/10.1111/cen.13350>
- Handelsman, D. J., Hirschberg, A. L., & Bermon, S. (2018). Circulating testosterone as the hormonal basis of sex differences in athletic performance. *Endocrinology Review*, 39(5), 803-829. <https://doi.org/10.1210/er.2018-00020>
- Hertzog, M., Paul, D. J., Nassis, G. P., & Silva, J. R. (2018). Does early recruitment predict greater physical performance in academy soccer players? *Sports (Basel)*, 6(4), 108. <https://doi.org/10.3390/sports6040108>
- Higgins, J. P., & Thompson, S. G. (2004). Controlling the risk of spurious findings from meta-regression. *Statistics in Medicine*, 23(11), 1663-1682. <https://doi.org/10.1002/sim.1752>
- Hogg, J. A., Schmitz, R. J., Nguyen, A. D., & Shultz, S. J. (2018). Passive hip range-of-motion values across sex and sport. *Journal of Athletic Training*, 53(6), 560-567. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-426-16>
- Holmgren, A., Niklasson, A., Nierop, A. F., Gelander, L., Aronson, A. S., Sjöberg, A., . . . Albertsson-Wikland, K. (2017). Pubertal height gain is inversely related to peak BMI in childhood. *Pediatric Research*, 81(3), 448-454. <https://doi.org/10.1038/pr.2016.253>
- Holway, F. E., & Garavaglia, R. (2009). Kinanthropometry of Group I rugby players in Buenos Aires, Argentina. *Journal of Sports Science*, 27(11), 1211-1220. <https://doi.org/10.1080/02640410903207408>
- Hraski, M., Hraski, Ž., Mrakovi, S., & Horvat, V. (2015). Relation between anthropometric characteristics and kinematic parameters which influence standing long jump efficiency in boys and adolescents. *Collegium Antropologicum*, 39(S1), 47-55.
- Huang, H.-Y., Teng, T.-L., & Liang, C.-C. (2016). Lower extremity injuries of volleyball players during moving spike landing. *American Journal of Sport Science*, 4(1), 10.
- Hulthén, L., Bengtsson, B. A., Sunnerhagen, K. S., Hallberg, L., Grimby, G., & Johannsson, G. (2001). GH is needed for the maturation of muscle mass

- and strength in adolescents. *Journal of Clinical Endocrinology Metabolism*, 86(10), 4765-4770. <https://doi.org/10.1210/jcem.86.10.7897>
- Ioannidis, J. P. (2008). Interpretation of tests of heterogeneity and bias in meta-analysis. *Journal of Evaluation and Clinical Practice*, 14(5), 951-957. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2753.2008.00986.x>
- Isorna-Folgar, M., Vaquero-Cristóbal, R., Vinuesa-González, J. C., & Rial-Boubeta, A. (2014). The effect of relative age on participation in the national sport training plan and the achievement of sporting success in canoeing. *Apunts. Educación Física y Deportes*, 1, 46-53.
- Jeras, N. M. J., Bovend'Eerdt, T. J. H., & McCrum, C. (2020). Biomechanical mechanisms of jumping performance in youth elite female soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 38(11-12), 1335-1341. <https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1674526>
- Johnston, K., Wattie, N., Schorer, J., & Baker, J. (2018). Talent identification in sport: a systematic review. *Sports Medicine*, 48(1), 97-109. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0803-2>
- Kanehisa, H., Yata, H., Ikegawa, S., & Fukunaga, T. (1995). A cross-sectional study of the size and strength of the lower leg muscles during growth. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 72(1-2), 150-156. <https://doi.org/10.1007/BF00964130>
- Kasper, A. M., Langan-Evans, C., Hudson, J. F., Brownlee, T. E., Harper, L. D., Naughton, R. J., . . . Close, G. L. (2021). Come back skinfolds, all is forgiven: a narrative review of the efficacy of common body composition methods in applied sports practice. *Nutrients*, 13(4). <https://doi.org/10.3390/nu13041075>
- Katić, R., Grgantov, Z., & Jurko, D. (2006). Motor structures in female volleyball players aged 14-17 according to technique quality and performance. *Collegium Antropologicum*, 30(1), 103-112.
- Katzmarzyk, P. T., Malina, R. M., & Beunen, G. P. (1997). The contribution of biological maturation to the strength and motor fitness of children. *Ann Human Biology*, 24(6), 493-505. <https://doi.org/10.1080/03014469700005262>
- Kelch, R. P., & Beitins, I. Z. (1994). Adolescent sexual development. In M. S. Kappy, R. M. Blizzard, & C. J. Migeon (Eds.), *The diagnosis and treatment of endocrine disorders in childhood and adolescence* (pp. 193-234). Charles C. Thomas: Springfield, Illinois, United States of America.
- Kelly, A. L., Jiménez Sáiz, S. L., Lorenzo Calvo, A., de la Rubia, A., Jackson, D. T., Jeffreys, M. A., . . . Santos, S. D. L. D. (2021). Relative age effects in basketball: exploring the selection into and successful transition out of a national talent pathway. *Sports (Basel)*, 9(7), 101. <https://doi.org/10.3390/sports9070101>

- Keogh, J. W., Hume, P. A., Pearson, S. N., & Mellow, P. J. (2009). Can absolute and proportional anthropometric characteristics distinguish stronger and weaker powerlifters? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(8), 2256-2265. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181b8d67a>
- Klaver, M., de Blok, C. J. M., Wiepjes, C. M., Nota, N. M., Dekker, M. J. H. J., de Mutsert, R., . . . den Heijer, M. (2018). Changes in regional body fat, lean body mass and body shape in trans persons using cross-sex hormonal therapy: results from a multicenter prospective study. *European Journal of Endocrinology*, 178(2), 163-171. <https://doi.org/10.1530/EJE-17-0496>
- Knapp, G., & Hartung, J. (2003). Improved tests for a random effects meta-regression with a single covariate. *Statistics in Medicine*, 22(17), 2693-2710. <https://doi.org/10.1002/sim.1482>
- Knechtle, B., Knechtle, P., Rosemann, T., & Lepers, R. (2011a). Personal best marathon time and longest training run, not anthropometry, predict performance in recreational 24-hour ultrarunners. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(8), 2212-2218. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181f6b0c7>
- Knechtle, B., Knechtle, P., Rosemann, T., & Senn, O. (2011b). What is associated with race performance in male 100-km ultra-marathoners - anthropometry, training or marathon best time? *Journal of Sport Sciences*, 29(6), 571-577.
- Knechtle, B., & Rosemann, T. (2009). Skin-fold thickness and race performance in male mountain ultra-marathoners. *Journal of Human Sport and Exercise*, 4(3), 211-220.
- Kraemer, W. J., & Newton, R. U. (2000). Training for muscular power. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, 11(2), 341-368.
- Krustrup, P., Mohr, M., Amstrup, T., Rysgaard, T., Johansen, J., Steensberg, A., . . . Bangsbo, J. (2003). The yo-yo intermittent recovery test: physiological response, reliability, and validity. *Medicine and Sciences in Sports and Exercise*, 35(4), 697-705. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000058441.94520.32>
- Larkin, P., & O'Connor, D. (2017). Talent identification and recruitment in youth soccer: Recruiter's perceptions of the key attributes for player recruitment. *PLoS One*, 12(4), e0175716. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0175716>
- Leiva-Arcas, A., Vaquero-Cristóbal, R., Abenza-Cano, L., & Sánchez-Pato, A. (2021). Performance of high-level spanish athletes in the olympic games according to gender. *PLoS One*, 16(5), e0251267. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0251267>

- Leiva-Arcas, A., Vaquero-Cristóbal, R., Sánchez-Pato, A., Abenza-Cano, L., & Martínez-Patiño, M. J. (2021). Socio-demographic, economic and sports factors related to the participation of the Spanish Olympic. *Retos. Nuevas Tendencias en Educación Física, Deporte y Recreación*, 41, 417-424.
- Leonardi, T. J., Paes, R. P., Breder, L., Foster, C., Goncalves, C. E., & Carvalho, H. M. (2018). Biological maturation, training experience, body size and functional capacity of adolescent female basketball players: A Bayesian analysis. *International Journal of Sports Science and Coaching*, 13(5), 713-722.
- Lesinski, M., Prieske, O., Helm, N., & Granacher, U. (2017). Effects of soccer training on anthropometry, body composition, and physical fitness during a soccer season in female elite young athletes: a prospective cohort study. *Frontiers in Physiology*, 8, 1093. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.01093>
- Liberati, A., Altman, D. G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gøtzsche, P. C., Ioannidis, J. P., . . . Moher, D. (2009). The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate healthcare interventions: explanation and elaboration. *British Medical Journal*, 339, b2700. <https://doi.org/10.1136/bmj.b2700>
- Lidor, R., & Ziv, G. (2010). Physical and physiological attributes of female volleyball players--a review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(7), 1963-1973. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181ddf835>
- Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Faigenbaum, A. D., Myer, G. D., & De Ste Croix, M. B. (2014). Chronological age vs. biological maturation: implications for exercise programming in youth. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(5), 1454-1464. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000391>
- Lohman TG, Roche AF, Martorell R, editors. 1988. *Anthropometric standardization reference manual*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- López-Miñarro, P. A., Muyor, J. M., & Alacid, F. (2014). Influence of hamstring extensibility on spinal and pelvic postures in highly trained athletes. In S. A. Curran (Ed.), *Posture types, exercises and health effects* (pp. 81-94). Nova Biomedical: Canada.
- López-Plaza, D., Alacid, F., Muyor, J. M., & López-Miñarro, P. (2017a). Differences in anthropometry, biological age and physical fitness between young elite kayakers and canoeists. *Journal of Human Kinetics*, 57, 181-190. <https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0059>
- López-Plaza, D., Alacid, F., Muyor, J. M., & López-Miñarro, P. (2017b). Sprint kayaking and canoeing performance prediction based on the relationship between maturity status, anthropometry and physical fitness in young elite paddlers. *Journal of Sports Sciences*, 35(11), 1083-1090. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1210817>

- López-Plaza, D., Alacid, F., Rubio, J., López-Miñarro, P., Muyor, J. M., & Manonelles, P. (2018). Morphological and physical fitness profile of young female sprint kayakers. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002511>
- Malina, R. M., & Bouchard, C. (1991). *Growth, maturation, and physical activity*. Human Kinetics Books: Champaign, Illinois, United States of America.
- Malina, R. M., Choh, A. C., Czerwinski, S. A., & Chumlea, W. C. (2016). Validation of maturity offset in the fels longitudinal study. *Pediatric Exercise Sciences*, 28(3), 439-455. <https://doi.org/10.1123/pes.2015-0090>
- Malina, R. M., Coelho-E-Silva, M. J., Martinho, D. V., Sousa-E-Siva, P., Figueiredo, A. J., Cumming, S. P., . . . Koziel, S. M. (2021). Observed and predicted ages at peak height velocity in soccer players. *PLoS One*, 16(7), e0254659. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254659>
- Malina, R. M., Martinho, D. V., Valente-Dos-Santos, J., Coelho-E-Silva, M. J., & Koziel, S. M. (2021). Growth and maturity status of female soccer players: a narrative review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(4). <https://doi.org/10.3390/ijerph18041448>
- Malina, R. M., Rogol, A. D., Cumming, S. P., Coelho e Silva, M. J., & Figueiredo, A. J. (2015). Biological maturation of youth athletes: assessment and implications. *British Journal of Sports Medicine*, 49(13), 852-859. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094623>
- Malina, R. M., Slawinska, T., Ignasiak, Z., Rozek, K., Kochan, K., Domaradzki, J., & Fugiel, J. (2010). Sex differences in growth and performance of track and field athletes 11-15 years. *Journal of Human Kinetic*, 24, 79-85.
- Malousaris, G. G., Bergeles, N. K., Barzouka, K. G., Bayios, I. A., Nassis, G. P., & Koskolou, M. D. (2008). Somatotype, size and body composition of competitive female volleyball players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 11(3), 337-344. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2006.11.008>
- Markovic, G., Dizdar, D., Jukic, I., & Cardinale, M. (2004). Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(3), 551-555. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2004\)182:0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2004)182:0.CO;2)
- Marshall, W. A., & Tanner, J. M. (1968). Growth and physiological development during adolescence. *Annual Review in Medicine*, 19, 283-300. <https://doi.org/10.1146/annurev.me.19.020168.001435>
- Marshall, W. A., & Tanner, J. M. (1969). Variations in pattern of pubertal changes in girls. *Archives of Disease in Childhood*, 44(235), 291-303. <https://doi.org/10.1136/ad.44.235.291>



- Marshall, W. A., & Tanner, J. M. (1970). Variations in the pattern of pubertal changes in boys. *Archives of Disease in Childhood*, 45(239), 13-23. <https://doi.org/10.1136/adc.45.239.13>
- Matiegka, J. (1921). The testing of physical efficiency. *American Journal of Physical Anthropology*, 4, 223-230.
- Matta, M. d. O., Figueiredo, A. J., Garcia, E. S., Wernek, F. Z., & Seabra, A. (2015). Relative age effect on anthropometry, biological maturation and performance of young soccer players [Efeito da idade relativa na antropometria, maturação biológica e desempenho em jovens futebolistas]. *Revista Brasileira de Cineantropometria y Desempenho Humano*, 17(3), 257-268. <https://doi.org/10.5007/1980-0037.2015v17n3p257>
- Matta, M. d. O., Figueiredo, A. J. B., Garcia, E. S., & Seabra, A. F. T. (2014). Morphological, maturational, functional and technical profile of young Brazilian soccer players [Perfil morfológico, maturacional, funcional e técnico de jovens futebolistas Brasileiro]. *Revista Brasileira de Cineantropometria y Desempenho Humano*, 16(3), 277-286. <https://doi.org/10.5007/1980-0037.2014v16n3p277>
- Matthys, S. P., Vaeyens, R., Coelho, E. S. M. J., Lenoir, M., & Philippaerts, R. (2012). The contribution of growth and maturation in the functional capacity and skill performance of male adolescent handball players. *International Journal of Sports Medicine*, 33(7), 543-549. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1298000>
- Matthys, S. P. J., Franssen, J., Vaeyens, R., Lenoir, M., & Philippaerts, R. (2013). Differences in biological maturation, anthropometry and physical performance between playing positions in youth team handball. *Journal of Sports Sciences*, 31(12), 1344-1352. <https://doi.org/10.1080/02640414.2013.781663>
- Matton, L., Duvigneaud, N., Wijndaele, K., Philippaerts, R., Duquet, W., Beunen, G., . . . Lefevre, J. (2007). Secular trends in anthropometric characteristics, physical fitness, physical activity, and biological maturation in Flemish adolescents between 1969 and 2005. *American journal of human biology*, 19(3), 345-357.
- Mattsson, S., & Thomas, B. J. (2006). Development of methods for body composition studies. *Physics in Medicine and Biology*, 51, 203-228.
- McCrary, J. M., Ackermann, B. J., & Halaki, M. (2015). A systematic review of the effects of upper body warm-up on performance and injury. *British Journal of Sports Medicine*, 49(14), 935-942. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-094228>

- McHugh, M. L. (2012). Interrater reliability: the kappa statistic. *Biochemistry Medicine (Zagreb)*, 22(3), 276-282.
- McQuilliam, S. J., Clark, D. R., Erskine, R. M., & Brownlee, T. E. (2020). Free-Weight Resistance Training in Youth Athletes: A Narrative Review. *Sports Medicine*, 50(9), 1567-1580. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01307-7>
- Meylan, C., Cronin, J., Oliver, J., & Hughes, M. (2010). Talent identification in soccer: the role of maturity status on physical, physiological and technical characteristics. *International Journal of Sports Science and Coaching* 5(4), 571-592.
- Milic, M., Grgantov, Z., Chamari, K., Ardigò, L. P., Bianco, A., & Padulo, J. (2017). Anthropometric and physical characteristics allow differentiation of young female volleyball players according to playing position and level of expertise. *Biology of Sport*, 34(1), 19-26.
- Mills, K., Baker, D., Pacey, V., Wollin, M., & Drew, M. K. (2017). What is the most accurate and reliable methodological approach for predicting peak height velocity in adolescents? A systematic review. *Journal of Sciences and Medicine in Sport*, 20(6), 572-577. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2016.10.012>
- Mirwald, R. L., Baxter-Jones, A. D., Bailey, D. A., & Beunen, G. P. (2002). An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Medicine Science in Sports and Exercise*, 34(4), 689-694.
- Moore, S. A., McKay, H. A., Macdonald, H., Nettlefold, L., Baxter-Jones, A. D., Cameron, N., & Brasher, P. M. (2015). Enhancing a somatic maturity prediction model. *Medicine and Science in Sports and Exerc*, 47(8), 1755-1764. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000588>
- Moritani, T., & deVries, H. A. (1979). Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *American Journal of Physiology and Medicine*, 58(3), 115-130.
- Mujika, I., Vaeyens, R., Matthys, S. P., Santisteban, J., Goiriena, J., & Philippaerts, R. (2009). The relative age effect in a professional football club setting. *Journal of Sports Sciences*, 27(11), 1153-1158. <https://doi.org/10.1080/02640410903220328>
- Murtagh, C. F., Brownlee, T. E., O'Boyle, A., Morgans, R., Drust, B., & Erskine, R. M. (2018). Importance of speed and power in elite youth soccer depends on maturation status. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(2), 297-303. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002367>
- Muyor, J. M., Vaquero-Cristóbal, R., Alacid, F., & López-Miñarro, P. A. (2014). Criterion-related validity of sit-and-reach and toe-touch tests as a measure of hamstring extensibility in athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(2), 546-555. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31829b54fb>

- Myer, G. D., Faigenbaum, A. D., Chu, D. A., Falkel, J., Ford, K. R., Best, T. M., & Hewett, T. E. (2011). Integrative training for children and adolescents: techniques and practices for reducing sports-related injuries and enhancing athletic performance. *Physician and Sportsmedicine*, 39(1), 74-84. <https://doi.org/10.3810/psm.2011.02.1864>
- Neu, C. M., Rauch, F., Rittweger, J., Manz, F., & Schoenau, E. (2002). Influence of puberty on muscle development at the forearm. *American Journal Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 283(1), E103-107. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00445.2001>
- Ode, J. J., Pivarnik, J. M., Reeves, M. J., & Knous, J. L. (2007). Body mass index as a predictor of percent fat in college athletes and nonathletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(3), 403-409. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000247008.19127.3e>
- Ohlsson, C., Bengtsson, B. A., Isaksson, O. G., Andreassen, T. T., & Słotweg, M. C. (1998). Growth hormone and bone. *Endocrine Reviews*, 19(1), 55-79. <https://doi.org/10.1210/edrv.19.1.0324>
- Papadopoulou, S. D., Papadopoulou, S. K., Rosemann, T., Knechtle, B., & Nikolaidis, P. T. (2019). Relative age effect on youth female volleyball players: a pilot study on its prevalence and relationship with anthropometric and physiological characteristics. *Frontiers in Psychology*, 10, 2737. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02737>
- Paule, K., Madole, K., Garhammer, J., Lacourse, M., & Rozenek, R. (2000). Reliability and validity of the T-Test as a measure of agility, leg power, and leg speed in college-aged men and women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 14(4), 443-450.
- Pearson, D. T., Naughton, G. A., & Torode, M. (2006). Predictability of physiological testing and the role of maturation in talent identification for adolescent team sports. *Journal of Sciences and Medicine in Sport*, 9(4), 277-287. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2006.05.020>
- Perchard, R., & Clayton, P. E. (2017). Ghrelin and Growth. *Endocrine Development*, 32, 74-86. <https://doi.org/10.1159/000475732>
- Petré, H., Wernstål, F., & Mattsson, C. M. (2018). Effects of flywheel training on strength-related variables: a meta-analysis. *Sports Medicine Open*, 4(1), 55. <https://doi.org/10.1186/s40798-018-0169-5>
- Peña-González, I., Fernández-Fernández, J., Moya-Ramón, M., & Cervelló, E. (2018a). Relative age effect, biological maturation, and coaches' efficacy expectations in young male soccer players. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 89(3), 373-379.

- Peña-González, I., Fernández-Fernández, J., Moya-Ramón, M., & Cervelló, E. (2018b). Relative age effect, biological maturation, and coaches' efficacy expectations in young male soccer players. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 89(3), 373-379.
- Philippaerts, R. M., Vaeyens, R., Janssens, M., Van Renterghem, B., Matthys, D., Craen, R., . . . Malina, R. M. (2006). The relationship between peak height velocity and physical performance in youth soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 24(3), 221-230. <https://doi.org/10.1080/02640410500189371>
- Pion, J., Segers, V., Franssen, J., Debuyck, G., Deprez, D., Haerens, L., . . . Lenoir, M. (2015). Generic anthropometric and performance characteristics among elite adolescent boys in nine different sports. *European Journal of Sport Science*, 15(5), 357-366. <https://doi.org/10.1080/17461391.2014.944875>
- Pocsek, S., Milosevic, Z., Lakicevic, N., Pantelic-Babic, K., Imbronjević, M., Thomas, E., . . . Drid, P. (2021). Anthropometric characteristics and vertical jump abilities by player position and performance level of junior female volleyball players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(16), 8377. <https://doi.org/10.3390/ijerph18168377>
- Poortmans, J. R., Boisseau, N., Moraine, J. J., Moreno-Reyes, R., & Goldman, S. (2005). Estimation of total-body skeletal muscle mass in children and adolescents. *Medicine and Sciences in Sports and Exercise*, 37(2), 316-322. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000152804.93039.ce>
- Reinehr, T., Bosse, C., Lass, N., Rothermel, J., Knop, C., & Roth, C. L. (2017). Effect of weight loss on puberty onset in overweight children. *Journal of Pediatrics*, 184, 143-150. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2017.01.066>
- Richmond, E., & Rogol, A. D. (2016). Treatment of growth hormone deficiency in children, adolescents and at the transitional age. *Best Practice and Research in Clinical Endocrinology and Metabolism*, 30(6), 749-755. <https://doi.org/10.1016/j.beem.2016.11.005>
- Roche, A. F., Chumlea, W. C., & Thissen, D. (1988). *Assessing the skeletal maturity of the Hand-Wrist: Fels Method*. Charles C Thomas: Springfield, Illinois, United States of America.
- Romero-Franco, N., Jiménez-Reyes, P., Castaño-Zambudio, A., Capelo-Ramírez, F., Rodríguez-Juan, J. J., González-Hernández, J., . . . Balsalobre-Fernández, C. (2017). Sprint performance and mechanical outputs computed with an iPhone app: comparison with existing reference methods. *European Journal of Sport Sciences*, 17(4), 386-392. <https://doi.org/10.1080/17461391.2016.1249031>
- Rommers, N., Mostaert, M., Goossens, L., Vaeyens, R., Witvrouw, E., Lenoir, M., & D'Hondt, E. (2019). Age and maturity related differences in motor

- coordination among male elite youth soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 37(2), 196-203. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1488454>
- Rosenthal, R. (1979). The file draw problem and tolerance for null results. *Psychological Bulletin*, 86(3), 638-641.
- Ross, W. D., Drinkwater, D. T., Bailey, D. A., Marshall, G. R., & Leahy, R. M. (1980). Kinanthropometry: traditions and new perspectives. In G. Beunen, M. Ostyn, & J. Simon (Eds.), *Kinanthropometry II* (pp. 1-27). University Park Press: United States of America.
- Ross, W. D., & Kerr, D. A. (1991). Fraccionamiento de la masa corporal: un nuevo método para utilizar en nutrición clínica y medicina deportiva. *Apunts. Medicina de l'Esport*, 18(1), 175-187.
- Rubajczyk, K., & Rokita, A. (2020). The relative age effect and talent identification factors in youth volleyball in poland. *Frontiers in Psychology*, 11, 1445. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01445>
- Ruffieux, J., Wälchli, M., Kim, K. M., & Taube, W. (2020). Countermovement jump training is more effective than drop jump training in enhancing jump height in non-professional female volleyball players. *Frontiers in Physiology*, 11, 231. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00231>
- Saccol, M. F., Almeida, G. P., & de Souza, V. L. (2016). Anatomical glenohumeral internal rotation deficit and symmetric rotational strength in male and female young beach volleyball players. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 29, 121-125. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2015.08.003>
- Saenger, P. (2003). Dose effects of growth hormone during puberty. *Hormone Research*, 60(Suppl 1), 52-57. <https://doi.org/10.1159/000071226>
- Sammoud, S., Nevill, A. M., Negra, Y., Bouguezzi, R., Chaabene, H., & Hachana, Y. (2018). 100-m Breaststroke Swimming Performance in Youth Swimmers: The Predictive Value of Anthropometrics. *Pediatric Exercise Sciences*, 30(3), 393-401. <https://doi.org/10.1123/pes.2017-0220>
- Sandhu, J., Ben-Shlomo, Y., Cole, T. J., Holly, J., & Davey Smith, G. (2005). The impact of childhood body mass index on timing of puberty, adult stature and obesity: a follow-up study based on adolescent anthropometry recorded at Christ's Hospital (1936–1964). *International Journal of Obesity*, 30, 14-22. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0803156>
- Sarro, K. J., Brioschi, F. R., Andre Barbosa de Lira, C., Andrade, M. D. S., & Vancini, R. L. (2019). Frequency and associated factors of poor knee alignment in young Brazilian volleyball players. *Physician and Sportsmedicine*, 47(3), 353-356. <https://doi.org/10.1080/00913847.2019.1590084>

- Sedano, S., Vaeyens, R., Philippaerts, R. M., Redondo, J. C., & Cuadrado, G. (2009). Anthropometric and anaerobic fitness profile of elite and non-elite female soccer players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 49(4), 387-394.
- Sherar, L. B., Mirwald, R. L., Baxter-Jones, A. D., & Thomis, M. (2005). Prediction of adult height using maturity-based cumulative height velocity curves. *Journal of Pediatrics*, 147(4), 508-514. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2005.04.041>
- Sierra-Díaz, M. J., González-Víllora, S., Pastor-Vicedo, J. C., & Serra-Olivares, J. (2017). Soccer and relative age effect: a walk among elite players and young players. *Sports (Basel)*, 5(1), 5. <https://doi.org/10.3390/sports5010005>
- Slaughter, M. H., Lohman, T. G., Boileau, R. A., Horswill, C. A., Stillman, R. J., Van Loan, M. D., & Bembem, D. A. (1988). Skinfold equations for estimation of body fatness in children and youth. *Human Biology*, 60, 709-723.
- Sterkowicz-Przybycień, K. L., Sterkowicz, S., & Zarów, R. T. (2011). Somatotype, body composition and proportionality in polish top greco-roman wrestlers. *Journal of Human Kinetics*, 28, 141-154. <https://doi.org/10.2478/v10078-011-0031-z>
- Sterne, J. A., Sutton, A. J., Ioannidis, J. P., Terrin, N., Jones, D. R., Lau, J., . . . Higgins, J. P. (2011). Recommendations for examining and interpreting funnel plot asymmetry in meta-analyses of randomised controlled trials. *British Medical Journal*, 343, d4002. <https://doi.org/10.1136/bmj.d4002>
- Sánchez Muñoz, C., Muros, J. J., López Belmonte, Ó., & Zabala, M. (2020). Anthropometric characteristics, body composition and somatotype of elite male young runners. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(2). <https://doi.org/10.3390/ijerph17020674>
- Sánchez-Zuriaga, D. (2010). *Estadística aplicada a la fisioterapia, las ciencias del deporte y la biomecánica* (C. ediciones, Ed. 8 ed.). Fundación Universitaria San Pablo CEU: Madrid, España.
- Söğüt, M., Luz, L. G. O., Kaya, Ö. B., Altunsoy, K., Doğan, A. A., Kirazci, S., . . . Knechtle, B. (2019). Age- and maturity-related variations in morphology, body composition, and motor fitness among young female tennis players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(13), 2412. <https://doi.org/10.3390/ijerph16132412>
- Tanda, G., & Knechtle, B. (2013). Marathon performance in relation to body fat percentage and training indices in recreational male runners. *Open Access Journal of Sports Medicine*, 4, 141-149. <https://doi.org/10.2147/OAJSM.S44945>

- Tanda, G., & Knechtle, B. (2015). Effects of training and anthropometric factors on marathon and 100 km ultramarathon race performance. *Open Access Journal of Sports Medicine*, 6, 129-136. <https://doi.org/10.2147/OAJSM.S80637>
- Tanner, J., Whitehouse, R., Cameron, N., Marshall, W., Healy, M., & Goldstein, H. (1975). *Assessment of skeletal maturity and prediction of adult height (TW2 method)*. (2<sup>o</sup> ed.). Academic Press: Massachusetts, United States of America.
- Tanner, J. M. (1990). *Fetus into Man: Physical Growth from Conception to Maturity*. Harvard University Press: Massachusetts, United States of America.
- Tanner, J. M., Healy, M. J. H., Goldstein, H., & Cameron, N. (2001). *Assessment of Skeletal Maturity and Prediction of Adult Height (TW3) Method*. Saunders Ltd: Nottingham, United Kingdom.
- Thomis, M. A., & Towne, B. (2006). Genetic determinants of prepubertal and pubertal growth and development. *Food and Nutrition Bulletin*, 27(4 Suppl Growth Standard), S257-278. <https://doi.org/10.1177/15648265060274S509>
- Till, K., Cobley, S., O'Hara, J., Chapman, C., & Cooke, C. (2013). A longitudinal evaluation of anthropometric and fitness characteristics in junior rugby league players considering playing position and selection level. *J Sci Med Sport*, 16(5), 438-443. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.09.002>
- Till, K., Scantlebury, S., & Jones, B. (2017). Anthropometric and physical qualities of elite male youth rugby league players. *Sports Medicine*, 47(11), 2171-2186. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0745-8>
- Torres-Unda, J., Zarrasquin, I., Gil, J., Ruiz, F., Irazusta, A., Kortajarena, M., . . . Irazusta, J. (2013). Anthropometric, physiological and maturational characteristics in selected elite and non-elite male adolescent basketball players. *Journal of Sports Science*, 31(2), 196-203. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.725133>
- Toselli, S., & Campa, F. (2018). Anthropometry and functional movement patterns in elite male volleyball players of different competitive levels. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(9), 2601-2611. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002368>
- Towlson, C., Cobley, S., Midgley, A. W., Garrett, A., Parkin, G., & Lovell, R. (2017). Relative age, maturation and physical biases on position allocation in elite-youth soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 38(3), 201-209. <https://doi.org/10.1055/s-0042-119029>
- Towlson, C., Salter, J., Ade, J. D., Enright, K., Harper, L. D., Page, R. M., & Malone, J. J. (2021). Maturity-associated considerations for training load, injury risk, and physical performance in youth soccer: One size does not

- fit all. *Journal of Sport Health Sciences*, 10(4), 403-412. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.09.003>
- Tsoukos, A., Drikos, S., Brown, L. E., Sotiropoulos, K., Veligeas, P., & Bogdanis, G. C. (2019a). Anthropometric and motor performance variables are decisive factors for the selection of junior national female volleyball players. *Journal of Human Kinetics*, 67, 163-173. <https://doi.org/10.2478/hukin-2019-0012>
- Tsoukos, A., Drikos, S., Brown, L. E., Sotiropoulos, K., Veligeas, P., & Bogdanis, G. C. (2019b). Upper and lower body power are strong predictors for selection of male junior national volleyball team players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(10), 2760-2767. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002472>
- Tønnessen, E., Svendsen, I. S., Olsen, I. C., Guttormsen, A., & Haugen, T. (2015). Performance development in adolescent track and field athletes according to age, sex and sport discipline. *PLoS One*, 10(6), e0129014. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0129014>
- Vaeyens, R., Lenoir, M., Williams, A. M., & Philippaerts, R. M. (2008). Talent identification and development programmes in sport : current models and future directions. *Sports Medicine*, 38(9), 703-714. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838090-00001>
- Valente-Dos-Santos, J., Coelho-E-Silva, M. J., Vaz, V., Figueiredo, A. J., Capranica, L., Sherar, L. B., . . . Malina, R. M. (2014). Maturity-associated variation in change of direction and dribbling speed in early pubertal years and 5-year developmental changes in young soccer players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 54(3), 307-316.
- Vandenbroucke, J. P., von Elm, E., Altman, D. G., Gøtzsche, P. C., Mulrow, C. D., Pocock, S. J., . . . Initiative, S. (2014). Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE): explanation and elaboration. *International Journal of Surgery*, 12(12), 1500-1524. <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2014.07.014>
- Vanderschueren, D., Laurent, M. R., Claessens, F., Gielen, E., Lagerquist, M. K., Vandenput, L., . . . Ohlsson, C. (2014). Sex steroid actions in male bone. *Endocrinology Reviews*, 35(6), 906-960. <https://doi.org/10.1210/er.2014-1024>
- Vaquero-Cristóbal, R., Alacid, F., Esparza-Ros, F., López-Plaza, D., Muyor, J. M., & López-Miñarro, P. A. (2016). The effects of a reformer Pilates program on body composition and morphological characteristics in active women after a detraining period. *Women Health*, 56(7), 784-806. <https://doi.org/10.1080/03630242.2015.1118723>



- Vaquero-Cristóbal, R., Albaladejo-Saura, M., Luna-Badachi, A. E., & Esparza-Ros, F. (2020). Differences in fat mass estimation formulas in physically active adult population and relationship with sums of skinfolds. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(21), 7777. <https://doi.org/10.3390/ijerph17217777>
- Vaquero-Cristóbal, R., García-Roca, J. A., Albaladejo, M., Fernández-Alarcón, M., & Esparza-Ros, F. (2018). Evolución de las variables antropométricas en relación con los parámetros de entrenamiento y nutricionales en corredores de ultrarresistencia de montaña. *Nutrición Hospitalaria*, 36(3), 706-713.
- Vaquero-Cristóbal, R., López-Miñarro, P. A., Alacid, F., & Esparza-Ros, F. (2015). The effects of the pilates method on hamstring extensibility, pelvic tilt and trunk flexion. *Nutrición Hospitalaria*, 32, 1967-1986.
- Vaquero-Cristóbal, R., Molina-Castillo, P., López-Miñarro, P. A., Albaladejo-Saura, M., & Esparza-Ros, F. (2020). Hamstring extensibility differences among elite adolescent and young dancers of different dance styles and non-dancers. *PeerJ*, 8, e9237. <https://doi.org/10.7717/peerj.9237>
- Veldhuis, J. D., Roemmich, J. N., Richmond, E. J., Rogol, A. D., Lovejoy, J. C., Sheffield-Moore, M., . . . Bowers, C. Y. (2005). Endocrine control of body composition in infancy, childhood, and puberty. *Endocrinology Reviews*, 26(1), 114-146. <https://doi.org/10.1210/er.2003-0038>
- Verhagen, E. A., Van der Beek, A. J., Bouter, L. M., Bahr, R. M., & Van Mechelen, W. (2004). A one season prospective cohort study of volleyball injuries. *British Journal of Sports Medicine*, 38(4), 477-481. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2003.005785>
- Vingren, J. L., Kraemer, W. J., Ratamess, N. A., Anderson, J. M., Volek, J. S., & Maresh, C. M. (2010). Testosterone physiology in resistance exercise and training: the up-stream regulatory elements. *Sports Medicine*, 40(12), 1037-1053. <https://doi.org/10.2165/11536910-000000000-00000>
- von Elm, E., Altman, D. G., Egger, M., Pocock, S. J., Gotsche, P. C., & Vandembroucke, J. P. (2008). Declaración de la Iniciativa STROBE (Strengthening the Reporting of Observational studies in Epidemiology): directrices para la comunicación de estudios observacionales. *Gaceta Sanitaria*, 22(2), 144-150.
- Wickel, E. E., & Eisenmann, J. C. (2007). Maturity-related differences in physical activity among 13- to 14-year-old adolescents. *Pediatric Exercise Science*, 19(4), 384-392. <https://doi.org/10.1123/pes.19.4.384>
- Zhao, K., Hohmann, A., Chang, Y., Zhang, B., Pion, J., & Gao, B. (2019). Physiological, anthropometric, and motor characteristics of elite chinese

youth athletes from six different sports. *Frontiers in Physiology*, 10, 405.  
<https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00405>

Zingg, M. A., Rüst, C. A., Rosemann, T., Lepers, R., & Knechtle, B. (2014). Runners in their forties dominate ultra-marathons from 50 to 3,100 miles. *Clinics (Sao Paulo)*, 69(3), 203-211. [https://doi.org/10.6061/clinics/2014\(03\)11](https://doi.org/10.6061/clinics/2014(03)11)

## **IX - ANEXOS**



## ANEXO I – APROBACIÓN COMITÉ DE ÉTICA



## COMITÉ DE ÉTICA DE LA UCAM

## DATOS DEL PROYECTO

<b>Título:</b>	"Efecto del estado madurativo y las variables cineantropométricas sobre el rendimiento físico en jugadores de voleibol"	
<b>Investigador Principal</b>	<b>Nombre</b>	<b>Correo-e</b>
Dr.	Francisco Esparza Ros	fesparza@ucam.edu

## INFORME DEL COMITÉ

<b>Fecha</b>	07/06/2019	<b>Código</b>	CE061921
--------------	------------	---------------	----------

## Tipo de Experimentación

Investigación experimental clínica con seres humanos	X
Utilización de tejidos humanos procedentes de pacientes, tejidos embrionarios o fetales	
Utilización de tejidos humanos, tejidos embrionarios o fetales procedentes de bancos de muestras o tejidos	
Investigación observacional con seres humanos, psicológica o comportamental en humanos	X
Uso de datos personales, información genética, etc.	X
Experimentación animal	
Utilización de agentes biológicos de riesgo para la salud humana, animal o las plantas	
Uso de organismos modificados genéticamente (OMGs)	

## Comentarios Respecto al Tipo de Experimentación

Nada Obsta

## Comentarios Respecto a la Metodología de Experimentación

Nada Obsta





## COMITÉ DE ÉTICA DE LA UCAM

<b>Sugerencias al Investigador</b>

A la vista de la solicitud de informe adjunto por el Investigador y de las recomendaciones anteriormente expuestas el dictamen del Comité es:

Emitir Informe Favorable	<input checked="" type="checkbox"/>
Emitir Informe Desfavorable	<input type="checkbox"/>
Emitir Informe Favorable condicionado a Subsanación	<input type="checkbox"/>
<b>MOTIVACIÓN</b>	
Incrementará conocimientos en su área	

Vº Bº El Presidente,

Fdo.: José Alberto Cánovas Sánchez



El Secretario,

Fdo.: José Alarcón Teruel

## ANEXO II – CONSENTIMIENTO INFORMADO Y REVOCACIÓN DEL CONSENTIMIENTO

### Consentimiento informado

Yo, ....., con

DNI:.....

Padre/madre o tutor/a legal

de.....,

Declaro:

---

Haber sido informado/a del estudio y procedimientos de la investigación del

Proyecto titulado: **“Efecto del estado madurativo y las variables**

**cineantropométricas sobre el rendimiento físico en jugadores de voleibol”**.

Los investigadores que van a acceder a nuestros datos personales y a los

resultados de las pruebas son: **Dr. D. Francisco Esparza Ros, Dra. D<sup>a</sup>. Raquel**

**Vaquero Cristóbal y D. Mario Demófilo Albaladejo Saura.**

Asimismo, he podido hacer preguntas del estudio, comprendiendo que mi hijo/a

se presta de forma voluntaria al mismo y que en cualquier momento puede

abandonarlo sin que le suponga perjuicio de ningún tipo.

Consiento:

---

1.-) Que se someta a las siguientes pruebas exploratorias: **a) Estudio cineantropométrico b) Pruebas de condición física general c) Pruebas de rendimiento específicas de voleibol.**

2.-) El uso de los datos obtenidos según lo indicado en el párrafo siguiente:

En cumplimiento del Reglamento (UE) 2016/679 del Parlamento Europeo y del

Consejo, de 27 de abril de 2016 y Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de

Protección de Datos Personales y Garantía de los Derechos Digitales, le

comunicamos que la información que ha facilitado y la obtenida como

consecuencia de las exploraciones a las que se va a someter pasará a formar parte

del fichero automatizado INVESALUD, cuyo titular es la FUNDACIÓN

UNIVERSITARIA SAN ANTONIO, con la finalidad de INVESTIGACIÓN Y

DOCENCIA EN LAS ÁREAS DE CONOCIMIENTO CIENCIAS

EXPERIMENTALES Y CIENCIAS DE LA SALUD. Tiene derecho a acceder a esta

información y cancelarla o rectificarla, dirigiéndose al domicilio de la entidad, en

Avda. de los Jerónimos de Guadalupe 30107 (Murcia). Esta entidad le garantiza la adopción de las medidas oportunas para asegurar el tratamiento confidencial de dichos datos.

En Guadalupe (Murcia) a ..... de ..... de 20

El investigador,

Fdo:.....

Fdo: .....

### **Revocación del Consentimiento informado**

Yo, ....., con

DNI:.....

Padre/madre o tutor/a legal

de.....,

Revoco mi consentimiento para participar en el proyecto

Proyecto titulado: **“Efecto del estado madurativo y las variables cineantropométricas sobre el rendimiento físico en jugadores de voleibol”.**

En Guadalupe (Murcia) a ..... de ..... de 20

El participante,

El investigador,

Fdo:.....

Fdo:.....



### ANEXO III – CUESTIONARIO DE DATOS SOCIODEMOGRÁFICOS Y DEPORTIVOS

#### CUESTIONARIO DE VARIABLES SOCIODEMOGRÁFICAS Y DEPORTIVAS

Formulario diseñado para recoger la información sociodemográfica y el historial deportivo de los participantes en el proyecto "Efecto de la maduración biológica y las variables cineantropométricas sobre el rendimiento en voleibol"

Nombre y apellidos:.....Código participante.....

Edad:.....

Equipo:.....

1. ¿Con qué categoría compites normalmente?.....
2. ¿Cuántos años llevas jugando al voleibol? .....
3. ¿Cuántos años llevas jugando en competición federada?.....
4. ¿Has sido convocado/a con la selección de la Región de Murcia durante el presente año? ¿En qué categoría?.....
5. ¿Has sido convocado/a con la Selección Española en alguna ocasión? ¿En qué categoría? ¿Cuántas veces?.....
6. ¿En qué posición sueles jugar? Selecciona tantas como corresponda.
  - Líbero
  - Colocador
  - Central
  - Receptor (cuatro)

- Opuesto

7. ¿Sueles ser titular? Si..... No.....
8. ¿Cuántos días a la semana entrenas?.....
9. ¿Cuánto dura cada entrenamiento?.....
10. ¿Practicas algún otro deporte de forma habitual además del voleibol?  
¿Cuál? ¿Desde hace cuánto tiempo? ¿Cuántas veces por  
semana?.....
11. ¿Has sufrido alguna lesión en los últimos 6 meses? ¿Cuál? ¿Cuánto tiempo  
estuviste sin jugar?.....
12. En los últimos tres meses, ¿Has tenido alguna enfermedad o algún motivo  
que te haya impedido ir a los entrenamientos con normalidad? En caso  
afirmativo indica cual.....

**ANEXO IV –  
INTRODUCCIÓN: ESTUDIO  
1**

## Methods for estimating biological maturation in developing and growing athletes: A literature review

### Métodos de estimación de la maduración biológica en deportistas en etapa de desarrollo y crecimiento: Revisión bibliográfica

Mario Albaladejo-Saura<sup>1</sup>, Raquel Vaquero-Cristóbal<sup>1,2</sup>, Francisco Esparza-Ros<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Cátedra Internacional de Cineantropometría, Universidad Católica San Antonio, Murcia, España

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias del Deporte, Universidad Católica San Antonio, Murcia, España

#### Short title:

Estimation of maturation in growing athletes: Literature review

#### How to cite this article:

Albaladejo-Saura, M., Vaquero-Cristóbal, R., & Esparza-Ros, F. (2022). Methods for estimating biological maturation in developing and growing athletes: A literature review. *Cultura, Ciencia y Deporte*, 17(53), 55-75. <https://doi.org/10.12800/ccd.v17i53.1925>

Received: 28 march 2022 / Accepted: 30 may 2022

#### Abstract

The indicators related to biological maturation have been studied for decades. The changes produced by maturation have a significant effect on the performance of young athletes. The aim of this literature review was to analyze the most commonly used methods of estimating biological maturation in sports science. Four main methods were identified that address different indicators of biological maturation: radiographic methods, which estimate biological age through bone development; anthropometric methods, which estimate the rate of biological maturation through changes in growth velocity and proportionality; sexual maturation methods, based on the manifestation of male and female sexual characteristics; and dental maturation methods, which estimate biological age through tooth development. The "gold standard" for estimating the maturational state are the methods based on radiography of the hand and wrist; however, their limitations mean that their use in the assessment of young athletes is conditioned. Widely-used alternatives are anthropometric methods, which, although not free of limitations, have been shown to have sufficient reliability and validity. Sexual or tooth maturation do not seem to be as applicable in this field.

**Keywords:** Puberty, growth, physical exercise, maturational development, performance.

#### Resumen

Los indicadores relacionados con la maduración biológica han sido estudiados desde hace décadas. Los cambios que produce la maduración afectan de forma trascendental al rendimiento de los jóvenes deportistas. El objetivo de esta revisión bibliográfica fue analizar los métodos de estimación de la maduración biológica más empleados en ciencias del deporte. Se han identificado cuatro métodos principales que abordan indicadores de la maduración biológica distintos: los métodos radiográficos, que estiman la edad biológica a través del desarrollo óseo; métodos antropométricos, que estiman el ritmo de la maduración biológica a través de cambios en la velocidad de crecimiento y la proporcionalidad; métodos de maduración sexual, basados en la manifestación de los caracteres sexuales masculinos y femeninos; y métodos de maduración dental, que estiman la edad biológica a través del desarrollo dental. El "gold standard" para estimar el estado madurativo son los métodos basados en radiografía de la mano y muñeca, sin embargo, sus limitaciones hacen que su empleo en la valoración de deportistas jóvenes se encuentre condicionado. Una alternativa muy utilizada son las antropométricas, que aunque no están exentas de limitaciones, han mostrado tener suficiente fiabilidad y validez. La maduración sexual o dental parecen no ser tan aplicables en este ámbito.

**Palabras clave:** Pubertad, crecimiento, ejercicio físico, desarrollo madurativo, rendimiento.

## Introduction

### Conceptual approach to the term maturation, chronological age, biological age and peak height velocity.

Maturation, in relation to human growth, refers to the time and process of change from childhood to reach the adult maturational state (Malina & Bouchard, 1991). These processes have been extensively studied in their different stages, but special attention has been traditionally paid to the endocrine, structural, physiological and psychological changes that occur during adolescence, due to the rapidity with which they occur around puberty (Malina & Bouchard, 1991).

For both boys and girls, the onset of puberty is associated with increased activity of the sex, adrenal and thyroid glands, resulting in increased production of the hormones that catalyze pubertal changes (Beunen et al., 2006). More specifically, in the case of boys, there is a dramatic increase in testosterone concentration, becoming 30 times higher than the values of previous stages, which favors the development of sexual characteristics, the increase in bone structure, influenced by the growth hormone (GH), as well as the increase mostly in body mass and muscle mass (Handelsman et al., 2018; Malina & Bouchard, 1991). In contrast, the onset of puberty in girls is associated with an increase in estrogen concentrations, which is closely associated to the adipose tissue present before the onset of this stage and to its distribution in later stages, and to the development of female sexual characteristics as well (Biro et al., 2014; Garnett et al., 2004).

However, differences according to sex are observed, with the onset of the prepubertal stage having been identified between the ages of 8.2-10.3 years in girls, while in boys it was found between 10.3 and 12.1 years of age, with the age at peak height velocity (APHV) observed at 11.4-12.2 and 13.8-14.4 years respectively (Beunen & Malina, 1988; Beunen et al., 2006; Malina & Bouchard, 1991). The APHV has been defined as the age at which there is a dramatic increase in the rate of growth in terms of adolescent height and body mass (Malina & Bouchard, 1991). It is characterized by an increase in height at a rate of approximately 9 cm/year and 10.3 cm/year, and an increase in body mass of 8.3 kg/year and 9 kg/year in girls and boys, respectively (Kelch & Beitins, 1994; Tanner, 1990).

Maturation, growth and development are often compared with the chronological age of the individual, understood as the time elapsed from birth to a specific day (Lloyd et al., 2014), but not all individuals with the same chronological age manifest the changes associated with maturation simultaneously, there being evidence of different maturation rates among individuals (Marshall & Tanner, 1968, 1969, 1970). On the other hand, biological age has been defined as the age corresponding to the changes observed during the development of biological maturation (Malina & Bouchard, 1991), being able to give rise to differences between chronological age and biological age. It is the gap between biological age and chronological age that lead to different maturation rates.

### Factors associated with maturation

These biological maturation processes and the indicators that are manifested during their development have been shown to have a high level of dependence on genetics (Thomis & Towne, 2006), but there are also factors that can favor variations in the time in which maturation occurs (Beunen et al., 2006). Nutrition is one of the factors that can affect the rate of maturation, and it has been observed

that adequate nutrition does not have an important effect on the maturation process, but that malnutrition can delay skeletal development in adolescents (Malina & Bouchard, 1991). Another factor that could modify the rate of maturation is the amount of adipose tissue present before the pubertal stage, as a relationship has been observed between overweightness and obesity with an earlier onset of maturation, with this relationship being more marked in girls (Beunen et al., 2006).

There is a great debate about the influence of the systematic practice of physical exercise as a modifier of the rate of maturation. In this sense, while on the one hand it has been observed that elite female athletes in aesthetic disciplines tend to show a later maturational process, which could be associated with low levels of adipose tissue and low energy availability over long periods of time (Beunen & Malina, 1996), most authors conclude that there is no evidence that the systematic and continuous practice of physical exercise has a relevant effect on the rate of maturation of children and adolescents (Beunen & Malina, 1996).

### Influence of biological maturation on athletic performance

In sports science, the study of biological maturation in relation to sports performance has aroused the interest of both coaches and the scientific community for decades, due to the influence it has on variables directly related to performance (Albaladejo-Saura et al., 2021).

In the different sports modalities, when it comes to training stages, athletes have been grouped according to their chronological age to try to create a standard training process and a competition system that is equitable for all participants (Gutiérrez-Díaz del Campo, 2013). In spite of this, the differences in the pace of individual maturation have led to the observation that more mature athletes have higher values in anthropometric variables such as height, body mass, and variables related to bone structure and muscle mass, as well as better results in physical performance variables such as upper and lower body strength and power, movement speed or agility, in different individual and collective sports disciplines, such as soccer, basketball, volleyball, handball, canoeing or tennis, (Albaladejo-Saura et al., 2022a; Albaladejo-Saura et al., 2022b; Albaladejo-Saura et al., 2021; Carvalho et al., 2017; Matthys et al., 2012; Söğüt et al., 2019).

The differences caused by different maturation rates have been shown to create an advantage in competitions and selection processes during the adolescent stage for more mature athletes with respect to their peers of the same age category, although these differences tend to equalize towards the end of the maturational process (Dugdale, McRobert et al., 2021; Dugdale, Sanders et al., 2021; Vaeyens et al., 2008). This is why an increasing number of sports talent identification programs are advocating for the inclusion of biological maturation variables, such as APHV or maturity offset with respect to chronological age, as part of the characteristics to be assessed in athletes (Johnston et al., 2018), although there is no consensus on which method should be used for their assessment.

### Introduction to methods for estimating biological maturation

Due to this interest in knowing the differences in biological maturation, numerous methods have been developed to estimate the biological maturation gap with respect to chronological age or to identify the maturational stage in which the individual is found (Malina et al., 2015). Among the most commonly used methods, we find those based

on the development of secondary sexual characteristics, giving rise to classifications according to the stage of sexual maturation (Marshall & Tanner, 1969, 1970); those based on skeletal development during childhood and adolescence, to establish a classification of skeletal age (Greulich & Pyle, 1959; Tanner et al., 1975); those that use anthropometric measures to estimate APHV as a measure of somatic maturation (Mirwald et al., 2002; Moore et al., 2015); or the study of dental maturation to assess the stage at which the individual is found (Demirjian & Goldstein, 1976; Demirjian et al., 1973).

As a result, there is an extensive debate about the suitability of these different methods for estimating biological maturation in the field of study of sport sciences. Therefore, the aim of the present research is to carry out a literature review of the most commonly used methods of estimating biological maturation in sport sciences.

### Methods for the evaluation of maturation

In order to evaluate biological maturation, different indicators that undergo changes in the course of maturation can be used. Among the most commonly used indicators in sports science are skeletal maturation, assessed by radiographic methods; somatic maturation (based on growth velocity), assessed by anthropometric methods; sexual maturation, assessed by methods of secondary sexual characteristics development; and dental maturation, assessed by dental radiographs.

#### Study of skeletal maturation

The assessment of skeletal age is one of the most widely used indicators for the study of biological maturation. These methods are based on the taking of radiographs at different points in bones considered of interest and the comparison of these radiographs with pre-established reference models, governed by the principle of progressive calcification of the epiphyses of the bones studied, in the course of maturation (Greulich & Pyle, 1959; Roche et al., 1988; Tanner et al., 1975).

In this regard, there are three models that have been the most widely used over the years:

1. *Greulich & Pyle method*: The method described by Greulich and Pyle (1959) is a method based on an atlas of standardized reference images, taken from a population of Caucasian boys and girls, at different stages of maturation from birth to adult skeletal development, separated from each other in time periods of a year or half a year. This method involves radiographing the individual's left hand and wrist and then comparing them to reference images to determine their skeletal age. Thus, if the radiograph taken coincides with a skeletal age higher than the individual's chronological age, he or she will be categorized as an early maturer, while if it coincides with a lower chronological age, he or she will be categorized as a late maturer. This method is still used according to the protocol originally described, and was validated in a population of Caucasian American children (Greulich & Pyle, 1959).
2. *Tanner-Whitehouse 1, 2 & 3*: The method proposed by Tanner & Whitehouse (1975) is based on the radiographic assessment of the left hand and wrist, and the categorization of 13 or 20 bones in different regions of interest. Afterwards, a series of criteria are applied related to the description and shape of the

bones analyzed. Finally, a skeletal age value is obtained, resulting from the assessments of the maturation of each individual bone, which is then compared to the chronological age of the individual assessed. Thus, if the skeletal age result is greater than the chronological age of the individual, he or she will be classified as early maturing, while if it is less, he or she will be classified as late maturing. This method, which has been revised three times (TW1, TW2 and TW3), has been validated in a population of children of British origin (TW1 and TW2) and in European, South American, North American and Japanese populations (Tanner et al., 1975; Tanner et al., 2001).

3. *Fels study protocol*: This method, proposed by Roche et al. (1988), is based on radiography of the left hand and wrist, with reference indicators in the ulna, radius, carpus, metacarpus and phalanges of the first and fifth fingers. In this method, a graduation is attributed to each bone according to the age and sex of the participants, including ratios between the length and width of the long bones and the ossification of the measured bones. These values are used to estimate the skeletal age of each individual, and then, when compared with the chronological age, to classify individuals as early or late maturers. This method is still used according to the protocol originally described, and was validated in a population of Caucasian American children who were followed longitudinally for different maturational indicators (Roche et al., 1988).

#### Study of somatic maturation

Another of the most commonly used indicators for assessing biological maturation is the study of somatic maturation. This is based on the identification of the peak height velocity (PHV) resulting from the increase in the concentration of GH, thyroid hormone, and androgens, and the changes they cause in height, weight, and proportionality of the different body segments (Malina & Bouchard, 1991). These methods are characterized by the possibility of directly observing the onset of PHV in longitudinal studies, characterized by a growth of approximately 9 cm/year in girls and 10.3 cm/year in boys, through continuous anthropometric measurements and their comparison with reference values (Kelch & Beitins, 1994). However, in cases in which cross-sectional designs make it impossible to take repeated measurements, there is the possibility of estimating APHV by means of anthropometric measurements, which are subsequently introduced into regression formulas. Among the methods of estimation using anthropometric measurements, the most commonly used are:

1. *Mirwald et al. method*: the method proposed by Mirwald et al. (2002) is based on the different growth ratios that exist between the trunk-encephalic height and lower limb length, as well as the effect of this growth on the total height of the individual, and the body mass around the PHV. Thus, two equations differentiated by sex were created in which chronological age, body mass, height, and sitting height of the individual, and the length of the lower limb are introduced as variables for the calculation. These formulas result in the biological maturation offset, which, subtracted from the chronological

age, provides an estimate of the APHV. The prediction equations were developed in the population included in the Saskatchewan Pediatric Bone Mineral Accrual Study (113 boys and 115 girls) (Mirwald et al., 2002).

2. *Moore et al. method:* The method proposed by Moore et al. (2015) is based on the same principles that identify the change in velocity of the growth rate of adolescents, by studying the proportionality between trunk and lower limb in increasing anthropometric variables, to create regression equations for the estimation of APHV. In it, two formulas differentiated by sexes were proposed, in

which age and sitting height in the case of boys, and age and height, in the case of girls, were included as independent variables to estimate biological maturation offset and subsequently the APHV. The validity of the formulas was compared with populations from two external studies, the Harpenden Growth Study (419 British boys and 282 British girls) and the HBS-III study (515 Canadian boys and 556 Canadian girls) (Moore et al., 2015).

The resulting formulas for each method can be observed in Table 1.

**Table 1. Methods of estimating maturation by studying the age at which the peak height velocity occurs through anthropometric variables**

Authors	Equation (maturity offset)	Validity indicators	Validation population
Mirwald et al. (2002)	Boys = $-9.232 + 0.0002708 * (LLL * SH) - 0.001663 * (Age * LLL) + 0.007216 * (Age * SH) + 0.02292 * (BM / H)$	$R^2 = .891$ $SEE = 0.592$	228 participants for the Saskatchewan Pediatric Bone Mineral Accrual Study (113 Boys; 115 Girls)
	Girls = $-9.37 + 0.0001882 * (LLL * SH) - 0.0022 * (Age * LLL) + 0.005841 * (Age * SH) - 0.002658 * (Age * BM) + 0.07693 * (BM / H)$	$R^2 = .890$ $SEE = 0.569$	
Moore et al. (2015)	Boys = $-8.128741 + (0.0070346 * (Age * SH))$	$R^2 = .906$ $SEE = 0.514$	1071 participants for the HBS-III study (515 Boys; 556 Girls)
	Girls = $-7.709133 + (0.0042232 * (Age * H))$	$R^2 = .898$ $SEE = 0.528$	

LLL: Lower limb length; SH: sitting height; H: height; BM: body mass; SEE: standard estimated error.

### Study of sexual maturation

The evaluation of sexual maturation as an indication of biological maturation is based on the gradual development of male and female secondary sexual characteristics that begin with the increase in sex hormones produced during the prepubertal stage (Marshall & Tanner, 1969, 1970).

Within the study of sexual maturation, the most widely used is the one proposed by Marshall and Tanner (1969, 1970). In it, a classification of five stages was made based on two scales for each sex, focused on the development of pubic hair in both boys and girls, genital development in the case of boys and the development of breast tissue in the case of girls, with images and description of each of the stages and the proposed scales. This methodology has been proposed to be utilized during a physical examination or to be self-completed by the subjects (Marshall & Tanner, 1969, 1970).

### Study of dental maturation

The study of dental maturation has also been considered as an indicator of biological maturation due to the different stages through which the development of permanent teeth pass through, from their calcification, which marks the beginning of maturation, until the apical end of the dental root canal is completely closed, which marks its end (Demirjian & Goldstein, 1976; Demirjian et al., 1973).

In this sense, Demirjian & Goldstein (1976) developed a classification system using panoramic radiography for dental maturation, dividing the process into eight phases that can be applied to each tooth. In this methodology, each tooth is classified according to a scale of eight values to subsequently calculate a joint index among all the teeth analyzed, in which the maximum sum of the values is 100. By means of this value, the subject is attributed a biological age based on his or her dental maturation, which is subsequently compared with the chronological age to establish the maturational gap. For this, they include both images and a description of the characteristics that the teeth should have in order to be included in each of the proposed groups. This method was developed with a sample of 1446 Canadian boys and 1482 Canadian girls.

### Considerations for the use of biological maturation assessment methods with adolescent athletes.

It should be noted that all the methods described above have been developed and validated in the first instance in a clinical context, in populations of different ages and not specifically athletes. A summary of the main characteristics and the advantages and disadvantages of each method can be found in Table 2.

**Table 2. Summary of the characteristics of the main methods for estimating biological maturation and their suitability for the field of study of sports science**

Kind of method	Measuring speed	Economic cost	Ease of implementation	Suitability to the field of sports science	
				Advantages	Disadvantages
Skeletal maturation: X-ray of hand and wrist according to Greulich & Pyle (1969)	*	***	*	Considered the "gold standard" for the estimation of biological maturation in sports science, in contexts where access is available.	It cannot be adapted to field research, the need for specialized personnel, the time and cost of its application and the radiation exposure of participants.
Skeletal maturation: X-ray of hand and wrist according to Tanner & Whitehouse (1975)	*	***	*	Considered the "gold standard" for the estimation of biological maturation in sports science, in contexts where access is available.	It cannot be adapted to field research, the need for specialized personnel, the time and cost of its application and the radiation exposure of participants.
Skeletal maturation: X-ray of hand and wrist according to Roche et al. (1988)	*	***	*	Considered "gold standard" for the estimation of biological maturation in sports science, in contexts where access is available.	It cannot be adapted to field research, the need for specialized personnel, the time and cost of its application and the radiation exposure of participants.
Somatic maturation: Anthropometric measurements according to Mirwald et al. (2002)	**	**	**	Easy to implement, adaptable to field work and requiring little training for researchers.	Its limitations should be taken into account in order to avoid introducing excessive error in the estimation, it may underestimate or overestimate the value of the maturity offset in early or late maturers respectively, and its use is advised for classifying athletes according to their maturation rate.
Somatic maturation: Anthropometric measurements according to Moore et al. (2015)	**	**	**	Easy to implement, adaptable to field work and requiring little training for researchers.	Its limitations should be taken into account in order not to introduce excessive error in the estimation, it may underestimate or overestimate the value of the maturity offset in early or late maturers respectively, and its use is advised for classifying athletes according to their maturation rate.
Somatic maturation: Anthropometric measurements according to Sherar et al. (2005)	**	**	***	Easy to implement, adaptable to field work and requiring little training for researchers.	It requires repeated anthropometric measurements over a period of three to 18 months over several years and subsequent individual analysis of the growth curves to obtain the result of the APHV.
Sexual maturation: Sexual characteristics according to Marshall & Tanner (1969, 1970)	***	*	***	It is an easy to implement method that does not require specific facilities, has a low cost, is quick to perform and can be self-completed by the subject.	It may be considered invasive for the privacy of the individual, decontextualized from the clinical setting. It may lose reliability when it is self-completed by the subjects.
Dental maturation: Dental radiography according to Demirjian & Goldstein (1976)	*	***	*	It has similar reliability and validity to hand and wrist radiographic methods for assessing the subject's biological maturation.	It is extremely specific in terms of the fields of study covered. It cannot be adapted to field research, requires highly specialized personnel and exposes its participants to radiation.

\*: low; \*\*: medium; \*\*\*: high.

### Methods based on skeletal maturation

Methods based on radiographs have been widely used in athlete populations (Carling et al., 2012; Figueiredo et al., 2009; Gouvea et al., 2016; Söğüt et al., 2019; Valente-Dos-Santos et al., 2014). In them, the objective

is to obtain the value of the subject's biological age at the time of measurement, using skeletal maturation as an indicator of the subject's biological maturation, which will later be compared with the chronological age, to find the maturational offset. These methods have been considered the "gold standard" for the estimation of



biological maturation, due to the large amount of data available, the reproducibility of the methods, the possibility of performing the study from infancy to late adolescence or adulthood, and the consistency in the results with respect to the developmental curves observed in longitudinal studies (Malina et al., 2015). However, due to differences in the skeletal maturation assessment criteria used to analyze biological maturation, these methods have their own advantages and disadvantages, making it impossible to identify one of them as the "gold standard" among the different skeletal maturation methods (Malina et al., 2015). On the other hand, none of the three methods described in this review can be underlined as the most utilized in sports science, as these methods have been used to assess the biological maturation of young athletes regardless of the sports discipline (Albaladejo-Saura et al., 2021; Malina, 2011).

These methods have been used both to analyze the biological maturation of participants descriptively, and to classify them as early, on-time, or late maturers, using the difference between skeletal age and chronological age (Carling et al., 2012). When attempting to classify adolescent athletes based on the biological age assessed by these methods, the most common procedure is to subtract skeletal maturation - chronological age, and use the result to establish a range of  $\pm 1$  year (difference from  $> -1$  to  $< +1$ ) to classify athletes whose maturation is considered on-time, while if the difference is positive and greater than one year (difference  $> +1$ ) they would be considered early maturers, and if the difference is negative and greater than one year (difference  $< -1$ ), late maturers (Carling et al., 2012; Figueiredo et al., 2009). There are other proposals for the classification of biological maturation based on skeletal age, such as classification into more mature or less mature, without on-time maturers group, depending if the result of the subtraction between skeletal age and chronological age is positive or negative, although these methods are less employed (Söğüt et al., 2019).

Despite the benefits of radiography-based methods, it should be noted that they are not without limitations. The three most employed methods, proposed by Greulich & Pyle (1959), Tanner & Whitehouse (1975) and Roche et al. (1988) are based on the same principles to categorize bone maturation, but due to differences in the methodology used to obtain skeletal maturation, they are not considered to be interchangeable with each other (Malina et al., 2015).

On the other hand, they are expensive, time-consuming to implement and not adaptable to measurements outside the laboratory context, which limits their use in the context of sports science (Malina et al., 2015; Towlson et al., 2021). Furthermore, these methods need to be employed by specialized personnel with the necessary qualifications to perform them, otherwise their validity and reliability decreases (Lloyd et al., 2014; Towlson et al., 2021). As these methods are based on the use of X-rays, some authors argue that they are invasive methods whose use is not justified in adolescents, since they consider that radiation should only be applied to growing individuals in the context of a clinical diagnosis, not being justified in sports science research (Gómez-Campos et al., 2013). However, other authors do advocate its use, justifying that, with current techniques and instruments, the radiation to which the individual is subjected during the assessment is minimal, and would not involve an amount that is considered harmful to health (Malina et al., 2015). These limitations make it an accessible method mainly for sports with a high level of economic income or access to adequate facilities, as is the case of football (Carling et al., 2012; Figueiredo et al., 2009; Gouvea et al., 2016; Valente-Dos-Santos et al., 2014).

## Methods based on somatic maturation

Somatic maturation estimation methods based on anthropometric measurements are among the most widely used in the assessment of adolescent athletes due to their low invasiveness, ease of use, the possibility of performing measurements in both laboratory and field investigations, the low cost of the equipment needed for their implementation, and the relatively little training needed by the researchers (Albaladejo-Saura et al., 2022a, 2022b, 2022c; Arede et al., 2019; Guimarães et al., 2019; Hammami et al., 2018). In them, the indicator of biological maturation is the growth rate and the age at which the increase in growth velocity occurs, compared to the chronological age of the subject. These methods do not allow estimating the subject's biological age at the time of measurement, but are indicative of the rate of biological maturation (Drenowatz et al., 2010; Drenowatz et al., 2013).

These methods, similarly to radiological methods, have been used descriptively in populations of adolescent athletes (Albaladejo-Saura et al., 2022c) or to classify them as early, on-time, or late maturers (Albaladejo-Saura et al., 2022a; Albaladejo-Saura et al., 2022b; Arede et al., 2019; Guimarães et al., 2019; Hammami et al., 2018).

In this case, there are some remarkable differences between the methods based on PHV observation and those that perform their estimation through formulas. In the case of the PHV observation method, several measurement sessions, spaced between 3 and 18 months apart, are necessary to establish the growth rate of the individual, over the years in which the PHV is theoretically produced in order to identify it in relation to the observed growth curves (Kelch & Beitins, 1994; Malina & Bouchard, 1991; Sherar et al., 2005; Tanner, 1990).

However, this method also has limitations. The main limitation found is that it is available only for longitudinal experimental designs of long duration, due to the need to space the measurements over a long period of time (Kelch & Beitins, 1994; Malina & Bouchard, 1991; Sherar et al., 2005; Tanner, 1990). On the other hand, due to the methodology used, the age range in which this method is applicable is reduced to the years around the PHV, and an individualized study of the growth curve must be carried out due to individual variations (Sherar et al., 2005).

In contrast, in the formulas developed by Mirwald et al. (2002) and Moore et al. (2015), it is only necessary for anthropometric measurements to be assessed only once, since, in the proposed formulas, one of the prediction variables is the chronological age of the subject at the time of assessment. These formulas give as a result the time in years remaining until the individual assessed reaches the PHV (if the result is negative) or the time in years that has passed since the individual passed the PHV (if the result is positive), called the maturity offset. The maturity offset, subtracted from the individual's chronological age is used to calculate the APHV (APHV = chronological age - maturity offset) (Mirwald et al., 2002; Moore et al., 2015). This value can be used directly to categorize athletes into early, on-time or late maturers, according to different criteria.

Traditionally, the ranges indicated by Malina & Bouchard (1991), in which PHV is typically observed, 11.4-12.2 years of age for girls and 13.8-14.4 for boys, have been used to classify athletes as early maturers, when their APHV was within the indicated range; early maturers when their APHV was below the indicated range; and late maturers when their APHV was above the indicated range. However, this evaluation criterion has the limitation that the estimation of APHV can be altered by chronological age, as observed in recent research (Malina, Coelho-E-Silva, et al., 2021; Towlson et al., 2021), so it would only be valid for

populations in a reduced age range, which was around the theoretical APHV.

Currently, due to the heterogeneity that could be found in the groups of adolescents evaluated in sports science in terms of chronological age, the most widely used classification methods base their criteria for the calculation of the APHV, establishing ranges that define the groups as early maturers, on-time, or late maturers, on the mean and standard deviation (SD) of the group with respect to this variable (Figueiredo et al., 2009; Hammami et al., 2018; Mirwald et al., 2002; Moore et al., 2015). Thus, some authors propose a range of  $\pm 1$  year in APHV with respect to the mean of the group, into which the athletes whose APHV is considered on-time would be placed, while if the APHV has a difference greater than one year both below and above that of the mean, would be considered early and late maturers, respectively (Hammami et al., 2018; Mirwald et al., 2002; Moore et al., 2015). The establishment of the criterion of a range of  $\pm 1$  year with respect to the group's APHV to classify athletes into the different maturation groups is because the samples used to validate the formulas by Mirwald et al. (2002) and Moore et al. (2015) showed a  $SD \approx 1$  year when their biological maturation was assessed by radiography. But the establishment of this range has certain limitations when the samples are homogeneous. If the  $SD$  of the group's APHV is less than 1 year, almost all the athletes would be classified as maturing on time. That is why when the  $SD$  of the APHV of the group is less than 1 year, some authors have proposed the use of ranges of  $\pm 0.5$  years of the APHV, with those within this range considered on-time maturers, below that range early maturers and above that range, late maturers (Albaladejo-Saura et al., 2022a, 2022b; Arede et al., 2019; Drenowatz et al., 2010; Guimaraes et al., 2019; Wickel & Eisenmann, 2007).

However, the APHV estimation formulas also have limitations that should be taken into account. On the one hand, despite being widely used methods in sports science and having good validity indices ( $R = .896 - .890$ ) (Albaladejo-Saura et al., 2021; Mirwald et al., 2002; Moore et al., 2015), it has been observed that they usually introduce a certain degree of error that limits their use at certain times since they are based on regression equations (standard error = 0.542-0.569 years) (Malina et al., 2016; Malina, Coelho-E-Silva, et al., 2021). On the other hand, it has been observed that the equations tend to underestimate the value of the maturation lag for early maturers, while overestimating it for late maturers (Towilson et al., 2021). Because of these limitations, some authors have recommended using these methods only in adolescent populations, limiting their use in child populations (Malina, Coelho-E-Silva, et al., 2021; Towilson et al., 2017; Towilson et al., 2021), to control for the effect of chronological age on the estimates, as it has been observed that the estimation of somatic maturation changes in a stable manner with advancing age. Further recommendations have also been made for using anthropometry-based methods to classify athletes into early, time or late maturers, rather than as a descriptive measure of biological maturation, as they indicate the rate of maturation, and allow for the comparison between individuals, but not the calculation of biological age (Malina, Coelho-E-Silva, et al., 2021). Despite these limitations, its use has been recommended on the adolescent athlete population when the "gold standard" method is impossible to use (Towilson et al., 2021).

#### Methods based on sexual maturation

Methods based on the development of secondary sexual characteristics have also been used in studies conducted in the athlete population (Figueiredo et al., 2009; Matta et al., 2014). In these methods, the indicator of biological maturation is the degree of development of the secondary

sexual characteristics as compared to the scale proposed at the time of assessment. However, they are less used than methods based on skeletal or somatic maturation (Albaladejo-Saura et al., 2021). The method described by Marshall & Tanner (1962) classifies the development of secondary sexual characteristics into five stages, with stage 1 being attributed to a time before puberty (prepubertal), stages 2-4 are considered pubertal development, and stage 5 adult development (Gómez-Campos et al., 2013). The stages of sexual maturation have also been related to other indicators of biological maturation, such as the "gold standard" (Figueiredo et al., 2009). Thus, it was observed that participants classified as late maturers aged between 11 and 12 years old were mostly classified in the pre-pubertal stage (88%) from the method described by Marshall and Tanner (1969, 1970), while those classified as early and on time maturers aged 13 and 14 years old of chronological age were found between stages 3 and 4 of the aforementioned method.

This method has the advantage of being easy to apply, since it based on the use of a set of images with which to compare the current state of the individual's characteristics, as well as the possibility of the subject himself carrying out the evaluation (Marshall & Tanner, 1969, 1970).

The specific characteristics of the evaluation of sexual maturation make it necessary to take into account the possible drawbacks when intending to use this methodology. It should be considered that its use is limited to the prepubertal and pubertal stages, since no categories are detailed for the classification of the characteristics of individuals outside that range (Marshall & Tanner, 1969, 1970). On the other hand, one of the main limitations when its use is intended in the field of sports science is that it is an invasive technique for the participant due to the aspects that are assessed for classification, for which ethical and cultural aspects must be taken into account (Gómez-Campos et al., 2013). This is because this methodology was originally developed for the clinical context, for the physical examination of the patient by health personnel (Marshall & Tanner, 1968). To try to solve this problem, it has sometimes been advocated for self-assessment by the participant, a fact that could decrease the validity and reliability of the instrument (Gómez-Campos et al., 2013).

#### Methods based on dental radiographs

Methods based on dental maturation are widely used in clinical, dental, forensic, and anthropological contexts (De Donno et al., 2021), with the most widely used being the one proposed by Demirjian & Goldstein (1976), while in sports assessment contexts its use is less widespread (Albaladejo-Saura et al., 2021; Beunen et al., 2006; Johnston et al., 2018; Malina, Martinho, et al., 2021). This method uses tooth development as an indicator of biological maturation. It shares the advantages of skeletal age estimation methods, counting on a high reproducibility, a wide range of implementation ages from infancy to adulthood, and consistency in the results with respect to observed growth curves (De Donno et al., 2021; Demirjian & Goldstein, 1976; Demirjian et al., 1973; Gómez-Campos et al., 2013).

However, it also has similar limitations. They use X-rays for assessment, which implies radiation exposure that would not be justified in sports science studies (Gómez-Campos et al., 2013), their use requires a lot of time, specific facilities, qualified personnel, and entails a high economic expense (De Donno et al., 2021; Malina et al., 2015), reasons why their use in studies in young athletes could be scarce.

### Limitations and future lines of research

The present research is not without limitations. Within it, the methods most commonly used in the assessment of different indicators of biological maturation in the sports context were reviewed. However, there are other methods for assessing biological maturation that were not analyzed, such as radiographic methods of bone structures other than the hand and wrist, or methods based on the analysis of hormone concentration, which are more commonly used in the clinical context. On the other hand, methods that are less commonly used or lack sufficient validation have not been analyzed either.

Future reviews of biological maturation estimation methods could address the inclusion of the different methods regardless of the context in which they are used.

The lines of research derived from the present review could be aimed at analyzing the validity, reliability and adequacy of the different estimation methods with respect to the developmental growth curves observed in longitudinal studies, as well as the inclusion of variables related to performance and health that may be affected by individual differences in maturational development.

### Conclusions

In the field of sports, when evaluating growing athletes, it is essential to take into account their maturational state, due to the great influence of biological maturation on numerous variables directly associated with performance. Many methods for estimating maturation exist that have been proven to be useful tools for assessing the maturation process in adolescents, such as bone, somatic, sexual and dental maturation. In this sense, the method endorsed by the scientific literature as the "gold standard" for the estimation of biological maturation in populations of adolescent athletes is the bone maturation method, which is based on the performance of hand and wrist radiographs. However, it has many limitations, among which we find the economic cost, the time and facilities required for its implementation, the need for highly qualified evaluators, and the radiation to which the subjects are exposed. All of these limitations may condition its use in most situations applicable to studies in sports science. In the event that the use of the radiographic method is not possible, the assessment of somatic maturation through formulas that use anthropometric variables for its calculation are a widely used, as they have been proven to be reliable and valid options, and are easy to use and adapt to field research. However, it should be taken into account that these methods can introduce a certain error in the estimation, leading to the underestimation or overestimation of the value of the maturity offset in early or late maturers respectively. Also, their use is advisable to only classify athletes according to their rate of maturation, since the methods for estimating somatic maturation based on anthropometry can only indicate the rate of biological maturation, but not of biological age, which is one of their main limitations. Finally, the assessment of sexual characteristics and dental development are less used methods for estimating maturation in sports science, mainly because of their clinical nature, the ethical implications, and the difficulty in their application.

### Bibliography

Albaladejo-Saura, M., Vaquero-Cristóbal, R., García-Roca, J. A., & Esparza-Ros, F. (2022a). Influence of biological maturation status on selected anthropometric and

physical fitness variables in adolescent male volleyball players. *PeerJ*, 10, e13216. <https://doi.org/10.7717/peerj.13216>

Albaladejo-Saura, M., Vaquero-Cristóbal, R., García-Roca, J. A., & Esparza-Ros, F. (2022b). Influence of maturity status on kinanthropometric and physical fitness variables in adolescent female volleyball players. *Applied Sciences*, 12, 4400.

Albaladejo-Saura, M., Vaquero-Cristóbal, R., García-Roca, J. A., & Esparza-Ros, F. (2022c). The effect of age, biological maturation and birth quartile in the kinanthropometric and physical fitness differences between male and female adolescent volleyball players. *Children*, 9(1), 58.

Albaladejo-Saura, M., Vaquero-Cristóbal, R., González-Gálvez, N., & Esparza-Ros, F. (2021). Relationship between biological maturation, physical fitness, and kinanthropometric variables of young athletes: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Environmental Research & Public Health*, 18(1), 328. <https://doi.org/10.3390/ijerph18010328>

Arede, J., Paulo Ferreira, A., Gonzalo-Skok, O., & Leite, N. (2019). Maturational development as a key aspect in physiological performance and national-team selection in elite male basketball players. *International Journal of Sports Physiology & Performance*, 14(7), 902-910. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2018-0681>

Beunen, G., & Malina, R. M. (1988). Growth and physical performance relative to the timing of the adolescent spurt. *Exercise & Sport Sciences Review*, 16, 503-540.

Beunen, G., & Malina, R. M. (1996). Growth and biological maturation: relevance to athletic performance. In O. Bar-Or (Ed.), *The child & adolescent athlete* (Vol. 6, pp. 3-24). Blackwell.

Beunen, G. P., Rogol, A. D., & Malina, R. M. (2006). Indicators of biological maturation and secular changes in biological maturation. *Food & Nutrition Bulletin*, 27(4 Suppl Growth Standard), S244-256. <https://doi.org/10.1177/156482650602745508>

Biro, F. M., Pinney, S. M., Huang, B., Baker, E. R., Walt Chandler, D., & Dorn, L. D. (2014). Hormone changes in peripubertal girls. *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 99(10), 3829-3835. <https://doi.org/10.1210/jc.2013-4528>

Carling, C., Le Gall, F., & Malina, R. M. (2012). Body size, skeletal maturity, and functional characteristics of elite academy soccer players on entry between 1992 and 2003. *Journal of Sports Sciences*, 30(15), 1683-1693. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.637950>

Carvalho, H. M., Lekue, J. A., Gil, S. M., & Bidaurrazaga-Letona, I. (2017). Pubertal development of body size and soccer-specific functional capacities in adolescent players. *Research in Sports & Medicine*, 25(4), 421-436. <https://doi.org/10.1080/15438627.2017.1365301>

De Donno, A., Angrisani, C., Mele, F., Introna, F., & Santoro, V. (2021). Dental age estimation: Demirjian's versus the other methods in different populations. A literature review. *Medicine, Science & the Law*, 61(1), 125-129. <https://doi.org/10.1177/0025802420934253>

Demirjian, A., & Goldstein, H. (1976). New systems for dental maturity based on seven and four teeth. *Annals of Human Biology*, 3(5), 411-421. <https://doi.org/10.1080/03014467600001671>

Demirjian, A., Goldstein, H., & Tanner, J. M. (1973). A new system of dental age assessment. *Human Biology*, 45(2), 211-227.

Drenowatz, C., Eisenmann, J. C., Pfeiffer, K. A., Wickel, E. E., Gentile, D., & Walsh, D. (2010). Maturity-related differences in physical activity among 10- to 12-year-old

- girls. *American Journal of Human Biology*, 22(1), 18-22. <https://doi.org/10.1002/ajhb.20905>
- Drenowatz, C., Wartha, O., Klenk, J., Brandstetter, S., Wabitsch, M., & Steinacker, J. (2013). Differences in health behavior, physical fitness, and cardiovascular risk in early, average, and late mature children. *Pediatric Exercise Science*, 25(1), 69-83. <https://doi.org/10.1123/pes.25.1.69>
- Dugdale, J. H., McRobert, A. P., & Unnithan, V. B. (2021). Selected, deselected, and reselected: a case study analysis of attributes associated with player reselection following closure of a youth soccer academy. *Frontiers in Sports & Active Living*, 3, 633124. <https://doi.org/10.3389/fspor.2021.633124>
- Dugdale, J. H., Sanders, D., Myers, T., Williams, A. M., & Hunter, A. M. (2021). Progression from youth to professional soccer: A longitudinal study of successful and unsuccessful academy graduates. *Scandinavian Journal of Medicine Sciences & Sports*, 31 Suppl 1, 73-84. <https://doi.org/10.1111/sms.13701>
- Figueiredo, A. J., Gonçalves, C. E., Coelho E Silva, M. J., & Malina, R. M. (2009). Youth soccer players, 11-14 years: maturity, size, function, skill and goal orientation. *Annals of Human Biology*, 36(1), 60-73. <https://doi.org/10.1080/03014460802570584>
- Garnett, S. P., Högler, W., Blades, B., Baur, L. A., Peat, J., Lee, J., & Cowell, C. T. (2004). Relation between hormones and body composition, including bone, in prepubertal children. *American Journal of Clinical Nutrition*, 80(4), 966-972. <https://doi.org/10.1093/ajcn/80.4.966>
- Gouvea, M., Cyrino, E. S., Ribeiro, A. S., da Silva, D. R. P., Ohara, D., Valente-dos-Santos, J., Coelho-E-Silva, M.J., & Ronque, E. (2016). Influence of skeletal maturity on size, function and sport-specific technical skills in youth soccer players. *International Journal of Sports Medicine*, 37(6), 464-469. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1569370>
- Greulich, W., & Pyle, S. J. (1959). *Radiographic atlas of skeletal development of the hand wrist*. (2<sup>o</sup> ed.). Stanford University Press.
- Guimaraes, E., Baxter-Jones, A., Maia, J., Fonseca, P., Santos, A., Santos, E., Tavares, F., & Janeira, M. A. (2019). The roles of growth, maturation, physical fitness, and technical skills on selection for a portuguese under-14 years basketball team. *Sports*, 7(3), 61. <https://doi.org/10.3390/sports7030061>
- Guimarães, E., Ramos, A., Janeira, M. A., Baxter-Jones, A. D. G., & Maia, J. (2019). How does biological maturation and training experience impact the physical and technical performance of 11-14-year-old male basketball players? *Sports*, 7(12), 243. <https://doi.org/10.3390/sports7120243>
- Gutiérrez-Díaz del Campo, D. (2013). Revisión y propuestas de intervención sobre el Efecto de la Edad Relativa en los ámbitos educativo y deportivo. *Retos. Nuevas Tendencias en Educación Física, Deporte y Recreación*, 1(23), 51-63.
- Gómez-Campos, R., de Arruda, M., Hobold, E., Abella, C. P., Camargo, C., Martínez-Salazar, C., & Cossio-Bolaños, M. A. (2013). Valoración de la maduración biológica: usos y aplicaciones en el ámbito escolar. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 6(4).
- Hammami, R., Sekulic, D., Selmi, M. A., Fadhoun, M., Spasic, M., Uljevic, O., & Chaouachi, A. (2018). Maturity status as a determinant of the relationships between conditioning qualities and preplanned agility in young handball athletes. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 32(8), 2302-2313.
- Handelsman, D. J., Hirschberg, A. L., & Bermon, S. (2018). Circulating testosterone as the hormonal basis of sex differences in athletic performance. *Endocr Rev*, 39(5), 803-829. <https://doi.org/10.1210/er.2018-00020>
- Johnston, K., Wattie, N., Schorer, J., & Baker, J. (2018). Talent identification in sport: a systematic review. *Sports Med*, 48(1), 97-109. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0803-2>
- Kelch, R. P., & Beitins, I. Z. (1994). Adolescent sexual development. In M. S. Kappy, R. M. Blizzard, & C. J. Migeon (Eds.), *The diagnosis and treatment of endocrine disorders in childhood and adolescence* (pp. 193-234). Charles Thomas.
- Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Faigenbaum, A. D., Myer, G. D., & De Ste Croix, M. B. (2014). Chronological age vs. biological maturation: implications for exercise programming in youth. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(5), 1454-1464. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000391>
- Malina, R.M. (2011). Skeletal age and age verification in youth sport. *Sports Medicine*, 41(11), 925-947.
- Malina, R. M., & Bouchard, C. (1991). *Growth, maturation, and physical activity*. Human Kinetics Books, Champaign, IL, Estados Unidos.
- Malina, R. M., Choh, A. C., Czerwinski, S. A., & Chumlea, W. C. (2016). Validation of maturity offset in the fels longitudinal study. *Pediatric Exercise Sciences*, 28(3), 439-455. <https://doi.org/10.1123/pes.2015-0090>
- Malina, R. M., Coelho-E-Silva, M. J., Martinho, D. V., Sousa-E-Siva, P., Figueiredo, A. J., Cumming, S. P., Králik, M., & Kozielec, S. M. (2021). Observed and predicted ages at peak height velocity in soccer players. *PLoS One*, 16(7), e0254659. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254659>
- Malina, R. M., Martinho, D. V., Valente-Dos-Santos, J., Coelho-E-Silva, M. J., & Kozielec, S. M. (2021). Growth and maturity status of female soccer players: a narrative review. *International Journal of Environmental Research & Public Health*, 18(4). <https://doi.org/10.3390/ijerph18041448>
- Malina, R. M., Rogol, A. D., Cumming, S. P., Coelho e Silva, M. J., & Figueiredo, A. J. (2015). Biological maturation of youth athletes: assessment and implications. *British Journal of Sports Medicine*, 49(13), 852-859. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094623>
- Marshall, W. A., & Tanner, J. M. (1968). Growth and physiological development during adolescence. *Annual Review in Medicine*, 19, 283-300. <https://doi.org/10.1146/annurev.me.19.020168.001435>
- Marshall, W. A., & Tanner, J. M. (1969). Variations in pattern of pubertal changes in girls. *Archives of Disease in Childhood*, 44(235), 291-303. <https://doi.org/10.1136/adc.44.235.291>
- Marshall, W. A., & Tanner, J. M. (1970). Variations in the pattern of pubertal changes in boys. *Archives of Disease in Childhood*, 45(239), 13-23. <https://doi.org/10.1136/adc.45.239.13>
- Matta, M. d. O., Figueiredo, A. J. B., Garcia, E. S., & Seabra, A. F. T. (2014). Morphological, maturational, functional and technical profile of young Brazilian soccer players [Perfil morfológico, maturacional, funcional e técnico de jovens futebolistas Brasileiro]. *Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano*, 16(3), 277-286. <https://doi.org/10.5007/1980-0037.2014v16n3p277>
- Matthys, S. P., Vaeyens, R., Coelho, E. S. M. J., Lenoir, M., & Philippaerts, R. (2012). The contribution of growth and maturation in the functional capacity and skill performance of male adolescent handball players. *International Journal of Sports Medicine*, 33(7), 543-549. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1298000>

- Mirwald, R. L., Baxter-Jones, A. D., Bailey, D. A., & Beunen, G. P. (2002). An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Medicine & Sciences in Sports & Exercise*, 34(4), 689-694.
- Moore, S. A., McKay, H. A., Macdonald, H., Nettlefold, L., Baxter-Jones, A. D., Cameron, N., & Brasher, P. M. (2015). Enhancing a Somatic Maturity Prediction Model. *Medicine & Sciences in Sports & Exercise*, 47(8), 1755-1764. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000588>
- Roche, A. F., Chumlea, W. C., & Thissen, D. (1988). *Assessing the skeletal maturity of the Hand-Wrist: Fels Method*. Charles C Thomas.
- Sherar, L. B., Mirwald, R. L., Baxter-Jones, A. D., & Thomis, M. (2005). Prediction of adult height using maturity-based cumulative height velocity curves. *Journal of Pediatrics*, 147(4), 508-514. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2005.04.041>
- Söğüt, M., Luz, L. G. O., Kaya, Ö. B., Altunsoy, K., Doğan, A. A., Kirazci, S., Clemente, F.M., Nikolaidis, P.T., Rosemann, T., & Knechtle, B. (2019). Age- and maturity-related variations in morphology, body composition, and motor fitness among young female tennis players. *International Journal of Environmental Research & Public Health*, 16(13), 2412. <https://doi.org/10.3390/ijerph16132412>
- Tanner, J., Whitehouse, R., Cameron, N., Marshall, W., Healy, M., & Goldstein, H. (1975). *Assessment of skeletal maturity and prediction of adult height (TW2 method)*. (2<sup>o</sup> ed.). Academic Press.
- Tanner, J. M. (1990). *Fetus into Man: Physical Growth from Conception to Maturity*. Harvard University Press.
- Tanner, J. M., Healy, M. J. H., Goldstein, H., & Cameron, N. (2001). *Assessment of Skeletal Maturity and Prediction of Adult Height (TW3) Method*. Saunders Ltd.
- Thomis, M. A., & Towne, B. (2006). Genetic determinants of prepubertal and pubertal growth and development. *Food & Nutrition Bulletin*, 27(4 Suppl Growth Standard), S257-278. <https://doi.org/10.1177/156482650602745509>
- Towlson, C., Cobley, S., Midgley, A. W., Garrett, A., Parkin, G., & Lovell, R. (2017). Relative age, maturation and physical biases on position allocation in elite-youth soccer. *International Journal of Sports & Medicine*, 38(3), 201-209. <https://doi.org/10.1055/s-0042-119029>
- Towlson, C., Salter, J., Ade, J. D., Enright, K., Harper, L. D., Page, R. M., & Malone, J. J. (2021). Maturity-associated considerations for training load, injury risk, and physical performance in youth soccer: One size does not fit all. *Journal of Sport Health Sciences*, 10(4), 403-412. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.09.003>
- Vaeyens, R., Lenoir, M., Williams, A. M., & Philippaerts, R. M. (2008). Talent identification and development programmes in sport : current models and future directions. *Sports Medicine*, 38(9), 703-714. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838090-00001>
- Valente-Dos-Santos, J., Coelho-E-Silva, M. J., Vaz, V., Figueiredo, A. J., Capranica, L., Sherar, L. B., Elferink-Gemser, M.T., & Malina, R. M. (2014). Maturity-associated variation in change of direction and dribbling speed in early pubertal years and 5-year developmental changes in young soccer players. *Journal of Sports Medicine & Physical Fitness*, 54(3), 307-316.
- Wickel, E. E., & Eisenmann, J. C. (2007). Maturity-related differences in physical activity among 13- to 14-year-old adolescents. *Pediatric Exercise Sciences*, 19(4), 384-392. <https://doi.org/10.1123/pes.19.4.384>

# **ANEXO V – INTROUCCIÓ:**

## **ESTUDIO 2**



Review

# Relationship between Biological Maturation, Physical Fitness, and Kinanthropometric Variables of Young Athletes: A Systematic Review and Meta-Analysis

Mario Albaladejo-Saura <sup>1</sup>, Raquel Vaquero-Cristóbal <sup>1,2,\*</sup>, Noelia González-Gálvez <sup>2,\*</sup>  
and Francisco Esparza-Ros <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kinanthropometry International Chair, Catholic University San Antonio of Murcia (UCAM), Av. de los Jerónimos 135, 30107 Murcia, Spain; mdalbaladejosaura@ucam.edu (M.A.-S.); fesparza@ucam.edu (F.E.-R.)

<sup>2</sup> Faculty of Sport, Catholic University San Antonio of Murcia (UCAM), Av. de los Jerónimos 135, 30107 Murcia, Spain

\* Correspondence: rvaquero@ucam.edu (R.V.-C.); ngonzaez@ucam.edu (N.G.-G.)

**Abstract:** There is a growing interest in knowing the relationship between biological maturation and sport performance-related variables of young athletes. The objective of this study is to analyze the relationship between biological maturation, physical fitness, and kinanthropometric variables of athletes during their growing period, according to their sex. The systematic review and meta-analysis followed the Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analysis (PRISMA) statement and the search protocol was registered in PROSPERO, code: CRD42020208397. A search through the PubMed, Web of Sciences, and EBSCO databases was performed. A total of 423 studies were screened and 13 were included in the meta-analysis. The meta-analysis was completed by using the mean and standard deviation of each variable according to each maturation status (early, on time, or late). Differences depending on maturation were found on physical fitness, with better results in the advanced maturational groups in the male population (standard mean difference (SMD) = 0.17–2.31;  $p < 0.001$ –0.05). Differences depending on maturation were found for kinanthropometric variables in males (SMD = 0.37–2.31;  $p < 0.001$ –0.002) and height and body mass in females (SMD = 0.96–1.19;  $p < 0.001$ ). In conclusion, the early maturation group showed higher values in kinanthropometric variables and better results in physical fitness, highlighting the importance of the maturational process in the talent selection programs. Despite that, more research is needed to clarify the relationship of maturation with the other variables on female populations and the changes in the muscle and bone variables during the maturation processes of both sexes.

**Keywords:** growth; maturation; kinanthropometry; youth sports; performance



**Citation:** Albaladejo-Saura, M.; Vaquero-Cristóbal, R.; González-Gálvez, N.; Esparza-Ros, F. Relationship between Biological Maturation, Physical Fitness, and Kinanthropometric Variables of Young Athletes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2021**, *18*, 328. <https://doi.org/10.3390/ijerph18010328>

Received: 27 November 2020

Accepted: 31 December 2020

Published: 5 January 2021

**Publisher's Note:** MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



**Copyright:** © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## 1. Introduction

The early identification of young talents brings certain benefits to the clubs that implement this process. Among the advantages can be found an early specialization in the skills and capacities of the sport, the incorporation of young players to the high-level team, or long-term economic security [1–3]. In addition, in sports with smaller incomes, the early identification and monitoring of sports talents are of vital importance for the optimization of economic resources [3]. As a consequence, there has been a growing interest in creating models that allow for the identification and even prediction of future talents among young athletes in the last decade [2,3].

Talent in sports could be defined as the ability to provide a correct answer to the specific demands of sports performance [1]. Among the factors analyzed in the talent identification programs in sports, physical performance plays an important role, as it is considered one of the most determinant factors in the future sports performance of young athletes [4]. Other main components of talent identification models are the kinanthropometric variables, due to their relationship with sports performance [5]. In fact,

kinanthropometry has been used to characterize the morphological requirements of different sports disciplines [6–8]. However, it must be taken into account that the reference values observed in adult elite athletes should not be extrapolated to athletes who are in the process of growing since the maturation stage can affect kinanthropometric characteristics and physical performance [9].

Maturation, in relation to human growth, refers to the time required and the process of change until the adult maturation state is reached [10]. The physical and physiological changes that occur during the progress of biological maturation evolve at a different pace, depending on the subject [10]. Due to the influence of biological maturation in sports performance, it seems necessary to evaluate the maturation stage in which the adolescent athletes are currently in, with the peak height velocity (PHV) being one of the most useful indicators of the maturation stage [10,11]. Furthermore, there are differences between males and females in terms of the age at which PHV begins and the age at which the maximum growth peak occurs (age at peak height velocity, APHV). It is common to observe this occurring between 9.3 and 15 years of age in females and between 12 and 15.8 years of age in males [10].

The gold standard for estimating PHV is the radiological evaluation of specific bones in the hand and wrist [12,13]. This method is an accurate way to assess the maturation of the adolescents and is widely used and validated [12,13], but it requires very experienced researchers to ensure the validity and reliability of the results, and the equipment needed is inaccessible in most of the cases [14]. Furthermore, other alternative methods have been used, such as kinanthropometric variables through regression formulas [11], due to its validity and reliability, with other advantages such as it is easy, inexpensive, transportable, and innocuous [15,16]; or the evaluation of maturation based on the development of secondary sexual characteristics [17,18]. This latter method relies on a self-reported assessment based on secondary sexual factors influenced by maturation, and it is easy to do by the subjects [17,18]. However, it is a subjective evaluation [19], and in determining situations it could be considered personally intrusive [11].

There is a growing interest in knowing the relationships between biological maturation, kinanthropometric variables, and the physical performance of young athletes due to its influence on these parameters, which are related to sports performance [4]. In the academic training stages, it has been observed that young athletes who mature earlier than their peers of the same chronological age are more likely to be selected for high-performance programs [20], although they do acquire a high-level performance when the growing period ends [21]. This is because during the maturation process physical and physiological changes occur that affect sports performance, offering to mature earlier a competitive advantage in most cases [10]. Along this line, and regarding muscle and bone tissue, there is a significant increase due to the hormonal changes that are typical of adolescence, and this is more marked when there is a systematic practice of physical exercise [10,22]. However, this increase does not occur equally in both sexes, with similarities observed in the early stages of development and a greater increase in strength and muscle mass in males at the peak of growth and late stages of development [23,24]. As for fat mass, which has been one of the most-analyzed variables due to its relation with sports performance [25–28], it has been observed that a greater accumulation of fat is related to earlier maturation in females and later in males [29,30].

Regarding physical conditions, it has been observed that young athletes who mature earlier have better results in endurance tests [31], the strength of both upper and lower limbs [9], and sprint ability [32], with these being decisive characteristics for sports performance. A similar tendency has been found in both sexes [33,34]. The better results shown by the early maturers are determinant factors in future sports performance, as the speed and power production abilities have been demonstrated to be a discriminatory factor between elite and non-elite athletes [35]. These physical condition variables improve during puberty, which enhances the selection of early maturers for talent identification



programs when biological maturation is not assessed [36]. Despite that, some variables, like endurance, improve the most after PHV [37].

However, despite the clear influence that the differences in maturation may have on the physical conditions and kinanthropometric characteristics of young athletes, there is some discrepancy on the specific weight of these variables for explaining the differences in performance depending on maturation [38–41]. Furthermore, a great heterogeneity has been found between studies in terms of participants, sports analyzed, and tests included [9,32–34,42]. Therefore, the objective of this study is to analyze the relationship of biological maturation, physical fitness, and kinanthropometric variables of athletes in the growing period, according to their sex.

## 2. Materials and Methods

This systematic review and meta-analysis followed the Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analysis (PRISMA) statement [43], and the search strategy, inclusion criteria, and additional information were registered in advance with the international prospective registry of systematic review PROSPERO (code: CRD42020208397).

### 2.1. Search Strategy

A search through the PubMed, Web of Sciences, and EBSCO databases was performed up to 18 September, 2020. The keywords used were “biological matur\*”, “sport performance”, “training”, “anthropometry”, “kinanthropometry”, “body composition” and “somatotype”, combined with the linkers “AND” and “OR”: (Biological matur\* AND (sport performance OR physical fitness) AND (anthropometry OR kinanthropometry OR body composition OR somatotype). Studies that examined the relationship of biological maturation with different types of physical performance or kinanthropometric variables were included for the meta-analysis.

The inclusion criteria were (a) observational studies; (b) outcome measurements based on physical performance, kinanthropometric variables, or both; (c) results divided by maturity group; (d) participants aged 9 to 15 years old for females and 12 to 16 years old for males, as the age range when APHV occurs [10]; (e) written in English or Spanish; (f) active population participating in a specified sports discipline. The exclusion criterion was groups with less than five participants [44].

### 2.2. Data Extraction and Risk of Bias

Two reviewers (M.A.-S. and R.V.-C) performed the search independently, screened the titles and abstracts from the search results, and reviewed the full text selected before the inclusion in the meta-analysis. A third reviewer (F.E.-R.) was consulted to resolve any disagreement regarding inclusion. To determine the inter-rater reliability of the reviewers, Cohen’s Kappa [45] was calculated, showing a strong level of agreement (Kappa = 0.901).

### 2.3. Quality Assessment and Risk of Bias

The Strengthening Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE) statement [46] was used to assess the quality of the studies included. Quality assessment was performed by two reviewers (M.A.-S. and R.V.-C). A third reviewer was consulted to resolve any disagreements (F.E.-R.). Egger’s [47] bias statistics and Rosenthal’s [48] fail-safe N was used to assess the risk of bias and funnel plots were created (Figure S1). When a meta-analysis is based on a small number of studies, the capacity of Egger’s test to detect bias is limited [49]. Therefore, this test must be performed when there are at least ten studies included in the meta-analysis [47].

### 2.4. Statistical Analysis

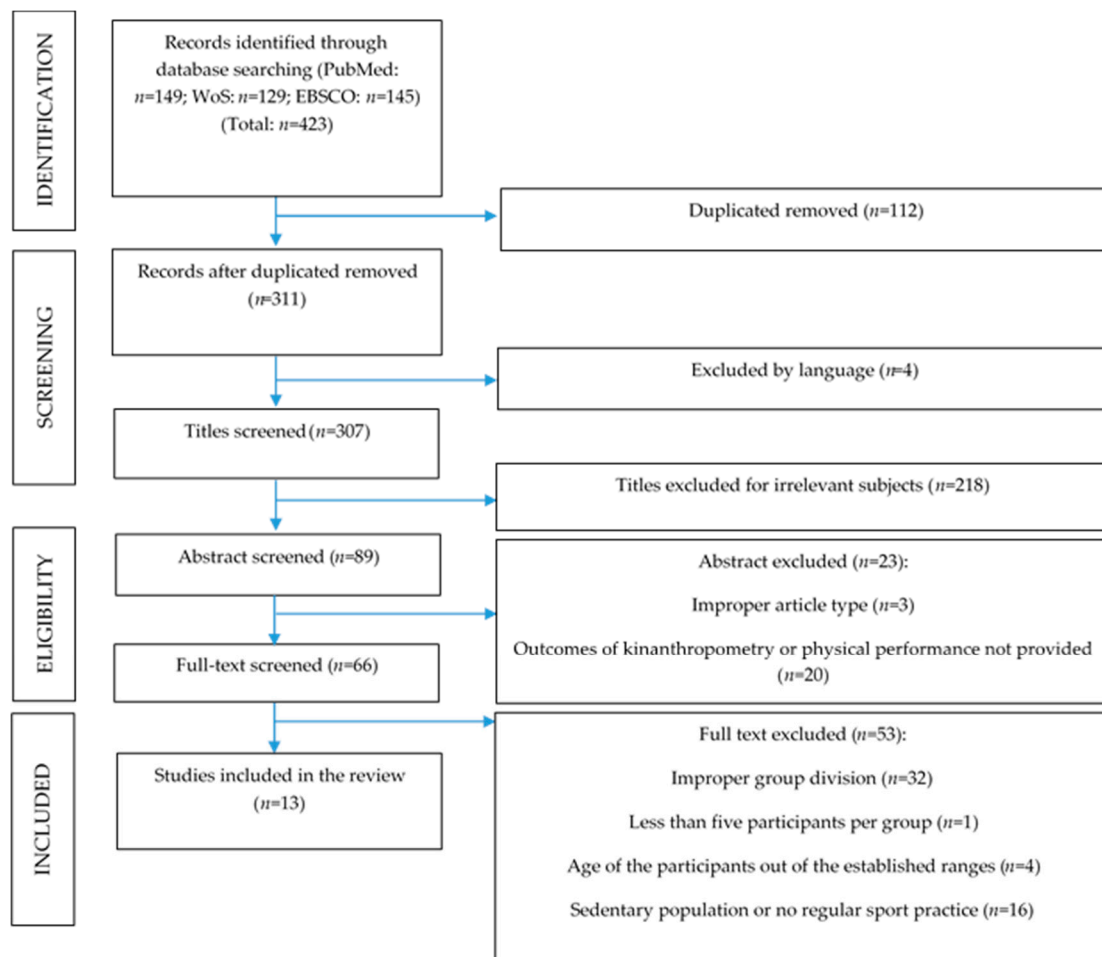
The statistical analysis and meta-analysis were performed using the Comprehensive Meta-Analysis program (version 3, Englewood, Bergen County, NJ, USA). The meta-analysis was completed for continuous data by using the mean and standard deviation

of each variable and according to each maturation status (early, on time, or late). This information was directly extracted from the studies. The analysis was performed when at least two groups were included for the same variable. When a study included more than one group separated by age range or sport, all groups were included in the analyses. For studies that did not include the necessary data, the standard deviation (SD) was calculated and imputed when possible using standard errors and confidence intervals. The DerSimonian-Laird (Cohen) pooling method was used, and heterogeneity was assessed using the Cochrane Q test (Chi<sup>2</sup>), Higgins I<sup>2</sup>, and significance (*p*) to determine the appropriateness of the application of a fixed or random-effect model for the pooled analysis [50]. A meta-analysis with a random-effects model was performed to infer the pooled estimated standardized mean difference (SMD) [51,52]. DerSimonian-Laird (Cohen) was interpreted using Cohen's [53] as small (0 to 0.2), medium (0.3 to 0.7), and large (>0.8). The significant differences were determined at a level of *p* < 0.05.

### 3. Results

#### 3.1. Data Search and Characteristics of the Studies

A total of 423 studies were screened and 13 were finally included in the meta-analysis (Figure 1).



**Figure 1.** Flow diagram for the search and screened and included articles.

The characteristics of the analyzed studies can be observed in Table 1. The quality of the selected studies, assessed with the STROBE scale, can be observed in Table 2. All the studies followed a descriptive design (STROBE scale range 15–20), involving a total of 1431 subjects (1323 males; 108 females). The mean sample size was  $79.50 \pm 43.13$  (range 28–168).

Two studies were carried out with females (15.38%) [34,54], and 11 were carried out with males (84.62%) [9,31–33,42,55–60]. The most represented sport was football ( $n = 5$ ; 38.46%) [32,55,57,59,60], followed by basketball ( $n = 3$ ; 23.07%) [31,33,54] and handball ( $n = 2$ ; 15.38%) [42,58].

Six studies (46.15%) used the APHV estimation formula based on kinanthropometric measurements [9,31,33,42,56,58], five studies (38.46%) used X-ray radiographic methods [32,34,55,57,60], and two studies (15.38%) used sexual maturity methods [54,59] to assess the maturity of the sample. The majority of the studies divided the sample into three maturational groups ( $n = 10$ ; 76.93%) [9,31–33,42,54,55,57,59,60], and three of them into more mature or less mature groups ( $n = 3$ ; 23.07%) [34,56,58].

### 3.2. Physical Fitness Results

Up to 26 different tests were used in the 13 articles included in the analysis. All the studies included in the meta-analysis of the relationship between maturation and physical fitness tests were conducted with males ( $n = 11$ ; 84.62%). None of the physical fitness tests were repeated in the two articles including females ( $n = 2$ ; 15.38%) and the meta-analysis could not be performed in this population group.

Table 3 shows the mean and standard deviation of each physical fitness variable according to early, on time, and late maturation, and meta-analysis data (SMD: standardized mean difference; 95%CI: 95% confidence interval, a: test for overall effect, p: significance). For the early vs on time analysis, and the for early vs late analysis, a positive SMD indicates a higher value for early maturation than on time or late maturation. For the on-time vs late analysis, a positive SMD indicates a higher value for the on-time maturation group than the late maturation group. The meta-analysis showed statistical differences between the early and on-time maturation groups in the squat jump test (SJ) (SMD = 0.23;  $p = 0.04$ ), countermovement jump (CMJ) (SMD = 0.17;  $p = 0.04$ ), medicine ball throw (SMD = 0.99;  $p < 0.001$ ), and handgrip strength (SMD = 1.31;  $p < 0.001$ ), with a better performance for the early maturers group. The analysis of the differences between the early and late maturation groups showed statistical differences in the CMJ (SMD = 0.38;  $p = 0.03$ ), medicine ball throw (SMD = 1.58;  $p < 0.001$ ), handgrip strength (SMD = 2.31;  $p < 0.001$ ), sprint (SMD =  $-0.94$ ;  $p < 0.001$ ), and agility  $t$ -test (SMD =  $-0.52$ ;  $p = 0.001$ ), with the early maturers group obtaining better results. The sprint test (SMD =  $-0.42$ ;  $p = 0.05$ ), handgrip strength (SMD = 1.09;  $p < 0.001$ ), and medicine ball throw (SMD = 0.89;  $p < 0.001$ ) tests showed statistical differences when the on-time and late groups were compared, with the on-time maturer group showing better results. The Yo-Yo test and the sit and reach test did not show statistical differences in any of the groups compared.

Forest plots were created in the cases when there were at least three studies and when at least one of the comparisons between the variables was significant (early vs. late, early vs. on time, or on time vs. late). Figure 2 shows forest plots for SJ, CMJ, medicine ball throw, sprint 20 m, and agility  $t$ -test. Egger's test did not show evidence of publication bias by CMJ on time vs. late (SE = 0.514; 95%CI =  $-0.197$ – $1.296$ ;  $p = 0.128$ ), although light evidence of publication bias by CMJ early vs on time was reported (SE = 0.643; 95%CI = 0.031–2.180;  $p = 0.045$ ).

The most utilized test was the countermovement jump (CMJ), found in 11 articles (84.61%). Two articles (18.18%) found statistical differences for this variable between early and on-time maturation groups [9,55] (Table S1); four articles (36.36%) found differences between early and late maturation groups [33,55,58,59] (Table S1); and only one (9.09%) between on-time and late maturation groups [55] (Table S1). The squat jump test (SJ) and sprint test for different distances were used in seven articles (53.85%, respectively). In the SJ test, statistical differences were found between early and on time groups in one article (14.28%) [55] (Table S2), and between early and late matures in two of them (28.57%) [58,59] (Table S2). None of the articles analyzed found differences in the on-time and late groups in the SJ test (0%) (Table S2). For the sprint test, differences were found in two articles (28.57%) when early and on time maturation groups were compared [31,32] (Table S3); in four

articles (57.14%) when early and late maturation groups were compared [31,32,42,58] (Table S3), and in two (28.57%) articles when the groups compared were on time versus early [32,42] (Table S3). For the Yo-Yo intermittent recovery test ( $n = 6$ ; 46.15%), two articles (33.33%) found statistical differences between early and on-time groups [31,60] (Table S4), four articles (66.67%) found differences when the early and late maturation groups were compared [31,33,55,60] (Table S4), and two articles (33.33%) found differences between on-time and late groups [55,60] (Table S4). The handgrip strength test ( $n = 4$ ; 30.76%) showed statistical differences between all three groups in all the articles (100%) that analyzed this variable [31,34,42,57] (Table S5). All the articles that included the medicine ball throw ( $n = 3$ ; 23.08%) in the physical fitness test found statistical differences between groups (66.67%), except one (33.33%) [33] (Table S6). In the agility *t*-test ( $n = 3$ ; 23.08%), statistical differences were found for the early and on-time groups in one article (33.33%) [31] (Table S7), for the late and early groups in two articles (66.67%) [31,59] (Table S7), and for the on-time and late groups in one article (33.33%) [59] (Table S7). No differences were found in the sit and reach (SR) test ( $n = 2$ ; 15.38%) except for one article in the comparison between early and late matures (50%) [9] (Table S8). More detailed information about the differences between groups in the physical fitness test, including the sample sizes of each group in the different studies and the specific weight (%), can be found in the supplementary materials (Tables S1–S8).

### 3.3. Kinanthropometric Variables Results

Throughout the 13 articles analyzed, a total of 11 kinanthropometric variables were used. Table 3 shows the results of the differences between groups for the kinanthropometric variables, including the means and standard deviations, standardized mean difference (SMD), 95% CI, overall size effect (*Z*), and significance (*p*). The meta-analysis was performed in five kinanthropometric variables in males (body mass, height, sitting height, body mass index (BMI), fat mass percentage) due to the lack of information provided about the other variables. From these, only body mass, height, and BMI could be included in the analysis of the articles performed with females, and there was no possibility for including the on-time maturation group.

In males, all the variables used to compare the three groups showed statistical differences (SMD = 0.37–2.56;  $p < 0.001$ –0.02), showing that early maturation is related to higher values of body mass, height, sitting height, BMI, and fat mass percentage. In females, there were statistical differences between early and late maturers in body mass (SMD = 0.96;  $p < 0.001$ ) and height (SMD = 1.19;  $p < 0.001$ ), finding higher values in these variables for the more mature individuals (Table 3).

Figure 3 shows forest plots for height, sitting height, body mass, and fat mass. Just as with the fitness variables, the forest plots were created when there were at least three studies and when at least one of the comparisons between the variables were significant (early vs late, early vs on time, or on time vs late). No evidence of publication bias was reported by Egger's test for height early vs on-time (SE = 0.152; 95%CI = −1.876–2.925;  $p = 0.637$ ), height early vs late (SE = −0.083; 95%CI: −3.183–2.512;  $p = 0.798$ ), height on time vs. late (SE = 0.540; 95%CI = −0.137–2.883;  $p = 0.070$ ), or weight early vs. late (SE = −0.489; 95%CI = −3.421–0.632;  $p = 0.151$ ).

Table 1. Data extraction of the selected studies.

Author	Sex (n)	Age (X ± SD)	Competitive Level	Sport	Maturation Offset Estimation	Maturation Status	Physical Fitness Tests	Kinanthropometric Measurements and Body Composition
Arede et al. (2018) [33]	M (34)	14.6 ± 0.23	National	Basketball	Method: kinanthropometry; Equation: Mirwald et al. (2002)	Pre-pubertal, pubertal, post-pubertal	SJ, CMJ, ABK, medicinal ball throw (2 kg), sprint (20 m), Yo-Yo intermittent recovery test, agility <i>t</i> -test, sit and reach test	Body mass, height, sitting height
Carling et al. (2012) [61]	M (158)	13.5 ± 0.4	Elite	Football	Method: Hand and wrist radiography; Greulich and Pyle (1959)	Delayed, average, advanced	CMJ, sprint (10, 20, and 40 m), VO2max, quadriceps isokinetic strength	Body mass, height, four skinfolds (triceps, biceps, subscapular, iliac crest), fat mass percentage (method: kinanthropometry; equation: Durnin and Womersley)
Figueiredo et al. (2009) [55]	M (87)	11.0 to 12.0 (11.8 ± 0.53)	Regional	Football	Method: Hand and wrist radiography; Roche (1988) and Tanner (1962)	Late, on time, early	SJ, CMJ, Yo-Yo intermittent recovery test, seven-sprint protocol, agility shuttle run	Body mass, height, sitting height, four skinfolds (triceps, subscapular, iliac crest, calf)
	M (72)	13.0 to 14.9 (14.4 ± 0.56)						
Gastin et al. (2013) [56]	M (52)	-	Regional	Australian Football	Method: kinanthropometry; Equation: Mirwald et al. (2002)	Less mature, more mature	20 m shuttle run test, sprint (20 m)	Body mass, height, sitting height
Gouvea et al. (2016) [57]	M (28)	12.8 ± 1.2	Semi-professional	Football	Method: Hand and wrist radiography; Greulich and Pyle (1959)	Late, on time, early	SJ, CMJ, handgrip strength, sit and reach test, sit-up test, Yo-Yo intermittent recovery test	Body mass, height, fat mass percentage (Method: Bod Pod; equation: Lohman), BMI
Guimaraes et al. (2019) [31]	M (152)	13.3 ± 0.7	Regional	Basketball	Method: kinanthropometry; Equation: Mirwald et al. (2002)	Late, average, early	SJ, CMJ, medicine ball throw (3kg), Yo-Yo intermittent recovery test, sprint (20 m), agility <i>t</i> -test, handgrip strength	Body mass, height, sitting height, leg length
Hammami et al. (2017) [58]	M (56)	12 to 14	Elite	Handball	Method: kinanthropometry; Equation: Moore et al. (2015)	Pre-PHV, post-PHV	SJ, CMJ, SLJ, H-CMJ, H-SJ, 3HOPT, sprint (10, 20, 30 m), agility T-half test, CODAT	Body mass, height, fat mass percentage (method: kinanthropometry; equation: Slaughter)
Leonardi et al. (2018) [54]	F (47)	13.5 (11.5–15.6)	Regional	Basketball	Method: sexual maturation; Age at menarche	Late, average, early	CMJ, Yo-Yo intermittent recovery test, Line Drill test	Body mass, height, BMI, four skinfolds (triceps, subscapular, iliac crest, calf)

Table 1. Cont.

Author	Sex (n)	Age (X ± SD)	Competitive Level	Sport	Maturation Offset Estimation	Maturation Status	Physical Fitness Tests	Kinanthropometric Measurements and Body Composition
López-Plaza et al. (2016) [9]	M (89)	13.7 ± 0.6	Elite	Kayak	Method: kinanthropometry; Equation: Mirwald et al. (2002)	Pre-PHV, circum-PHV, post-PHV	SJ, CMJ, medicine ball throw (3 kg), VO2max	Body mass, height, sitting height, BMI, six skinfolds (triceps, subscapular, biceps, iliac crest, supraspinal, calf), fat mass percentage (method: kinanthropometry; equation: Slaughter), muscle mass percentage (method: kinanthropometry; equation: Poortmans)
	M (82)	13.7 ± 0.6	Elite	Canoe				
Matta et al. (2014) [59]	M (114)	14.2 ± 0.5	Regional	Football	Method: sexual maturation; Marshall and Tanner (1962)	Sexual maturation P3, P4, P5	SJ, CMJ, Yo-Yo intermittent recovery test, RAST, sprint (5, 30 m), agility <i>t</i> -test	Body mass, height, four skinfolds (triceps, subscapular, iliac crest, calf)
Matthys et al. (2012) [42]	M (168)	14.5±0.13	Regional and national	Handball	Method: kinanthropometry; Equation: Mirwald et al. (2002)	Late, on time, early	5-jump test, handgrip strength, sprint (5, 20 m)	Body mass, height, sitting height, body fat percentage (Method: electric bioimpedance)
Sogut et al. (2019) [34]	F (61)	11.8±0.8	National	Tennis	Method: Hand and wrist radiography; Lohman and Roche (1988)	Latest, Earliest	Handgrip strength, hexagon agility test	Body mass, height, sitting height, two skinfolds (triceps, calf), fat mass percentage (method: kinanthropometry; equation: Slaughter)
Valente-Dos Santos et al. (2014) [60]	M (36)	12	Regional	Football	Method: Hand and wrist radiography; Roche (1988) Malina (2004)	Late, on time, early	CMJ, agility shuttle run test, dribbling speed	Body mass, height, two skinfolds (triceps, subscapular), fat mass (method: kinanthropometry; equation: Slaughter), fat free mass
	M (53)	13						
	M (91)	14						
	M (51)	15						

X: mean; SD: standard deviation; M: males; F: females; P3: maturation stage occurring around 12 years old (females) and 13 years old (males); P4: maturation stage occurring around 13 years old (females) and 14 years old (males); P5: maturation stage occurring around 15 years old (males and females); SJ: squat jump; CMJ: countermovement jump; ABK: abalakov jump; SLJ: squat long jump; H-CMJ: horizontal countermovement jump; H-SJ: horizontal squat jump; 3HOPT: three hops test; CODAT: change of direction and acceleration test; RAST: running-based anaerobic sprint test.

**Table 2.** Quality assessment of the selected studies.

Study	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	100%	Total
Arede et al. (2018) [33]	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	68.18	15
Carling et al. (2012) [32]	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	77.27	17
Figueiredo et al. (2009) [55]	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	68.18	15
Gastin et al. (2013) [56]	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	77.27	17
Gouvea et al. (2016) [57]	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	81.82	18
Guimaraes et al. (2019) [31]	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	90.91	20
Hammami et al. (2017) [58]	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	77.27	17
Leonardi et al. (2018) [54]	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	77.27	17
López-Plaza et al. (2016) [9]	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	86.36	19
Matta et al. (2014) [59]	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	72.73	16
Matthys et al. (2012) [42]	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	81.82	18
Sogut et al. (2019) [34]	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	86.36	19
Valente-Dos Santos et al. (2014) [60]	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	86.36	19
Mean of total scores:																						79.37	17.46	

**Table 3.** Means and statistical differences between groups in physical fitness tests and kinanthropometric variables.

	Number of Studies	Early (Mean ± SD)	On Time (Mean ± SD)	Late (Mean ± SD)	Early vs. On Time				Early vs. Late				On Time vs. Late			
					SMD	95% CI	Z	p	SMD	95% CI	Z	p	SMD	95% CI	Z	p
CMJ (m)	8 (Table S1)	0.32 ± 0.05	0.31 ± 0.05	0.30 ± 0.05	0.17	0.01 to 0.33	2.06	0.04	0.38	0.04 to 0.73	2.18	0.03	0.12	−0.07 to 0.31	1.20	0.23
SJ (m)	6 (Table S2)	0.28 ± 0.04	0.27 ± 0.05	0.26 ± 0.06	0.23	0.01 to 0.45	2.08	0.04	0.35	−0.21 to 0.92	1.22	0.22	0.04	−0.26 to 0.33	0.24	0.81
Medicine ball throw (m)	3 (Table S6)	5.96 ± 0.94	5.19 ± 0.71	4.60 ± 0.76	0.99	0.73 to 1.25	7.40	<0.001	1.58	0.94 to 2.23	4.83	<0.001	0.89	0.60 to 1.18	6.04	<0.001
Handgrip strength (kg)	3 (Table S5)	42.50 ± 7.60	33.75 ± 6.35	26.40 ± 5.85	1.31	0.96 to 1.67	7.20	<0.001	2.31	1.79 to 2.84	8.70	<0.001	1.09	0.79 to 1.39	7.12	<0.001
Sprint 20 m (s)	6 (Table S3)	3.24 ± 0.23	3.39 ± 0.20	3.43 ± 0.22	−0.52	−1.07 to 0.04	1.81	0.07	−0.94	−1.54 to −0.34	3.08	<0.001	−0.42	−0.82 to 0.01	1.93	0.05
Yo-Yo test (m)	6 (Table S4)	1150.41 ± 488.92	1243.48 ± 487.34	1154.44 ± 374.73	−0.21	−0.54 to 0.12	1.22	0.22	0.05	−1.08 to 0.08	1.69	0.09	−0.16	−0.37 to 0.05	1.47	0.14
Agility t-test (s)	3 (Table S7)	9.99 ± 0.64	10.10 ± 0.56	10.20 ± 0.50	−0.19	−0.82 to 0.43	0.61	0.54	−0.52	−0.83 to −0.20	3.18	0.001	−0.13	−0.42 to 0.15	0.90	0.37
Sit and reach (m)	4 (Table S8)	0.12 ± 0.08	0.11 ± 0.09	0.11 ± 0.07	0.23	−0.08 to 0.54	1.45	0.15	0.31	−0.08 to 0.70	1.56	0.12	0.02	−0.35 to 0.38	0.09	0.93
Body mass (kg)	11 (Table S10) M	63.47 ± 8.47	54.37 ± 8.00	45.96 ± 7.26	1.07	0.77 to 1.38	6.84	<0.001	2.26	1.49 to 3.02	5.81	<0.001	1.29	0.99 to 1.59	8.41	<0.001
Height (m)	11 (Table S9) M	1.69 ± 0.06	1.63 ± 0.07	1.56 ± 0.13	0.90	0.50 to 1.29	4.44	<0.001	2.09	1.37 to 2.81	5.67	<0.001	1.13	0.76 to 1.50	6.04	<0.001
Sitting height (m)	3 (Table S12) M	86.15 ± 2.96	81.42 ± 2.85	79.91 ± 3.23	1.64	0.92 to 2.36	4.46	<0.001	2.56	1.22 to 3.91	3.74	<0.001	1.76	0.77 to 2.75	3.47	<0.001
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	1 (Table S13) M	21.93 ± 2.59	20.52 ± 2.38	18.76 ± 1.73	0.54	0.20 to 0.88	3.13	0.002	1.35	0.65 to 2.05	3.80	<0.001	0.82	0.36 to 1.28	3.52	<0.001
Fat mass (%)	5 (Table S11) M	15.76 ± 5.32	13.75 ± 4.60	12.49 ± 4.77	0.37	0.06 to 0.67	2.33	0.02	0.52	−0.06 to 1.09	1.77	0.07	0.47	0.22 to 0.72	3.65	<0.001
Body mass (kg)	2 (Table S15) F	54.8 ± 10.10	–	44.75 ± 8.80	–	–	–	–	0.96	0.54 to 1.39	4.42	<0.001	–	–	–	–
Height (m)	2 (Table S14) F	1.62 ± 0.06	–	1.53 ± 0.08	–	–	–	–	1.19	0.75 to 1.63	5.31	<0.001	–	–	–	–
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	2 (Table S16) F	20.5 ± 3.27	–	18.65 ± 2.54	–	–	–	–	0.56	−0.21 to 1.32	1.43	0.15	–	–	–	–

SJ: Squat jump; CMJ: Countermovement jump; BMI: Body mass index; SMD: Standardized mean differences.



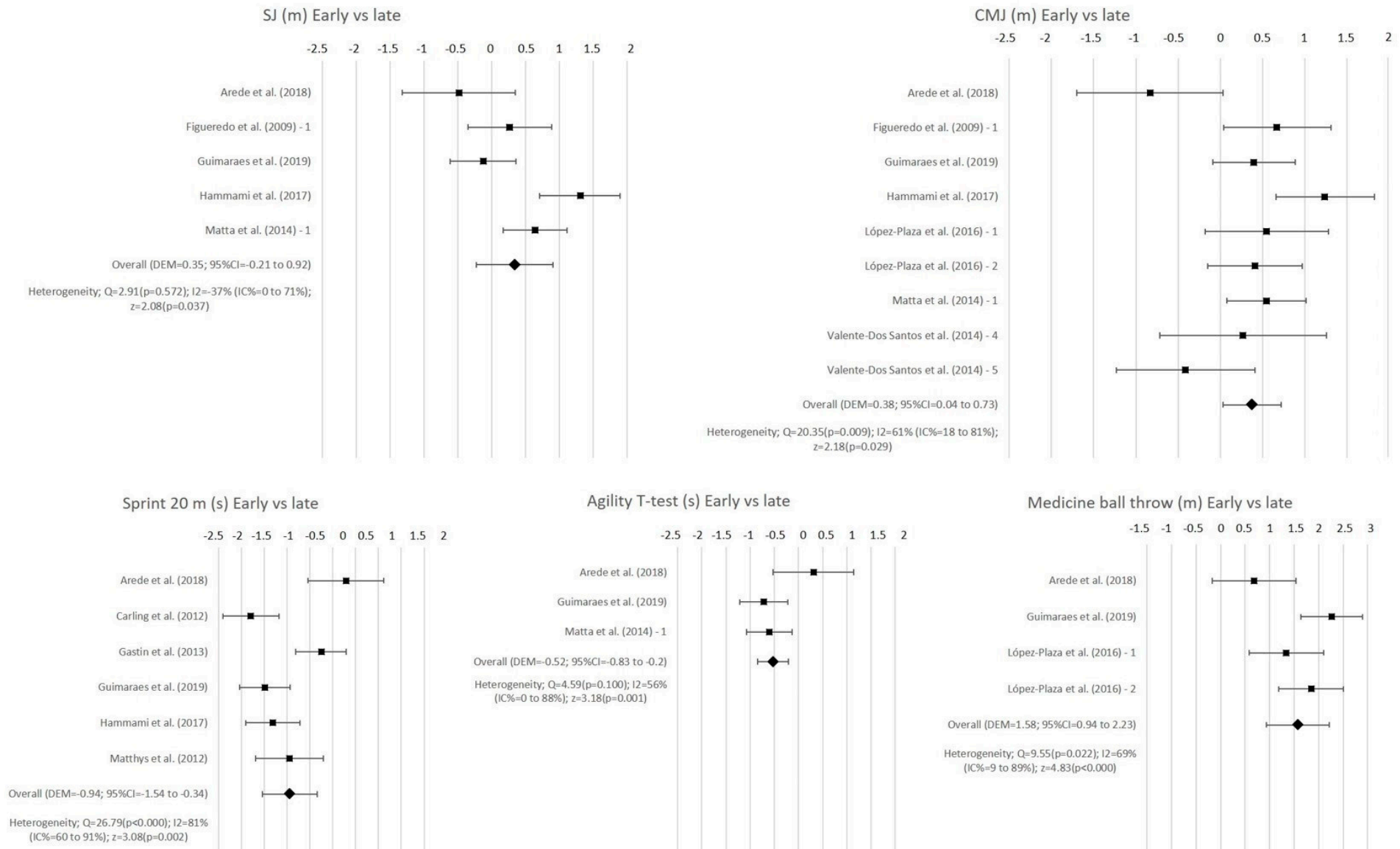


Figure 2. Forest plot of early and late maturation for physical fitness tests.

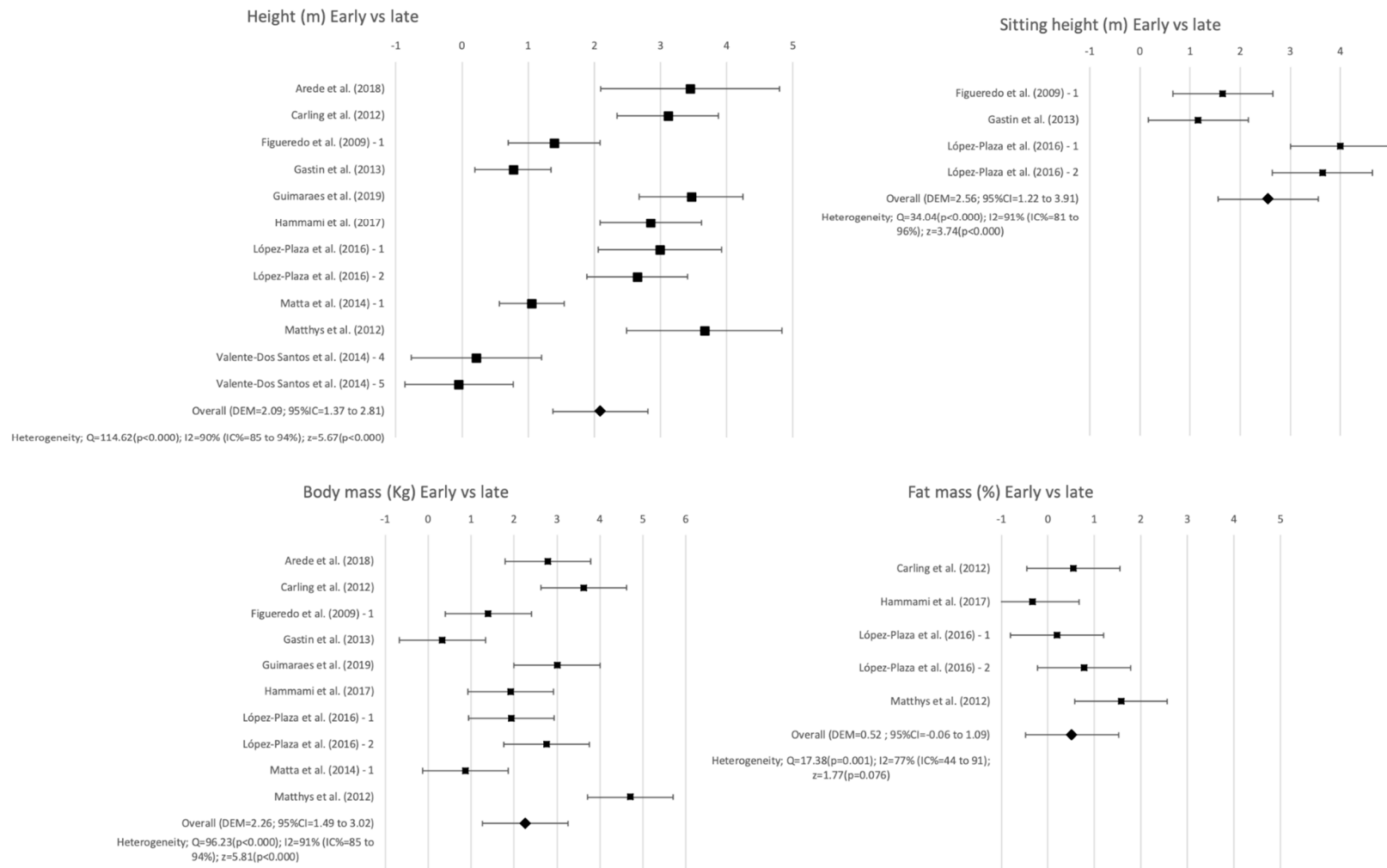


Figure 3. Forest plot of early and late maturation for kinanthropometric variables.

All of the articles provided information about the height and body mass of the participants ( $n = 13$ ; 100%). Statistical differences were found between the three groups for the height except in one article (7.7%) [60] (Tables S9 and S14). All the articles reported statistical differences in body mass between groups except Matta et al. (7.7%) [59] when the early and on time groups were compared, and Gastin et al. (7.7%) [56] when early and late groups were compared (Tables S10 and S15). The fat mass percentage was assessed in seven articles (53.84%). Only one article found statistical differences in fat mass percentage between early and on time groups (14.28%) [42] (Table S11), three articles found statistical differences between early and late groups (42.86%) [9,32,42] (Table S11), and four articles found differences between on-time and late groups (57.14%) [9,32,42,57] (Table S11). Sitting height was used in six articles (46.16%), but only three included the data in the results [9,55,56]. Statistical differences were found for all the groups in the sitting height (100%) [9,55,56] (Table S12). The BMI differences were analyzed in three articles (23.07%). Statistical differences were found for all the groups, except in the comparison between late and early maturers according to Sogut et al. (33.33%) [34], and in the comparison between on-time and late maturers according to López-Plaza et al. (33.33%) [9] (Tables S13 and S16). More detailed information about the differences between groups for the kinanthropometric variables, including the sample sizes of each group in the different studies and the specific weight (%), can be found in the supplementary materials (Tables S9–S16).

#### 4. Discussion

The main objective of the present review with meta-analysis was to show the relationships between different biological maturation stages and the physical fitness of young athletes. The biological maturation showed to have a statistically significant relationship with physical fitness in males. When a comparison between different maturation groups was performed, a tendency to obtain better results was observed when the maturation process was more advanced. Analyzing the overall differences between maturation groups, significant differences were found in medicine ball throw and handgrip strength tests. Furthermore, significant differences were found in CMJ between early and on time, and early and late groups; in sprint between early and late, and on time and late groups; in the SJ test between early and on time groups; and agility  $t$ -tests between early and late groups. All the tests where the differences were found were related to the ability to produce power and strength [9,33]. The production of strength is dependent on neural factors in the early stages of the training adaptations, but it is also highly influenced by an increase in muscle mass [62,63]. Among the factors that positively affect the production of muscle power, it has been observed that one of the key factors is muscle mass, with a relationship existing between the increase of muscle mass and the production of power [64,65]. Testosterone, which is an index of the hypothalamic–pituitary–gonadal axis, a primary neuroendocrine system involved in advancing puberty, has a marked increase during adolescence in males [65]. After adolescence, male subjects could have up to 30 times more testosterone [66]. This steroid hormone plays a determinant role in sports performance, because of the effect that it produces in lean muscle mass gain [66,67]. This could explain the better results obtained by the more matured subjects with respect to their less matured peers in the physical fitness test that directly depended on the muscle mass. However, from the analyzed studies, only two studies included variables related to muscle mass [9,60]. López-Plaza et al. [9] analyzed the percentage of muscle mass, without finding differences between groups. Due to the use of a relative value to assess the muscle mass (%) instead of the absolute weight of muscle mass (kg) [9], and together with the fact that other body masses such as fat mass can increase during the period of growth, as found in the present study, the use of muscle percentages could indicate that some information is missing about the absolute differences between maturation groups as related to muscle mass, which could explain the differences in the performance. Valente dos Santos et al. [60] assessed the fat-free mass by subtracting the fat mass from the total body mass. The fat-free mass includes various tissues such as bone mass, skin mass, or visceral mass, apart from

muscle mass [7,68], which can lead to an underestimation of the changes produced in muscles. Future research studies could clarify the relationship between muscle mass and performance in young athletes.

No differences were found in the Yo-Yo test or the sit and reach test. The Yo-Yo test is used to assess the  $\text{VO}_2$  Max, as the main variable of aerobic capacity [33,55]. The aerobic performance seems to be more influenced by training variables than by other variables [69–71], and the age at the peak of better performance has been shown to be far from adolescence development [72], which could be an explanation for the lack of differences between maturation groups. The sit and reach test assesses the extensibility of the hamstring muscles [73]. This musculature tends to shorten due to the histological and biomechanical factors but can also be influenced by the age and the practice of certain sports [74,75]. In contrast, extensibility seems to be sensitive to the changes produced by the training, improving the stretch tolerance, and producing morphological and neurological adaptations [76]. The compensatory effects of training, against the tendency to shorten shown by the hamstring, could be the cause of the absence of statistical differences between maturation groups.

When kinanthropometric variables were compared, significant differences were found in body mass, height, and sitting height in males. Females showed statistical differences in body mass and height. The maturation process seemed to have a statistically significant relationship with the kinanthropometric variables, as long as the early maturers showed higher values in all the variables. The differences shown in body mass and height could be related to the changes in hormone concentration around the APHV [10]. Along this line, sex steroids, whose concentration increases during the maturation process [66], play an important role in the fat and lean mass accumulation [77] and could be the cause of the differences observed in body mass. Moreover, growth hormone (GH) has an important influence on the maturation process [78]. An increase in the GH concentration has been observed during puberty, doubling prior basal values [79]. Height is markedly influenced by GH. Therefore, the differences observed in height between the groups could be related to the fact that GH increase is closely related in time to the PHV [79]. Furthermore, the body does not grow proportionally, and growth starts earlier in the cranial, proximal, and general structures [10,11]. As a consequence, early maturers showed higher sitting height than late maturers. However, none of the studies analyzed the changes in females, so this is an important issue for future research.

The current study found that the maturation process seemed to have a statistical relationship with BMI in males but not in females. BMI is a variable that relates body mass and height [80]. Height is mainly influenced by GH during the growing period in both sexes [79]. In spite of this, body mass could not differentiate between fat, muscle, bone, skin and residual masses [80] and, although all of them increased during the growing period [81,82], these changes depend on sex. Along this line, males showed a higher increase in muscle mass as a consequence of testosterone changes [66]. Muscle mass weighs more than the other masses [83,84], which could induce a higher increase in body mass which could not be compensated with the increase in height in males. Despite these promising results, questions remain.

Another important result was that the maturational process was shown to have an influence on fat percentage in males [29,30,85]. None of the studies analyzed changes in females. The differences found between the early and on-time groups, and on-time and late groups could be related to the positive relationship between an increased amount of adipose tissue and an earlier and shorter maturational process [29,30]. Furthermore, the interaction between the sex hormones and the GH/Insulin-like Growth Factor-I axis seemed to be the prime determinants of changing body composition during adolescence, so changes around PHV could be influencing the differences found in fat mass [81,82]. Despite these promising results, questions remain about the changes depending on sex.

The articles included in the meta-analysis showed a moderate to high heterogeneity in both the kinanthropometric and physical fitness variables (Figures 2 and 3). This heterogeneity could be due to the differences between the methods used to assess these

variables. All the tests used to assess physical fitness were widely used, reliable, and valid tests [73,86–91]. There was strong evidence of the positive effects of warming up on sports performance [92]. However, only five articles indicated warming-up before the physical fitness test [9,32,34,42,58], and only López-Plaza et al. [9] described it in detail. The differences in the warm-up protocols could be a risk of bias in the results of physical fitness tests. Another concern about the measurement protocol was the order of the tests performed. Only Matthys et al. [42] provided a specified order in the administration of the tests. It has been shown that the order of the physical tests is important for the final results, as the fatigue caused by the different tests can have an influence on the performance of the latter assessments [93]. The protocols used to assess the kinanthropometric variables also varied among the articles included. The standardized protocols described by Lohman et al. (1988) [42,55,57,59,60], the International Society for the Advancement in Kinanthropometry [9], and the International Working Group on Kinanthropometry [31] were used, and six of the articles did not specify the method followed for the measurements [32–34,54,56,58]. Despite it being a valid and reliable method, kinanthropometry assessment can be negatively affected by external factors, such as the methodology used or the researcher's experience [15,16]. It has been shown that a percentage of error of 11% can be introduced in the results due to the protocol and the researcher's training [15,16]. Moreover, four estimation formulas were used to assess the fat mass percentage (Table 1). There is evidence that shows that the results of fat mass obtained with different equations are not interchangeable nor comparable [94]. This lack of agreement in the methods used could be affecting the results shown in the different articles included in the meta-analysis. On the other hand, there was no agreement on the method used to assess the maturation offset, using up to four different methods to assess the biological maturation (radiography, anthropometry, development of the secondary sexual characteristics, and age at menarche). Furthermore, even in the articles that assess the maturation with the same method, different protocols are used, which could be a potential risk of bias of the results obtained in the meta-analysis. Most of the studies used hand and wrist radiography methods, considered the gold standard of the maturity status assessment [32,34,55,57,60], or regression equations validated in broad samples of both sexes [9,31,33,42,56,58]. Two studies used the secondary sexual characteristic methods [54,59], which could increase the risk of bias due to the subjectivity of the procedures [11]. Moreover, Hammami et al. [58] and Sogut et al. [34] only divided their samples into two groups, instead of distinguishing between early, on-time, and late maturers, as proposed in previous research studies [10] and accepted in the majority of studies. This difference in the classification of the subjects could provoke a loss of information in relation to those subjects whose maturational status is  $\pm 1$  year from APHV with respect to their late or early maturer peers [10].

Throughout the analysis, some limitations in the current literature were observed. The most remarkable was the lack of studies performed with female populations. Only two studies were found that analyzed the relationship of biological maturation with the kinanthropometric and physical fitness variables in females [34,54]. Thus, due to the variables included, only the height, body mass, and BMI could be included in the meta-analysis, and none of the physical fitness tests met the inclusion criteria because of the lack of agreement in the assessment [34,54]. Another prominent limitation of the present literature was that muscle mass, bone mass, and proportionality information was not provided in the included research studies. The influence of muscle mass on sports performance and the development that occurs during maturation have been extensively documented [23,62,63,84]. Furthermore, the bone mass plays an important role in sports performance, as the structural support of the plastic components [28]; or in the body proportionality variables, where studies on various sports have shown that certain bone proportions could favor the performance in specific sports such as Olympic weightlifting, swimming or combat sports [27,95,96].

There are some practical applications derived from the results obtained. The relationships shown in this meta-analysis between the CMJ, SJ, handgrip strength test, medicinal

ball throw, and agility *t*-test results with the maturation process make it necessary to take into account the biological maturation of the young athletes when these tests are used in a talent identification process. However, other tests such as the Yo-Yo test or the sit and reach test seem to have less relation with the maturity of the athletes, which may indicate that the results in these tests could be compared regardless of the maturation process. Furthermore, the results of the fitness tests are expressed in absolute values and could have been influenced by the changes in the kinanthropometric variables. Relative measures according to different kinanthropometric variables could help to clarify this relationship.

Due to this, future lines of research could aim to improve the evidence of the relationship of biological maturation with kinanthropometric and physical fitness in females; to analyze the influence of biological maturation on kinanthropometry and physical test with longitudinal designs; to clarify the effect of the changes in kinanthropometric measurements on the physical fitness performance; to relativize the fitness test results related to biological maturation according to different kinanthropometric variables, specifically in those kinanthropometric variables that change during puberty and may influence the result of the fitness test; to investigate the relationship of biological maturation with muscle mass and the relationship with physical performance; and to improve the knowledge about the evolution of proportionality variables during the maturation process, and the relationship with physical and sports performance.

## 5. Conclusions

Biological maturation seems to have a significant relationship with the kinanthropometric and physical fitness variables in males. Early maturers showed higher values of body mass, height, BMI, and fat mass percentage, and also showed better results in physical fitness tests, with marked differences in medicine ball throw, handgrip strength, CMJ, and SJ, tests that were dependent on strength and the production of power, probably as a result of the changes in the hormonal environment and the effect on muscle gain. However, maturational status seems not to have a relationship with the Yo-Yo test and sit and reach results. Few studies were found with females, and differences were only found between early and late maturers in body mass and height, so more research would be necessary. The relationships shown in this meta-analysis between the strength-dependent fitness test with the maturation process make it necessary to assess the biological maturation when these tests aim to help in a talent identification process. In spite of this, more research is needed to clarify the relationship of maturation with physical fitness and kinanthropometric variables in female populations and the changes in the muscle and bone variables during the maturation processes of both sexes.

**Supplementary Materials:** The following are available online at <https://www.mdpi.com/1660-4601/18/1/328/s1>, Figure S1: Funnel plot for the CMJ, height, and body mass variables. Table S1: Comparison between maturational groups for countermovement jump. Table S2: Comparison between maturational groups for squat jump. Table S3: Comparison between maturational groups for sprint test. Table S4: Comparison between maturational groups for Yo-Yo test. Table S5: Comparison between maturational groups for handgrip strength. Table S6: Comparison between maturational groups for medicinal ball throw. Table S7: Comparison between maturational groups for *t*-test. Table S8: Comparison between maturational groups for sit and reach test. Table S9: Comparison between maturational groups for height. Table S10: Comparison between maturational groups for body mass. Table S11: Comparison between maturational groups fat mass percentage. Table S12: Comparison between maturational groups for sitting height. Table S13: Comparison between maturational groups for BMI. Table S14: Comparison between early and late maturers groups for height. Table S15: Comparison between early and late maturers groups for body mass. Table S16: Comparison between early and late maturers groups for BMI.

**Author Contributions:** Conceptualization, F.E.-R., R.V.-C., and M.A.-S.; methodology, M.A.-S., R.V.-C., and N.G.-G.; formal analysis, M.A.-S. and N.G.-G.; investigation, M.A.-S. and R.V.-C.; data curation, M.A.-S. and R.V.-C.; writing—original draft preparation, M.A.-S., N.G.-G. and R.V.-C.; writing—review and editing, F.E.-R., M.A.-S., R.V.-C., and N.G.-G.; supervision, F.E.-R.; project administration,

F.E.-R.; funding acquisition, F.E.-R. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** This research was funded by Catholic University San Antonio of Murcia (UCAM), grant number: PEMAFI 08/19. The participation of M.A.-S. in the research was possible thanks to a pre-doctoral contract for the training of research personnel, included in the UCAM's own Research Plan 2018–2019: Human resources enhancement program.

**Institutional Review Board Statement:** Not applicable.

**Informed Consent Statement:** Not applicable.

**Data Availability Statement:** The datasets generated and analyzed for this study can be requested by correspondence authors in rvaquero@ucam.edu and ngonzalez@ucam.edu.

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest.

## References

- Pion, J.; Segers, V.; Franssen, J.; Debuyck, G.; Deprez, D.; Haerens, L.; Vaeyens, R.; Philippaerts, R.; Lenoir, M. Generic anthropometric and performance characteristics among elite adolescent boys in nine different sports. *Eur. J. Sport Sci.* **2015**, *15*, 357–366. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Peña-González, I.; Fernández-Fernández, J.; Moya-Ramón, M.; Cervelló, E. Relative Age Effect, Biological Maturation, and Coaches' Efficacy Expectations in Young Male Soccer Players. *Res. Q. Exerc. Sport* **2018**, *89*, 373–379. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Hertzog, M.; Paul, D.J.; Nassis, G.P.; Silva, J.R. Does Early Recruitment Predict Greater Physical Performance in Academy Soccer Players? *Sports* **2018**, *6*, 108. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Johnston, K.; Wattie, N.; Schorer, J.; Baker, J. Talent Identification in Sport: A Systematic Review. *Sports Med.* **2018**, *48*, 97–109. [[CrossRef](#)]
- López-Plaza, D.; Alacid, F.; Muyor, J.M.; López-Miñarro, P. Sprint kayaking and canoeing performance prediction based on the relationship between maturity status, anthropometry and physical fitness in young elite paddlers. *J. Sports Sci.* **2017**, *35*, 1083–1090. [[CrossRef](#)]
- Sánchez Muñoz, C.; Muros, J.J.; López Belmonte, Ó.; Zabala, M. Anthropometric Characteristics, Body Composition and Somatotype of Elite Male Young Runners. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2020**, *17*, 674. [[CrossRef](#)]
- Carter, J. Body composition of Montreal Olympic athletes. In *Physical Structure of Olympic Athletes Part I: The Montreal Olympic Games Anthropological Project*; Carter, J., Ed.; Karger: Basel, Switzerland, 1982.
- Booyesen, M.J.; Gradidge, P.J.; Constantinou, D. Anthropometric and Motor Characteristics of South African National Level Female Soccer Players. *J. Hum. Kinet* **2019**, *66*, 121–129. [[CrossRef](#)]
- López-Plaza, D.; Alacid, F.; Muyor, J.M.; López-Miñarro, P. Differences in Anthropometry, Biological Age and Physical Fitness Between Young Elite Kayakers and Canoeists. *J. Hum. Kinet* **2017**, *57*, 181–190. [[CrossRef](#)]
- Malina, R.M.; Bouchard, C. *Growth, Maturation, and Physical Activity*; Human Kinetics Books: Champaign, IL, USA, 1991.
- Mirwald, R.L.; Baxter-Jones, A.D.; Bailey, D.A.; Beunen, G.P. An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2002**, *34*, 689–694.
- Greulich, W.; Pyle, S.J. *Radiographic Atlas of Skeletal Development of the Hand Wrist*, 2nd ed.; Stanford University Press: Menlo Park, CA, USA, 1959.
- Tanner, J.; Whitehouse, R.; Cameron, N.; Marshall, W.; Healy, M.; Goldstein, H. *Assessment of Skeletal Maturity and Prediction of Adult Height (TW2 Method)*, 2nd ed.; Academic Press: London, UK, 1975.
- Mills, K.; Baker, D.; Pacey, V.; Wollin, M.; Drew, M.K. What is the most accurate and reliable methodological approach for predicting peak height velocity in adolescents? A systematic review. *J. Sci. Med. Sport* **2017**, *20*, 572–577. [[CrossRef](#)]
- Ayvaz, G.; Çimen, A.R. Methods or body composition analysis in adults. *Open Obes. J.* **2011**, *3*, 62–69. [[CrossRef](#)]
- Mattsson, S.; Thomas, B.J. Development of methods for body composition studies. *Phys. Med. Biol.* **2006**, *51*, 203–228. [[CrossRef](#)]
- Marshall, W.A.; Tanner, J.M. Variations in the pattern of pubertal changes in boys. *Arch. Dis. Child.* **1970**, *45*, 13–23. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Marshall, W.A.; Tanner, J.M. Variations in pattern of pubertal changes in girls. *Arch. Dis. Child.* **1969**, *44*, 291–303. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Desmangles, J.C.; Lappe, J.M.; Lipaczewski, G.; Haynatzki, G. Accuracy of pubertal Tanner staging self-reporting. *J. Pediatr. Endocrinol. Metab.* **2006**, *19*, 213–221. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Sierra-Díaz, M.J.; González-Villora, S.; Pastor-Vicedo, J.C.; Serra-Olivares, J. Soccer and Relative Age Effect: A Walk among Elite Players and Young Players. *Sports* **2017**, *5*, 5. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Isorna-Folgar, M.; Vaquero-Cristóbal, R.; Vinuesa-González, J.C.; Rial-Boubeta, A. The effect of relative age on participation in the national sport training plan and the achievement of sporting success in canoeing. *Apunts. Ef Y D* **2014**, *1*, 46–53.
- Hulthén, L.; Bengtsson, B.A.; Sunnerhagen, K.S.; Hallberg, L.; Grimby, G.; Johannsson, G. GH is needed for the maturation of muscle mass and strength in adolescents. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* **2001**, *86*, 4765–4770. [[CrossRef](#)]

23. Neu, C.M.; Rauch, F.; Rittweger, J.; Manz, F.; Schoenau, E. Influence of puberty on muscle development at the forearm. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* **2002**, *283*, E103–E107. [[CrossRef](#)]
24. Kanehisa, H.; Yata, H.; Ikegawa, S.; Fukunaga, T. A cross-sectional study of the size and strength of the lower leg muscles during growth. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* **1995**, *72*, 150–156. [[CrossRef](#)]
25. Tanda, G.; Knechtle, B. Marathon performance in relation to body fat percentage and training indices in recreational male runners. *Open Access J. Sports Med.* **2013**, *4*, 141–149. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
26. Knechtle, B.; Rosemann, T. Skin-fold thickness and race performance in male mountain ultra-marathoners. *JHSE* **2009**, *4*, 211–220. [[CrossRef](#)]
27. Keogh, J.W.; Hume, P.A.; Pearson, S.N.; Mellow, P.J. Can absolute and proportional anthropometric characteristics distinguish stronger and weaker powerlifters? *J. Strength Cond. Res.* **2009**, *23*, 2256–2265. [[CrossRef](#)]
28. Holway, F.E.; Garavaglia, R. Kinanthropometry of Group I rugby players in Buenos Aires, Argentina. *J. Sports Sci.* **2009**, *27*, 1211–1220. [[CrossRef](#)]
29. Sandhu, J.; Ben-Shlomo, Y.; Cole, T.J.; Holly, J.; Davey Smith, G. The impact of childhood body mass index on timing of puberty, adult stature and obesity: A follow-up study based on adolescent anthropometry recorded at Christ’s Hospital (1936–1964). *Int. J. Obes.* **2005**, *30*, 14–22. [[CrossRef](#)]
30. Holmgren, A.; Niklasson, A.; Nierop, A.F.; Gelande, L.; Aronson, A.S.; Sjöberg, A.; Lissner, L.; Albertsson-Wikland, K. Pubertal height gain is inversely related to peak BMI in childhood. *Pediatr. Res.* **2017**, *81*, 448–454. [[CrossRef](#)]
31. Guimarães, E.; Ramos, A.; Janeira, M.A.; Baxter-Jones, A.D.G.; Maia, J. How Does Biological Maturation and Training Experience Impact the Physical and Technical Performance of 11-14-Year-Old Male Basketball Players? *Sports* **2019**, *7*, 243. [[CrossRef](#)]
32. Carling, C.; Le Gall, F.; Malina, R.M. Body size, skeletal maturity, and functional characteristics of elite academy soccer players on entry between 1992 and 2003. *J. Sports Sci.* **2012**, *30*, 1683–1693. [[CrossRef](#)]
33. Arede, J.; Paulo Ferreira, A.; Gonzalo-Skok, O.; Leite, N. Maturation Development as a Key Aspect in Physiological Performance and National-Team Selection in Elite Male Basketball Players. *Int. J. Sports Physiol.* **2019**, *14*, 902–910. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
34. Söğüt, M.; Luz, L.G.O.; Kaya, Ö.B.; Altunsoy, K.; Doğan, A.A.; Kirazci, S.; Clemente, F.M.; Nikolaidis, P.T.; Rosemann, T.; Knechtle, B. Age- and Maturity-Related Variations in Morphology, Body Composition, and Motor Fitness among Young Female Tennis Players. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2019**, *16*, 2412. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
35. Murtagh, C.F.; Brownlee, T.E.; O’Boyle, A.; Morgans, R.; Drust, B.; Erskine, R.M. Importance of Speed and Power in Elite Youth Soccer Depends on Maturation Status. *J. Strength Cond Res.* **2018**, *32*, 297–303. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
36. Gil, S.M.; Zabala-Lili, J.; Bidaurrezaga-Letona, I.; Aduna, B.; Lekue, J.A.; Santos-Concejero, J.; Granados, C. Talent identification and selection process of outfield players and goalkeepers in a professional soccer club. *J. Sports Sci.* **2014**, *32*, 1931–1939. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
37. Carvalho, H.M.; Lekue, J.A.; Gil, S.M.; Bidaurrezaga-Letona, I. Pubertal development of body size and soccer-specific functional capacities in adolescent players. *Res. Sports Med.* **2017**, *25*, 421–436. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
38. Bidaurrezaga-Letona, I.; Lekue, J.A.; Amado, M.; Gil, S.M. Progression in Youth Soccer: Selection and Identification in Youth Soccer Players Aged 13–15 Years. *J. Strength Cond. Res.* **2019**, *33*, 2548–2558. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
39. Bidaurrezaga-Letona, I.; Carvalho, H.M.; Lekue, J.A.; Santos-Concejero, J.; Figueiredo, A.J.; Gil, S.M. Longitudinal field test assessment in a Basque soccer youth academy: A multilevel modeling framework to partition effects of maturation. *Int. J. Sports Med.* **2015**, *36*, 234–240. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
40. Gil, S.M.; Badiola, A.; Bidaurrezaga-Letona, I.; Zabala-Lili, J.; Gravina, L.; Santos-Concejero, J.; Lekue, J.A.; Granados, C. Relationship between the relative age effect and anthropometry, maturity and performance in young soccer players. *J. Sports Sci.* **2014**, *32*, 479–486. [[CrossRef](#)]
41. Beets, M.; Hammer, S.; Pitetti, K. Relationship Of Maturation And Sport Participation To 20-m Shuttle Run Performance In High School Girls. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2005**, *37*, S17. [[CrossRef](#)]
42. Matthys, S.P.; Vaeyens, R.; Coelho, E.S.M.J.; Lenoir, M.; Philippaerts, R. The contribution of growth and maturation in the functional capacity and skill performance of male adolescent handball players. *Int. J. Sports Med.* **2012**, *33*, 543–549. [[CrossRef](#)]
43. Liberati, A.; Altman, D.G.; Tetzlaff, J.; Mulrow, C.; Gøtzsche, P.C.; Ioannidis, J.P.; Clarke, M.; Devereaux, P.J.; Kleijnen, J.; Moher, D. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate healthcare interventions: Explanation and elaboration. *BMJ* **2009**, *339*, b2700. [[CrossRef](#)]
44. Eberbach, H.; Hohloch, L.; Feucht, M.J.; Konstantinidis, L.; Südkamp, N.P.; Zwingmann, J. Operative versus conservative treatment of apophyseal avulsion fractures of the pelvis in the adolescents: A systematical review with meta-analysis of clinical outcome and return to sports. *BMC Musculoskelet Disord.* **2017**, *18*, 162. [[CrossRef](#)]
45. McHugh, M.L. Interrater reliability: The kappa statistic. *Biochem. Med.* **2012**, *22*, 276–282. [[CrossRef](#)]
46. von Elm, E.; Altman, D.G.; Egger, M.; Pocock, S.J.; Gøtzsche, P.C.; Vandenbroucke, J.P. Declaración de la Iniciativa STROBE (Strengthening the Reporting of Observational studies in Epidemiology): Directrices para la comunicación de estudios observacionales. *Gac. Sanit.* **2008**, *22*, 144–150. [[CrossRef](#)]
47. Egger, M.; Davey Smith, G.; Schneider, M.; Minder, C. Bias in meta-analysis detected by a simple, graphical test. *BMJ* **1997**, *315*, 629–634. [[CrossRef](#)]
48. Rosenthal, R. The file draw problem and tolerance for null results. *Psychol. Bull.* **1979**, *86*, 638–641. [[CrossRef](#)]



49. Sterne, J.A.; Sutton, A.J.; Ioannidis, J.P.; Terrin, N.; Jones, D.R.; Lau, J.; Carpenter, J.; Rücker, G.; Harbord, R.M.; Schmid, C.H.; et al. Recommendations for examining and interpreting funnel plot asymmetry in meta-analyses of randomised controlled trials. *BMJ* **2011**, *343*, d4002. [[CrossRef](#)]
50. Ioannidis, J.P. Interpretation of tests of heterogeneity and bias in meta-analysis. *J. Eval. Clin. Pr.* **2008**, *14*, 951–957. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
51. Higgins, J.P.; Thompson, S.G. Controlling the risk of spurious findings from meta-regression. *Stat. Med.* **2004**, *23*, 1663–1682. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
52. Knapp, G.; Hartung, J. Improved tests for a random effects meta-regression with a single covariate. *Stat. Med.* **2003**, *22*, 2693–2710. [[CrossRef](#)]
53. Cohen, J. *Statistical Power Analysis for Behavioral Science*, 2nd ed.; Lawrence Erlbaum Associates: Hillsdale, MI, USA, 1988.
54. Leonardi, T.J.; Paes, R.P.; Breder, L.; Foster, C.; Goncalves, C.E.; Carvalho, H.M. Biological maturation, training experience, body size and functional capacity of adolescent female basketball players: A Bayesian analysis. *Int. J. Sports Sci. Coa* **2018**, *13*, 713–722. [[CrossRef](#)]
55. Figueiredo, A.J.; Gonçalves, C.E.; Coelho-E-Silva, M.J.; Malina, R.M. Youth soccer players, 11-14 years: Maturity, size, function, skill and goal orientation. *Ann. Hum. Biol.* **2009**, *36*, 60–73. [[CrossRef](#)]
56. Gastin, P.B.; Bennett, G.; Cook, J. Biological maturity influences running performance in junior Australian football. *J. Sci. Med. Sport* **2013**, *16*, 140–145. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
57. Gouvea, M.; Cyrino, E.S.; Ribeiro, A.S.; da Silva, D.R.P.; Ohara, D.; Valente-dos-Santos, J.; Coelho-e-Silva, M.J.; Ronque, E. Influence of Skeletal Maturity on Size, Function and Sport-specific Technical Skills in Youth Soccer Players. *Int. J. Sports Med.* **2016**, *37*, 464–469. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
58. Hammami, R.; Sekulic, D.; Selmi, M.A.; Fadhoun, M.; Spasic, M.; Uljevic, O.; Chaouachi, A. Maturity status as a determinant of the relationships between conditioning qualities and preplanned agility in young handball athletes. *J. Strength Cond. Res.* **2018**, *32*, 2302–2313. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
59. Matta, M.d.O.; Figueiredo, A.J.B.; Garcia, E.S.; Seabra, A.F.T. Morphological, maturational, functional and technical profile of young Brazilian soccer players. *Rev. Bras. Cineantropometria Desempenho Hum.* **2014**, *16*, 277–286. [[CrossRef](#)]
60. Valente-Dos-Santos, J.; Coelho-E-Silva, M.J.; Vaz, V.; Figueiredo, A.J.; Capranica, L.; Sherar, L.B.; Elferink-Gemser, M.T.; Malina, R.M. Maturity-associated variation in change of direction and dribbling speed in early pubertal years and 5-year developmental changes in young soccer players. *J. Sports Med. Phys. Fit.* **2014**, *54*, 307–316.
61. Carling, C.; Orhant, E. Variation in body composition in professional soccer players: Interseasonal and intraseasonal changes and the effects of exposure time and player position. *J. Strength Cond. Res.* **2010**, *24*, 1332–1339. [[CrossRef](#)]
62. Moritani, T.; de Vries, H.A. Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *Am. J. Phys. Med.* **1979**, *58*, 115–130.
63. Petré, H.; Wernstål, F.; Mattsson, C.M. Effects of Flywheel Training on Strength-Related Variables: A Meta-analysis. *Sports Med. Open* **2018**, *4*, 55. [[CrossRef](#)]
64. Kraemer, W.J.; Newton, R.U. Training for muscular power. *Phys. Med. Rehabil Clin. N. Am.* **2000**, *11*, 341–368. [[CrossRef](#)]
65. Fitts, R.H.; McDonald, K.S.; Schluter, J.M. The determinants of skeletal muscle force and power: Their adaptability with changes in activity pattern. *J. Biomech.* **1991**, *24* (Suppl. 1), 111–122. [[CrossRef](#)]
66. Handelsman, D.J.; Hirschberg, A.L.; Bermon, S. Circulating Testosterone as the Hormonal Basis of Sex Differences in Athletic Performance. *Endocr. Rev.* **2018**, *39*, 803–829. [[CrossRef](#)]
67. Vingren, J.L.; Kraemer, W.J.; Ratamess, N.A.; Anderson, J.M.; Volek, J.S.; Maresh, C.M. Testosterone physiology in resistance exercise and training: The up-stream regulatory elements. *Sports Med.* **2010**, *40*, 1037–1053. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
68. Ross, W.D.; Kerr, D.A. Fraccionamiento de la masa corporal: Un nuevo método para utilizar en nutrición clínica y medicina deportiva. *Apunts. Med. Esport* **1991**, *18*, 175–187.
69. Tanda, G.; Knechtle, B. Effects of training and anthropometric factors on marathon and 100 km ultramarathon race performance. *Open Access J. Sports Med.* **2015**, *6*, 129–136. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
70. Knechtle, B.; Knechtle, P.; Rosemann, T.; Lepers, R. Personal best marathon time and longest training run, not anthropometry, predict performance in recreational 24-hour ultrarunners. *J. Strength Cond. Res.* **2011**, *25*, 2212–2218. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
71. Knechtle, B.; Knechtle, P.; Rosemann, T.; Senn, O. What is associated with race performance in male 100-km ultra-marathoners—Anthropometry, training or marathon best time? *J. Sport Sci.* **2011**, *29*, 571–577. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
72. Zingg, M.A.; Rüst, C.A.; Rosemann, T.; Lepers, R.; Knechtle, B. Runners in their forties dominate ultra-marathons from 50 to 3100 miles. *Clinics* **2014**, *69*, 203–211. [[CrossRef](#)]
73. Ayala, F.; Sainz de Baranda, P.; De Ste Croix, M.; Santonja, F. Absolute reliability of five clinical tests for assessing hamstring flexibility in professional futsal players. *J. Sci. Med. Sport* **2012**, *15*, 142–147. [[CrossRef](#)]
74. López-Miñarro, P.A.; Muyor, J.M.; Alacid, F. Influence of Hamstring Extensibility on Spinal and Pelvic Postures in Highly Trained Athletes. In *Posture Types, Exercises and Health Effects*; Curran, S.A., Ed.; Nova Biomedical: New York, NY, USA, 2014; pp. 81–94.
75. Vaquero-Cristóbal, R.; López-Miñarro, P.A.; Alacid, F.; Esparza-Ros, F. The effects of the pilates method on hamstring extensibility, pelvic tilt and trunk flexion. *Nutr. Hosp.* **2015**, *32*, 1967–1986.
76. Avrillon, S.; Lacourpaille, L.; Hug, F.; Le Sant, G.; Frey, A.; Nordez, A.; Guilhem, G. Hamstring muscle elasticity differs in specialized high-performance athletes. *Scand. J. Med. Sci. Sports* **2020**, *30*, 83–91. [[CrossRef](#)]

77. Klaver, M.; de Blok, C.J.M.; Wiepjes, C.M.; Nota, N.M.; Dekker, M.J.H.J.; de Mutsert, R.; Schreiner, T.; Fisher, A.D.; T'Sjoen, G.; den Heijer, M. Changes in regional body fat, lean body mass and body shape in trans persons using cross-sex hormonal therapy: Results from a multicenter prospective study. *Eur. J. Endocrinol.* **2018**, *178*, 163–171. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
78. Richmond, E.; Rogol, A.D. Treatment of growth hormone deficiency in children, adolescents and at the transitional age. *Best Pr. Res. Clin. Endocrinol. Metab.* **2016**, *30*, 749–755. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
79. Saenger, P. Dose effects of growth hormone during puberty. *Horm Res.* **2003**, *60*, 52–57. [[CrossRef](#)]
80. Ode, J.J.; Pivarnik, J.M.; Reeves, M.J.; Knous, J.L. Body mass index as a predictor of percent fat in college athletes and nonathletes. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2007**, *39*, 403–409. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
81. Perchard, R.; Clayton, P.E. Ghrelin and Growth. *Endocr. Dev.* **2017**, *32*, 74–86. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
82. Veldhuis, J.D.; Roemmich, J.N.; Richmond, E.J.; Rogol, A.D.; Lovejoy, J.C.; Sheffield-Moore, M.; Mauras, N.; Bowers, C.Y. Endocrine control of body composition in infancy, childhood, and puberty. *Endocr. Rev.* **2005**, *26*, 114–146. [[CrossRef](#)]
83. Vaquero-Cristóbal, R.; Alacid, F.; Esparza-Ros, F.; López-Plaza, D.; Muyor, J.M.; López-Miñarro, P.A. The effects of a reformer Pilates program on body composition and morphological characteristics in active women after a detraining period. *Women Health* **2016**, *56*, 784–806. [[CrossRef](#)]
84. Cabañas, M.D.; Esparza, F. *Compendio de Cineantropometría*; CTO Editorial: Madrid, Spain, 2009.
85. Reinehr, T.; Bosse, C.; Lass, N.; Rothermel, J.; Knop, C.; Roth, C.L. Effect of Weight Loss on Puberty Onset in Overweight Children. *J. Pediatr.* **2017**, *184*, 143–150.e141. [[CrossRef](#)]
86. Markovic, G.; Dizdar, D.; Jukic, I.; Cardinale, M. Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. *J. Strength Cond. Res.* **2004**, *18*, 551–555. [[CrossRef](#)]
87. Davis, K.L.; Kang, M.; Boswell, B.B.; DuBose, K.D.; Altman, S.R.; Binkley, H.M. Validity and reliability of the medicine ball throw for kindergarten children. *J. Strength Cond. Res.* **2008**, *22*, 1958–1963. [[CrossRef](#)]
88. Hamilton, A.; Balnave, R.; Adams, R. Grip strength testing reliability. *J. Hand* **1994**, *7*, 163–170. [[CrossRef](#)]
89. Altmann, S.; Ringhof, S.; Neumann, R.; Woll, A.; Rumpf, M.C. Validity and reliability of speed tests used in soccer: A systematic review. *PLoS ONE* **2019**, *14*, e0220982. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
90. Pauole, K.; Madole, K.; Garhammer, J.; Lacourse, M.; Rozenek, R. Reliability and Validity of the *t*-test as a measure of agility, leg power, and leg speed in college-aged men and women. *J. Strength Cond. Res.* **2000**, *14*, 443–450.
91. Krustup, P.; Mohr, M.; Amstrup, T.; Rysgaard, T.; Johansen, J.; Steensberg, A.; Pedersen, P.K.; Bangsbo, J. The yo-yo intermittent recovery test: Physiological response, reliability, and validity. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2003**, *35*, 697–705. [[CrossRef](#)]
92. McCrary, J.M.; Ackermann, B.J.; Halaki, M. A systematic review of the effects of upper body warm-up on performance and injury. *Br. J. Sports Med.* **2015**, *49*, 935–942. [[CrossRef](#)]
93. Coburn, J.W.; Malek, M.H. *Manual NSCA: Fundamentos del Entrenamiento Personal*, 2nd ed.; Paidotribo: Barcelona, Spain, 2014.
94. Vaquero-Cristóbal, R.; Albaladejo-Saura, M.; Luna-Badachi, A.E.; Esparza-Ros, F. Differences in fat mass estimation formulas in physically active adult population and relationship with sums of skinfolds. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2020**, *17*, 7777. [[CrossRef](#)]
95. Sterkowicz-Przybycień, K.L.; Sterkowicz, S.; Zarów, R.T. Somatotype, body composition and proportionality in polish top greco-roman wrestlers. *J. Hum. Kinet* **2011**, *28*, 141–154. [[CrossRef](#)]
96. Sammoud, S.; Nevill, A.M.; Negra, Y.; Bouguezzi, R.; Chaabene, H.; Hachana, Y. 100-m Breaststroke Swimming Performance in Youth Swimmers: The Predictive Value of Anthropometrics. *Pediatr. Exerc. Sci.* **2018**, *30*, 393–401. [[CrossRef](#)]

**ANEXO VI – MÉTODOS,  
RESULTADOS Y  
DISCUSIÓN: ESTUDIO 1**

## Article

# The Effect of Age, Biological Maturation and Birth Quartile in the Kinanthropometric and Physical Fitness Differences between Male and Female Adolescent Volleyball Players

Mario Albaladejo-Saura <sup>1</sup>, Raquel Vaquero-Cristóbal <sup>1,2,\*</sup>, Juan Alfonso García-Roca <sup>2</sup>  
and Francisco Esparza-Ros <sup>1</sup>

<sup>1</sup> International Kinanthropometry Chair, UCAM, Universidad Católica de Murcia, 30107 Guadalupe, Murcia, Spain; mdalbaladejosaura@ucam.edu (M.A.-S.); fesparza@ucam.edu (F.E.-R.)

<sup>2</sup> Faculty of Sport Science, UCAM, Universidad Católica de Murcia, 30107 Guadalupe, Murcia, Spain; jagarcia@ucam.edu

\* Correspondence: rvaquero@ucam.edu

**Abstract:** Background: Differences in kinanthropometric and physical fitness performance between boys and girls usually start during adolescence, as a result of the changes in the hormonal environment that occur with the advance of age and biological maturation; Methods: A total of 96 1st Regional Division players adolescent volleyball players, 48 males, (age =  $14.17 \pm 1.00$  years-old) and 48 females (age =  $14.41 \pm 1.21$  years-old) underwent a kinanthropometric assessment, were asked to perform different physical fitness test and to complete a questionnaire. Chronological age, maturity offset, age at peak height velocity (APHV), and birth quartile were calculated; Results: Statistical differences were observed between male and female players in the APHV ( $p < 0.001$ ). Male players showed higher values in the bone and muscle-related variables ( $p < 0.001$ – $0.040$ ), as well as in the strength and power production-related physical tests ( $p < 0.001$ – $0.012$ ), while the female showed higher values in the fat-related variables ( $p = 0.003$ – $0.013$ ), and performed better in the flexibility tests. Age, maturity offset, and birth quartile showed to have statistical influence in the differences found between sex groups; Conclusions: There is a clear influence of age and biological maturation on the differences found between sexes in adolescent volleyball players that could be taken into account regarding grouping in early stages.

**Keywords:** growth; sport performance; adolescence; anthropometry



**Citation:** Albaladejo-Saura, M.; Vaquero-Cristóbal, R.; García-Roca, J.A.; Esparza-Ros, F. The Effect of Age, Biological Maturation and Birth Quartile in the Kinanthropometric and Physical Fitness Differences between Male and Female Adolescent Volleyball Players. *Children* **2022**, *9*, 58. <https://doi.org/10.3390/children9010058>

Received: 1 December 2021

Accepted: 28 December 2021

Published: 4 January 2022

**Publisher's Note:** MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



**Copyright:** © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## 1. Introduction

Volleyball is a highly demanding sport due to the rules of the game, characterized by constant explosive actions [1,2], which means that both physical condition and kinanthropometric variables are of great importance in performance [3]. This is why sport sciences have tried to characterize the morphological and physical requirements of elite athletes and their relationship with sporting performance [4]. In this sense, it has been observed how kinanthropometric variables such as height, arm span, and leg length could allow differentiation of high-level players [4], together with specific physical abilities such as vertical jumping and coordination in agility tests [3]. Focusing on training players, previous studies on adolescent volleyball players have found that height, arm span, and upper and lower body power are key factors for performance in both boys and girls [5,6].

However, this characterization of the requirements of athletes during puberty must be undertaken with caution due to the effect that biological maturation has been shown to have on kinanthropometric and physical fitness variables [7,8]. More specifically, there is evidence of the different rates of maturation experienced by adolescents during the process, with these differences affecting the physical manifestation of the changes inherent to adolescence [9,10]. In relation to sports performance, higher values in kinanthropometric

variables and better results in the physical fitness test have been observed in those subjects who mature earlier, compared to those who mature later [8]. This could be a disadvantage for subjects who mature late, due to the traditional way of organizing sports competitions in training stages using gender and chronological age as the only criteria [11]. Not surprisingly, previous studies have pointed out that, when a player selection process takes place in collective sports, subjects whose body size is larger and whose immediate physical performance is better tend to have a higher probability of being chosen [12]. However, there are studies that show that as the maturation process continues, these characteristics could become equalized, which could mean that early recruitment is not a guarantee of future sporting success, since it is not until approximately 14 years of age that successful players show differences with respect to their peers in physical abilities [7,13].

Like biological maturation, age also exerts a determining influence on athletic performance in adolescent stages [14]. Changes in the hormonal environment that occur with advancing age during adolescence, both in boys and girls, seem to be the basis for the differences found by some authors in later stages [9,14,15]. The maturation process also shows differences between sexes, with girls reaching peak height velocity (PHV) at an earlier age (9–15 years old) than boys (12–16 years old) [9]. Thus, in the stages prior to puberty, no differences in physical performance or kinanthropometric variables are found between the sexes [14,16]. However, the hormonal changes that occur around the age at peak height velocity (APHV), the most notable being the increase in testosterone in boys [15], induce differences in body composition and physical performance that favor the appearance of differences between boys and girls [14].

Due to the importance of age and maturation in relation to adolescent sports, it has been observed that the traditional forms of grouping by chronological age may be a disadvantage for those players who mature later, or who were born in the last months of the year [12]. For this reason, several investigations have recently emerged addressing the relative age effect (RAE), understood as the tendency to overrepresent players born in the first months of the year in the selection process [17]. The RAE has been contrasted on several occasions in high-level adolescent players in team sports [12,18,19] and seems to be more evident around the APHV [11], obtaining better results for those players born in the first months of the year. However, in sports such as volleyball, it seems that the relationship of RAE with performance and chances of selection remain unclear, possibly due to the specific characteristics of the sport [20].

Despite the influence of age, biological maturation, and RAE on performance and kinanthropometric characteristics in adolescent athletes, little information has been found about the relationship of these variables with the differences found between sexes in volleyball players. Notwithstanding all the above, the aim of the present investigation was to analyze the differences between male and female adolescent volleyball players in kinanthropometric variables and physical fitness tests in relation to age, the maturity offset, and relative age.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Participants

A total of 96 1st Regional Division adolescent volleyball players, 48 males (age =  $14.17 \pm 1.00$  years old) and 48 females (age =  $14.41 \pm 1.21$  years old), volunteered to take part in the study. Rstudio software (3.15.0 version, Rstudio Inc., Boston, MA, USA), was used to perform the sample size calculations, setting the standard deviation (SD) based on the APHV reported in previous studies (SD = 0.65) [21]. The significance level for the calculation was set at  $\alpha = 0.05$ . With an estimated error (d) of 0.183 years from peak height velocity, the sample size needed was 48 subjects per group. The coaches, parents, and players were informed of the measuring protocol and signed an informed consent form before starting the study. The inclusion criteria were (a) to be an under-16 (U-16) age category player, due to the chronological age cut-off points set for the competitions, (b) to play volleyball at least three times per week, (c) to take part in an official federated

competition, (d) to have played volleyball at least two consecutive seasons at the time of measurements. The exclusion criteria were (a) to suffer an injury that prevented them from completing the tests, and (b) to have missed more than 25% of training sessions in the last 3 months [22].

## 2.2. Procedures

A cross-sectional design was followed in the present study, in accordance with the STORBE guidelines [23]. The measurement protocol was reviewed and authorized by the institutional ethics committee, in accordance with the Code of World Medical Association (Code: CE061921). The statements of the Declaration of Helsinki were followed during the entire process. The measurement protocol was registered before the start of the study at [ClinicalTrials.gov](https://clinicaltrials.gov) (code: NCT04495595). The assessment was carried out in the players' usual training hall. Sociodemographic and sporting information was collected from the players, and the coaches were asked to classify the players according to standardized criteria. Subsequently, a kinanthropometric assessment was carried out, followed by the implementation of physical fitness tests.

## 2.3. Socio-Demographic Questionnaire and Players' Success Assessment

The players were asked to self-complete a questionnaire designed ad hoc, where they were asked their age and date of birth, days of training per week, years of experience playing volleyball in federated competition, days they had missed training in the last three months, and whether they had suffered any recent injury or were currently injured. A researcher explained each question in detail prior to the completion of the questionnaire and supervised the process.

At the same time, according to previous research [24], coaches were asked to rank the players in the following categories: "Leading team players", "Other important players", and "players who rarely enter the game", depending on their role in the team. The number of teams in the league was divided into three groups, top-classification teams, mid-classification teams, and bottom-classification teams, with the same number of teams in each group. Using this classification, leading team players and other important players of the top-classification teams, and leading team players of the mid-classification teams were categorized as more successful (MS) players. The leading players of the bottom-classification teams, and other important players and players who rarely enter the game of the other team groups, were categorized as less successful (LS) players. This classification was performed following Katić et al.'s methods [24].

## 2.4. Kinanthropometric Measurements and Biological Maturation

The kinanthropometric measurements were performed in accordance with the protocols described by the International Society for the Advancement in Kinanthropometry (ISAK) [25]. Accredited ISAK kinanthropometrists (levels 2 and 3) performed all the measurements. All measurements were taken twice. A third measurement was taken when the difference between the first and second measurements was greater than 5% for the skinfolds or 1% for the other measurements. The mean between measurements, in the case of two attempts, and the median, in the case of three attempts, was taken as the final value. The intra- and inter-evaluator technical error of measurement (TEM) were calculated in a sub-sample. The intra-evaluator TEM was 0.09% in basic measurements, lengths, heights, and girths; and 1.07% in skinfolds; and the inter-evaluator TEM was 0.05% in basic measurements of lengths, heights, and girths; and 2.86% in skinfolds.

Four basic measurements (body mass, height, sitting height, and arm span); eight skinfolds (triceps, subscapular, biceps, iliac crest, supraspinale, abdominal, thigh and calf); six girths (arm relaxed, flexed and tensed arm, waist, hips, middle thigh and calf); five breadths (biacromial, biiliocristal, humerus, bi-styloid and femur); three lengths (acromiale-radiale, radiale-styilion, and mid-styilion dactyilion); and a height (ilioespinale) were measured. A SECA 862 scale (SECA, Hamburg, Germany) with an accuracy of 100 g was used for

measuring body mass; a SECA stadiometer (SECA, Hamburg, Germany) with an accuracy of 0.1 cm for measuring standing height and sitting height; an arm span meter (Smartmet, Jalisco, Mexico) with an accuracy of 0.1 cm for measuring arm span; a skinfold caliper (Harpenden, Burgess Hill, UK) with an accuracy of 0.2 mm accuracy for measuring skinfolds; an inextensible tape (Lufkin, Missouri, TX, USA) with 0.1 cm accuracy for measuring perimeters; a segmometer (CESCORF, Porto Alegre, Brazil) with 0.1 cm accuracy for measuring heights and lengths; an anthropometer (Realmet, Barcelona, Spain) and a small girth sliding caliper (Holtain, Crymch, UK) with 0.1 cm accuracy for measuring diameters. The final values of the kinanthropometric measurements were used to calculate the variables of the body mass index (BMI), fat mass [26], muscle mass [27], bone mass [28], somatotype [29],  $\Sigma 6$  skinfolds (triceps, subscapular, supraspinale, abdominal, thigh and calf),  $\Sigma 8$  skinfolds (triceps, subscapular, biceps, iliac crest, supraspinale, abdominal, thigh and calf), cormic index [(sitting height/height) \* 100], relative arm span [(arm span/height) \* 100], upper limb length [acromiale-radiale length + radiale-styilion length + styilion-medio dactylion length], corrected girths of the arm [arm relaxed girth – ( $\pi$  \* triceps skinfold)], thigh [middle thigh girth – ( $\pi$  \* thigh skinfold)] and calf [calf girth – ( $\pi$  \* calf skinfold)], the muscle-bone index [muscle mass/bone mass] and waist to hip ratio (waist girth/hip girth).

### 2.5. Biological Maturation

Mirwald et al. (2002) sex-specific formula was used to estimate the maturity offset of the players. From the maturity offset, the APHV of each subject was calculated using the formula: APHV = chronological age – maturity offset result. This method proved to be valid for estimating the maturity offset with respect to the gold standard using regression equations with an  $R^2 = 0.92$ – $0.89$  in the case of boys and an  $R^2 = 0.91$ – $0.88$  in the case of girls.

### 2.6. Physical Fitness Test

All physical fitness tests were performed by two investigators familiar with the technique and with previous experience in the evaluation of physical fitness in the adolescent population. Each investigator was in charge of the same tests during the measurement sessions, in order to avoid an inter-rater error. The intraclass correlation coefficient (ICC) was 0.995 (95% confidence interval 0.989–0.997), and the coefficient of variation (CV) was 2.3%. The sit-and-reach and back scratch tests were performed before the warm-up because an unequal effect of the warm-up on performance in flexibility tests has been observed [30]. The participants then underwent a standardized warm-up supervised by the researchers, consisting of ten minutes of continuous running, articular mobility, and familiarization with the tests they were about to perform. A long jump, medicine ball throw, countermovement jump (CMJ), 20-m sprint, and agility (9-3-6-3-9) test were performed in the specified order. The selected order and test assessment was performed according to previously described protocols [21,24,31–34]. The players performed two attempts of each test, with a rest between attempts of two minutes. The mean of the two attempts made in each test was used as the final value used for the analysis.

The sit-and-reach test was performed with the Acuflex Tester III (Novel Products, Rockton, IL, USA); the back scratch test with a millimeter ruler (GIMA, Gessate, Italy); the long jump and medicine ball throw tests with a tape measure (HaeSt, Wolfenbüttel, Germany) with a 0.1 cm accuracy; the CMJ with a force platform with a sampling frequency of 200 Hz (MuscleLab, Stathelle, Norway); the sprint test (20 m) with MySprint (Apple Inc., Cupertino, CA, USA) [35]; and the agility test (9-3-6-3-9) with five photocells (Microgate, Bolzano, Italy).

### 2.7. Statistical Analysis

The distribution of the sample was analyzed using the Kolmogorov-Smirnov test. The kurtosis and skewness of the variables were calculated, as well as homogeneity using Levene's test. A descriptive analysis of the variables measured was carried out, including

the mean and standard deviation (SD). To analyze the differences between boys and girls in the continuous quantitative variables, a MANCOVA analysis was performed, introducing sex as a grouping variable and age, maturity offset and birth quartile as covariates. Both main effects and interactions between variables were tested to determine their influence on the differences found according to sex. The effect size was calculated with partial eta squared ( $\eta^2_p$ ). Bonferroni's post hoc was used to analyze differences between groups. Chi<sup>2</sup> test was used to analyze differences in discrete quantitative variables and qualitative variables. The significance level was set a priori at  $p < 0.05$ . All statistical analyses were performed with SPSS v.23 software (IBM, Armonk, NY, USA).

### 3. Results

#### 3.1. Maturity Status Results

The results of the comparison between sexes with respect to the APHV and the main effects of the covariates can be seen in Table 1. Significant differences were observed between male and female players ( $p < 0.001$ ), with an effect of the covariates age ( $p < 0.001$ ) and maturity offset ( $p = 0.048$ ) in the model, but not of the covariate birth quartile. However, the analysis of the intersections between sex and the covariates (sex\*age; sex\*maturity offset; sex\*birth quartile) did show an influence of these covariates on the differences found between groups ( $p < 0.001$ ).

Table 2 shows the Bonferroni adjustment. The pairwise comparison showed significant differences between male and female players, including the models with the covariates ( $p < 0.001$ ), with an earlier APHV in the female group.

#### 3.2. Kinanthropometry Results

Regarding the kinanthropometric variables, significant differences were observed between sexes in the basic measures ( $p < 0.001$ – $0.042$ ), except in body mass; in the bone and muscle variables ( $p < 0.001$ – $0.004$ ); in the somatotype components ( $p < 0.001$ – $0.040$ ); in the skinfolds sum ( $p = 0.003$ – $0.013$ ); in the body composition components and in the muscle-bone index ( $p < 0.001$ – $0.030$ ) (Table 1). The covariate age showed main effects in bone related variables (arm span, sitting height, biacromial, and biiliocrestal breadth) and in the muscle mass and percentage ( $p = 0.001$ – $0.038$ ). The covariate maturity offset showed main effects in all the kinanthropometric variables ( $p < 0.001$ – $0.003$ ), except for the somatotype components and the fat and muscle percentages. The covariate birth quartile did not demonstrate statistical significance in terms of main effects on the model ( $p < 0.05$ ).

The analysis of the interactions between sex and age showed a significant influence of age on the differences found between groups in the basic measures ( $p < 0.001$ – $0.007$ ); upper limb length, biacromial, biiliocrestal, and humerus breadths ( $p < 0.001$ – $0.031$ ); corrected leg girth and muscle and bone masses ( $p = 0.001$ – $0.005$ ) (Table 2). The analysis of interactions between sex and offset maturity showed a significant influence of maturation on all kinanthropometric variables ( $p < 0.001$ – $0.039$ ), except somatotype, skinfolds sum, and muscle and fat percentages (Table 2). Analysis of interactions between sex and birth quartile showed a significant influence of birth quartile on all kinanthropometric variables ( $p < 0.001$ – $0.015$ ), except for biiliocrestal breadth, mesomorphy, fat mass, and BMI.

Pairwise comparison showed statistical differences between groups in the four models (sex, sex\*age, sex\*maturity offset, sex\*birth quartile) ( $p < 0.001$ – $0.030$ ), except for the biiliocrestal breadth and the BMI, the mesomorphic component in the interaction models and the skinfolds sums, bone percentage and fat mass in the sex\*age interaction (Table 3). Male players showed higher values in basic measures, bone, and muscle-related variables, whilst female players showed higher values in fat-related values (Table 3).



**Table 1.** Differences between groups in maturation, kinanthropometric and physical fitness variables and covariables main effects.

Variable	Group		MANCOVA											
	Mean ± SD		Sex			Age			Maturity Offset			Birth Quartile		
	Males (n = 48)	Females (n = 49)	F	p	η <sup>2</sup> <sub>p</sub>	F	p	η <sup>2</sup> <sub>p</sub>	F	p	η <sup>2</sup> <sub>p</sub>	F	p	η <sup>2</sup> <sub>p</sub>
APHV (years)	13.58 ± 0.57	12.34 ± 0.57	115.86	<0.001	0.549	23.80	<0.001	0.234	3.27	0.048	0.051	0.08	0.772	0.001
Body mass (kg)	62.55 ± 13.25	57.79 ± 10.69	3.72	0.057	0.038	1.23	0.270	0.016	50.26	<0.001	0.392	1.762	0.188	0.022
Height (cm)	170.71 ± 9.22	163.29 ± 6.45	19.10	<0.001	0.167	2.74	0.102	0.034	66.87	<0.001	0.462	0.640	0.426	0.008
Arm span (cm)	173.28 ± 10.20	163.88 ± 7.02	22.68	<0.001	0.193	4.44	0.038	0.054	55.81	<0.001	0.417	0.847	0.360	0.011
Sitting height (cm)	87.60 ± 4.76	85.81 ± 3.13	4.25	0.042	0.043	12.32	0.001	0.136	206.60	<0.001	0.726	0.918	0.341	0.012
Upper limb length (cm)	77.43 ± 4.32	73.07 ± 2.89	24.97	<0.001	0.208	2.80	0.099	0.035	40.32	<0.001	0.341	2.10	0.151	0.026
Biacromial breadth (cm)	37.20 ± 2.69	35.27 ± 1.69	14.68	<0.001	0.134	7.78	0.007	0.091	98.99	<0.001	0.559	2.69	0.105	0.033
Biliocrestal breadth (cm)	26.10 ± 2.11	26.59 ± 2.12	0.95	0.331	0.010	6.21	0.015	0.074	65.55	<0.001	0.457	1.78	0.186	0.022
Femur breadth (cm)	9.88 ± 0.55	9.14 ± 0.50	45.34	<0.001	0.323	0.24	0.626	0.003	24.17	<0.001	0.237	0.01	0.914	<0.001
Humerus breadth (cm)	6.86 ± 0.40	6.37 ± 0.38	40.70	<0.001	0.300	1.07	0.304	0.014	18.02	<0.001	0.188	0.56	0.459	0.007
Bi-styloid breadth (cm)	5.32 ± 0.34	4.93 ± 0.25	38.17	<0.001	0.287	0.31	0.577	0.004	10.72	0.002	0.121	0.65	0.423	0.008
Corrected arm girth (cm)	23.00 ± 2.86	20.79 ± 2.05	17.70	<0.001	0.157	0.21	0.652	0.003	23.19	<0.001	0.229	0.58	0.449	0.007
Corrected thigh girth (cm)	44.47 ± 4.48	41.80 ± 4.34	8.50	0.004	0.082	3.51	0.065	0.043	51.59	<0.001	0.398	2.36	0.128	0.029
Corrected leg girth (cm)	31.77 ± 2.29	29.49 ± 2.90	13.61	<0.001	0.125	9.10	0.003	0.105	48.05	<0.001	0.381	2.00	0.162	0.025
Endomorphy	2.74 ± 1.65	3.94 ± 1.31	13.43	<0.001	0.124	0.20	0.660	0.002	2.14	0.148	0.027	3.79	0.055	0.046
Mesomorphy	4.57 ± 1.29	3.94 ± 1.14	6.74	0.011	0.066	0.21	0.649	0.003	2.59	0.112	0.032	0.96	0.330	0.012
Ectomorphy	3.46 ± 2.51	2.59 ± 1.28	4.35	0.040	0.044	0.00	0.955	<0.001	0.86	0.358	0.011	0.31	0.580	0.004
∑6 Skinfolds (mm)	66.65 ± 34.44	87.31 ± 25.04	9.07	0.003	0.087	0.79	0.377	0.010	2.56	0.114	0.032	2.77	0.100	0.034
∑8 Skinfolds (mm)	84.47 ± 44.51	109.07 ± 33.02	6.43	0.013	0.063	0.94	0.334	0.012	2.43	0.123	0.030	2.81	0.098	0.035
Fat mass (%)	16.81 ± 7.50	24.24 ± 5.97	26.07	<0.001	0.215	0.78	0.379	0.010	2.09	0.152	0.026	2.58	0.113	0.032
Muscle mass (%)	38.53 ± 2.59	31.06 ± 1.72	260.43	<0.001	0.733	5.87	0.018	0.070	1.74	0.190	0.022	0.00	0.949	<0.001
Bone mass (%)	18.02 ± 2.48	16.29 ± 1.95	14.12	<0.001	0.129	0.18	0.676	0.002	9.67	0.003	0.110	3.61	0.061	0.044
Fat mass (kg)	11.18 ± 7.37	14.41 ± 5.71	4.87	0.030	0.049	0.01	0.927	<0.001	10.52	0.002	0.119	2.30	0.133	0.029
Muscle mass (kg)	23.96 ± 4.56	17.94 ± 3.38	51.55	<0.001	0.352	4.50	0.037	0.055	79.13	<0.001	0.504	1.46	0.231	0.018
Bone mass (kg)	11.03 ± 1.49	9.25 ± 0.96	45.44	<0.001	0.324	1.63	0.205	0.020	54.72	<0.001	0.412	0.01	0.939	<0.001
BMI (kg /m <sup>2</sup> )	21.36 ± 3.63	21.59 ± 3.23	0.06	0.807	0.001	0.09	0.760	0.001	14.42	<0.001	0.156	1.56	0.216	0.020
Muscle-bone index	2.17 ± 0.27	1.94 ± 0.28	18.06	<0.001	0.160	3.33	0.072	0.041	19.14	<0.001	0.197	3.82	0.054	0.047
Sit-and-reach test (cm)	0.94 ± 8.58	5.75 ± 9.14	8.61	0.004	0.083	0.15	0.705	0.002	1.94	0.168	0.024	0.16	0.689	0.002
Back scratch test (cm)	1.60 ± 7.29	4.69 ± 4.84	6.50	0.012	0.064	0.82	0.369	0.010	2.53	0.116	0.031	0.34	0.563	0.004
Long jump (m)	1.97 ± 0.41	1.63 ± 0.20	28.22	<0.001	0.229	8.19	0.005	0.095	7.55	0.007	0.088	0.43	0.514	0.005
Medicine ball throw (m)	6.12 ± 1.43	4.94 ± 0.88	18.04	<0.001	0.160	10.09	0.002	0.115	73.54	<0.001	0.485	0.74	0.392	0.009
CMJ height (cm)	29.55 ± 6.18	24.50 ± 4.73	19.01	<0.001	0.167	13.00	0.001	0.143	7.58	0.007	0.089	0.94	0.336	0.012
CMJ power (W)	733.34 ± 166.50	613.46 ± 103.59	16.03	<0.001	0.144	7.57	0.007	0.088	97.03	<0.001	0.554	0.59	0.444	0.008
20 m sprint (s)	3.83 ± 0.27	4.19 ± 0.29	40.90	<0.001	0.301	9.83	0.002	0.112	2.89	0.093	0.036	0.00	0.989	<0.001
Agility test (s)	9.02 ± 0.72	9.21 ± 1.11	1.35	0.249	0.014	8.33	0.005	0.097	3.17	0.079	0.039	0.13	0.719	0.002

APHV: age at peak height velocity; BMI: Body mass index; CMJ: counter movement jump.

**Table 2.** Interaction between sex groups and the covariables age, maturity offset and birth quartile.

Variable	MANCOVA								
	Sex*Age			Sex*Maturity Offset			Sex*Birth Quartile		
	F	p	$\eta^2_p$	F	p	$\eta^2_p$	F	p	$\eta^2_p$
APHV (years)	$1.43 \times 10^{18}$	<0.001	1.000	$1.17 \times 10^{18}$	<0.001	1.000	42.34	<0.001	0.521
Body mass (kg)	5.28	0.007	0.113	35.35	<0.001	0.466	7.63	0.001	0.164
Height (cm)	9.95	<0.001	0.193	79.84	<0.001	0.663	30.32	<0.001	0.437
Arm spam (cm)	7.39	0.001	0.151	32.10	<0.001	0.442	29.09	<0.001	0.427
Sitting height (cm)	18.95	<0.001	0.313	317.70	<0.001	0.887	19.67	<0.001	0.335
Upper limb length (cm)	7.33	0.001	0.150	30.45	<0.001	0.429	32.63	<0.001	0.456
Biacromial breadth (cm)	12.12	<0.001	0.226	49.62	<0.001	0.551	17.31	<0.001	0.307
Biiliocrestal breadth (cm)	6.76	0.002	0.140	36.19	<0.001	0.472	1.96	0.148	0.048
Femur breadth (cm)	0.44	0.644	0.011	9.13	<0.001	0.184	17.76	<0.001	0.313
Humerus breadth (cm)	3.62	0.031	0.080	11.51	<0.001	0.221	33.97	<0.001	0.466
Bi-styloid breadth (cm)	1.61	0.207	0.037	3.38	0.039	0.077	17.49	<0.001	0.310
Corrected arm girth (cm)	2.89	0.061	0.065	12.42	<0.001	0.235	14.88	<0.001	0.276
Corrected thigh girth (cm)	2.99	0.056	0.067	12.30	<0.001	0.233	7.61	0.001	0.163
Corrected leg girth (cm)	6.87	0.002	0.142	18.74	<0.001	0.316	16.74	<0.001	0.300
Endomorphy	0.13	0.880	0.003	0.73	0.486	0.018	10.57	<0.001	0.213
Mesomorphy	0.03	0.971	0.001	0.01	0.990	<0.001	0.97	0.383	0.024
Ectomorphy	0.08	0.923	0.002	0.08	0.921	0.002	3.69	0.029	0.086
$\sum 6$ Skinfolds (mm)	0.13	0.882	0.003	1.53	0.223	0.036	7.17	0.001	0.155
$\sum 8$ Skinfolds (mm)	0.10	0.901	0.002	1.48	0.233	0.035	6.52	0.002	0.143
Fat mass (%)	0.53	0.592	0.013	2.10	0.129	0.049	15.39	<0.001	0.283
Muscle mass (%)	1.18	0.312	0.028	0.70	0.497	0.017	55.10	<0.001	0.586
Bone mass (%)	2.35	0.101	0.054	4.70	0.012	0.104	4.81	0.011	0.110
Fat mass (kg)	0.75	0.477	0.018	6.05	0.004	0.130	2.68	0.075	0.064
Muscle mass (kg)	7.24	0.001	0.148	39.68	<0.001	0.495	31.39	<0.001	0.446
Bone mass (kg)	5.59	0.005	0.119	47.32	<0.001	0.539	30.72	<0.001	0.441
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	0.84	0.433	0.020	4.47	0.014	0.099	0.80	0.455	0.020
Muscle-bone index	1.63	0.202	0.038	3.67	0.030	0.083	14.57	<0.001	0.272
Sit-and-reach test (cm)	1.16	0.319	0.027	1.51	0.228	0.036	1.68	0.193	0.041
Back scratch test (cm)	0.06	0.945	0.001	0.23	0.796	0.006	1.94	0.150	0.047
Long jump (m)	3.83	0.026	0.085	4.51	0.014	0.100	11.34	<0.001	0.225
Medicine ball throw (m)	16.06	<0.001	0.279	38.26	<0.001	0.486	15.94	<0.001	0.290
CMJ height (cm)	4.85	0.010	0.105	5.22	0.007	0.114	10.50	<0.001	0.212
CMJ power (W)	12.53	<0.001	0.232	49.24	<0.001	0.549	15.91	<0.001	0.290
20 m sprint (s)	2.80	0.067	0.063	2.41	0.097	0.056	14.36	<0.001	0.269
Agility test (s)	2.30	0.106	0.053	3.07	0.052	0.070	4.97	0.009	0.113

\*: model including the interaction between the variables expressed; APHV: age at peak height velocity; BMI: Body mass index; CMJ: counter movement jump.

### 3.3. Physical Fitness Results

Physical fitness differences between male and female players and covariable main effects can be observed in Table 1. Significant sex differences were found in all physical fitness tests except for agility ( $p < 0.001$ – $0.012$ ). The covariate age showed a significant effect on the model in the long jump, medicine ball throw, CMJ height and power, 20 m sprint, and agility tests ( $p = 0.001$ – $0.007$ ). The covariate maturity offset showed statistical effects over the long jump, medicine ball thrown CMJ height, and power tests ( $p < 0.001$ – $0.007$ ). The covariate birth quartile showed no main effects on the model.

The interaction between variables (sex\*age, sex\*maturity offset, sex\*birth quartile) showed that the three covariables had significant influence in the differences observed between groups in long jump, medicine ball throw, CMJ height and power ( $p < 0.001$ – $0.026$ ), and also in sprint and agility tests in the case of birth quartile ( $p < 0.001$ – $0.009$ ) (Table 2).

Pairwise comparison showed statistical differences between groups in the four models (sex, sex\*age, sex\*maturity offset, sex\*birth quartile) in back scratch test, long jump, medicine ball throw, CMJ height and power, and 20 m sprint ( $p < 0.001$ – $0.012$ ). Statistical differences were also found in the sit-and-reach test in the sex model ( $p < 0.004$ ), and in the agility test in sex\*maturity offset and sex\*birth quartile model ( $p = 0.002$ ) (Table 4).

**Table 3.** Post hoc Bonferroni adjustment for the different covariates for the APHV and kinanthropometric variables.

Variable	Sex			Sex*Age			Sex*Maturity Offset			Sex*Birth Quartile		
	Mean Diff ± SD	p	95%CI	Mean Diff ± SD	p	95%CI	Mean Diff ± SD	p	95%CI	Mean Diff ± SD	p	95%CI
APHV (years)	1.24 ± 0.12	<0.001	1.01 to 1.47	1.01 ± 0.15	<0.001	0.72 to 1.30	1.43 ± 0.13	<0.001	1.17 to 1.68	1.24 ± 0.13	<0.001	0.97 to 1.50
Body mass (kg)	4.68 ± 2.43	0.057	−0.14 to 9.49	9.59 ± 3.27	0.004	3.07 to 16.10	12.74 ± 2.05	<0.001	8.66 to 16.82	9.08 ± 2.49	<0.001	4.12 to 14.04
Height (cm)	7.05 ± 1.61	<0.001	3.85 to 10.25	13.12 ± 2.01	<0.001	9.12 to 17.12	15.78 ± 1.20	<0.001	13.40 to 18.16	12.68 ± 1.64	<0.001	9.41 to 15.95
Arm span (cm)	8.79 ± 1.84	<0.001	5.12 to 12.45	13.50 ± 2.29	<0.001	8.94 to 18.05	17.12 ± 1.43	<0.001	14.28 to 19.97	13.95 ± 1.85	<0.001	10.27 to 17.63
Sitting height (cm)	1.71 ± 0.83	0.042	0.06 to 3.35	4.28 ± 1.02	<0.001	2.26 to 6.31	6.88 ± 0.46	<0.001	5.97 to 7.79	5.30 ± 0.86	<0.001	3.59 to 7.01
Upper limb length (cm)	4.00 ± 0.80	<0.001	2.41 to 5.59	6.16 ± 0.97	<0.001	4.22 to 8.10	7.42 ± 0.64	<0.001	6.14 to 8.69	6.11 ± 0.77	<0.001	4.58 to 7.65
Biacromial breadth (cm)	1.79 ± 0.47	<0.001	0.86 to 2.72	2.41 ± 0.62	<0.001	1.17 to 3.64	3.68 ± 0.34	<0.001	3.00 to 4.37	2.81 ± 0.50	<0.001	1.82 to 3.81
Biiliocrestal breadth (cm)	−0.41 ± 0.42	0.331	−1.25 to 0.43	0.13 ± 0.51	0.801	−0.88 to 1.14	1.06 ± 0.31	0.001	0.44 to 1.68	0.55 ± 0.39	0.159	−0.22 to 1.33
Femur breadth (cm)	0.74 ± 0.11	<0.001	0.52 to 0.95	0.85 ± 0.15	<0.001	0.55 to 1.15	0.93 ± 0.11	<0.001	0.72 to 1.14	0.72 ± 0.12	<0.001	0.48 to 0.96
Humerus breadth (cm)	0.51 ± 0.08	<0.001	0.35 to 0.66	0.67 ± 0.10	<0.001	0.47 to 0.87	0.76 ± 0.07	<0.001	0.61 to 0.90	0.65 ± 0.08	<0.001	0.49 to 0.80
Bi-styloid breadth (cm)	0.38 ± 0.06	<0.001	0.26 to 0.50	0.40 ± 0.09	<0.001	0.23 to 0.57	0.44 ± 0.06	<0.001	0.31 to 0.57	0.38 ± 0.06	<0.001	0.25 to 0.51
Corrected arm girth (cm)	2.12 ± 0.50	<0.001	1.12 to 3.12	3.34 ± 0.70	<0.001	1.94 to 4.73	3.69 ± 0.49	<0.001	2.71 to 4.66	2.91 ± 0.54	<0.001	1.83 to 3.98
Corrected thigh girth (cm)	2.56 ± 0.88	0.004	0.82 to 4.30	3.43 ± 1.27	0.008	0.91 to 5.96	5.25 ± 0.80	<0.001	3.66 to 6.85	3.53 ± 0.99	0.001	1.55 to 5.50
Corrected leg girth (cm)	1.95 ± 0.53	<0.001	0.90 to 3.00	2.80 ± 0.68	<0.001	1.45 to 4.15	4.25 ± 0.45	<0.001	3.35 to 5.15	3.17 ± 0.57	<0.001	2.04 to 4.30
Endomorphy	−1.08 ± 0.29	<0.001	−1.66 to −0.49	−1.16 ± 0.44	0.010	−2.05 to −0.28	−1.25 ± 0.35	0.001	−1.94 to −0.55	−1.32 ± 0.31	<0.001	−1.94 to −0.69
Mesomorphy	0.65 ± 0.25	0.011	0.15 to 1.14	0.29 ± 0.32	0.374	−0.35 to 0.93	0.40 ± 0.25	0.114	−0.10 to 0.90	0.23 ± 0.24	0.344	−0.25 to 0.70
Ectomorphy	0.84 ± 0.40	0.040	0.04 to 1.64	1.09 ± 0.58	0.063	−0.06 to 2.24	1.08 ± 0.46	0.021	0.17 to 2.00	1.13 ± 0.42	0.009	0.29 to 1.97
∑6 Skinfolts (mm)	−17.98 ± 5.97	0.003	−29.84 to −6.13	−16.18 ± 9.02	0.077	−34.14 to 1.77	−20.31 ± 7.10	0.005	−34.45 to −6.16	−22.19 ± 6.46	0.001	−35.05 to −9.32
∑8 Skinfolts (mm)	−20.15 ± 7.95	0.013	−35.92 to −4.37	−18.19 ± 11.46	0.117	−41.02 to 4.63	−24.03 ± 9.04	0.010	−42.04 to −6.03	−26.57 ± 8.23	0.002	−42.95 to −10.20
Fat mass (%)	−6.88 ± 1.35	<0.001	−9.56 to −4.21	−6.84 ± 1.99	0.001	−10.80 to −2.89	−7.76 ± 1.57	<0.001	−10.89 to −4.64	−7.65 ± 1.43	<0.001	−10.50 to −4.80
Muscle mass (%)	7.22 ± 0.45	<0.001	6.33 to 8.11	7.09 ± 0.73	<0.001	5.65 to 8.54	8.21 ± 0.59	<0.001	7.03 to 9.39	6.89 ± 0.66	<0.001	5.58 to 8.19
Bone mass (%)	1.68 ± 0.45	<0.001	0.79 to 2.57	1.17 ± 0.64	0.070	−0.10 to 2.44	0.91 ± 0.48	0.061	−0.04 to 1.86	1.13 ± 0.45	0.015	0.22 to 2.03
Fat mass (kg)	−2.90 ± 1.31	0.030	−5.50 to −0.29	−1.86 ± 1.93	0.339	−5.70 to 1.98	−1.66 ± 1.44	0.254	−4.53 to 1.21	−2.46 ± 1.39	0.080	−5.23 to 0.30
Muscle mass (kg)	5.85 ± 0.81	<0.001	4.23 to 7.46	7.37 ± 1.08	<0.001	5.23 to 9.52	9.12 ± 0.62	<0.001	7.88 to 10.36	7.15 ± 0.91	<0.001	5.32 to 8.97
Bone mass (kg)	1.73 ± 0.26	<0.001	1.22 to 2.24	2.32 ± 0.34	<0.001	1.64 to 2.99	2.68 ± 0.21	<0.001	2.27 to 3.10	2.17 ± 0.28	<0.001	1.62 to 2.72
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	−0.17 ± 0.69	0.807	−1.53 to 1.20	0.23 ± 0.95	0.813	−1.67 to 2.13	0.58 ± 0.70	0.411	−0.81 to 1.97	−0.01 ± 0.70	0.986	−1.40 to 1.38
Muscle-bone index	0.23 ± 0.05	<0.001	0.12 to 0.33	0.29 ± 0.07	<0.001	0.15 to 0.43	0.38 ± 0.05	<0.001	0.28 to 0.49	0.28 ± 0.06	<0.001	0.17 to 0.39

\*: model including the interaction between the variables expressed; APHV: age at peak height velocity; BMI: Body mass index.

**Table 4.** Post hoc Bonferroni adjustment for the different covariates for the physical fitness variables.

Variable	Sex			Sex*Age			Sex*Maturity Offset			Sex*Birth Quartile		
	Mean Diff ± SD	<i>p</i>	95%CI	Mean Diff ± SD	<i>p</i>	95%CI	Mean Diff ± SD	<i>p</i>	95%CI	Mean Diff ± SD	<i>p</i>	95%CI
Sit-and-reach test (cm)	−5.21 ± 1.78	0.004	−8.74 to −1.69	−3.86 ± 2.27	0.093	−8.38 to 0.66	−3.17 ± 1.79	0.080	−6.73 to 0.39	−3.01 ± 1.67	0.076	−6.35 to 0.32
Back scratch test (cm)	−3.16 ± 1.24	0.012	−5.62 to −0.70	−4.59 ± 1.75	0.011	−8.08 to −1.10	−3.48 ± 1.38	0.014	−6.23 to −0.73	−2.46 ± 1.32	0.066	−5.08 to 0.17
Long jump (m)	0.34 ± 0.06	<0.001	0.21 to 0.47	0.23 ± 0.09	0.013	0.05 to 0.41	0.40 ± 0.07	<0.001	0.26 to 0.55	0.34 ± 0.07	<0.001	0.20 to 0.48
Medicine ball throw (m)	1.06 ± 0.25	<0.001	0.57 to 1.56	1.10 ± 0.30	<0.001	0.50 to 1.70	1.78 ± 0.18	<0.001	1.42 to 2.15	1.38 ± 0.25	<0.001	0.88 to 1.87
CMJ height (cm)	4.80 ± 1.10	<0.001	2.61 to 6.98	3.36 ± 1.39	0.018	0.60 to 6.12	6.60 ± 1.14	<0.001	4.33 to 8.87	5.18 ± 1.15	<0.001	2.90 to 7.46
CMJ power (W)	114.36 ± 28.57	<0.001	57.65 to 171.07	149.99 ± 35.95	<0.001	78.41 to 221.56	222.93 ± 20.02	<0.001	183.08 to 262.79	166.19 ± 29.85	<0.001	106.76 to 225.61
20 m sprint (s)	−0.35 ± 0.06	<0.001	−0.46 to −0.24	−0.24 ± 0.08	0.003	−0.40 to −0.09	−0.40 ± 0.06	<0.001	−0.53 to −0.27	−0.34 ± 0.06	<0.001	−0.46 to −0.21
Agility test (s)	−0.21 ± 0.18	0.249	−0.57 to 0.15	−0.15 ± 0.18	0.409	−0.52 to 0.21	−0.49 ± 0.15	0.002	−0.79 to −0.19	−0.44 ± 0.14	0.002	−0.72 to −0.16

\*: model including the interaction between the variables expressed; CMJ: counter movement jump.

### 3.4. Chi<sup>2</sup> Results

The results of the Chi<sup>2</sup> analysis can be seen in Table 5. No significant differences were observed between groups in the variables “training days”, “years playing volleyball”, “years in competition” or “success”.

**Table 5.** Differences between males and females in training and selection variables.

Variable		Sex		Chi <sup>2</sup> Value	p
		Male	Female		
Training days	3	36 (75%)	41 (85.42%)	3.702	0.296
	4	11 (22.92%)	6 (12.50%)		
	5	1 (2.08%)	1 (2.08%)		
Years playing volleyball	2	16 (33.33%)	11 (22.92%)	8.993	0.174
	3	14 (29.17%)	12 (24.49%)		
	4	6 (12.5%)	11 (22.92%)		
	5	9 (18.75%)	4 (8.33%)		
	6	1 (2.08%)	2 (4.16%)		
	7	1 (2.08%)	5 (10.42%)		
Years in competition	1	18 (37.5%)	14 (29.17%)	5.310	0.505
	2	8 (16.67%)	6 (12.50%)		
	3	14 (29.17%)	14 (29.17%)		
	4	5 (10.42%)	5 (10.42%)		
	5	3 (6.25%)	5 (10.42%)		
	7	0 (0%)	2 (4.16%)		
Success	More successful	21 (43.75%)	20 (41.67%)	0.086	0.838
	Less successful	27 (56.25%)	28 (58.33%)		

## 4. Discussion

One of the main objectives of the present study was to analyze the differences between boys and girls in terms of kinanthropometric variables. In this sense, significant differences were observed between groups in basic measurements, somatotype components, bone and muscle variables, and body composition components. These results are in line with previous studies that found differences between sexes in the variables studied in track and field athletes of similar age to the present study [16]. In addition, the introduction of the age covariate showed significant influence on bone variables and muscle mass and percentage, while the covariate maturity offset showed influence on the differences found in all kinanthropometric variables except somatotype and fat and muscle percentages. In this line, it has been observed that the differences between boys and girls in the early stages of pubertal development are not significant, but increase as pubertal development progresses [14,36]. Not surprisingly, the differences between boys and girls found in later stages could have their origin in the pubertal growth spurt, being especially relevant in the case of boys, since the hormonal changes that occur at this stage have a greater influence on the determinants of sports performance in them [15,16]. In the case of the present study, the population included was homogeneous in relation to age, observing a mean age of both boys and girls around 14 years, which means that while girls have passed APHV, the age of boys is close to their APHV [9]. This proximity in chronological age of the group of boys with respect to their APHV and the relationship of this with the differences between sexes [14], together with the homogeneity of the group in terms of chronological age could be the basis of the significant differences found.

When analyzing the results of the Bonferroni adjustment, it was observed that the group of boys showed higher values in both bone and muscle variables, as well as in the components of muscle and bone body composition, while the girls obtained higher results in the adipose related variables and the fat component of body composition, with

no differences observed in body mass or BMI. In the case of boys, circulating testosterone increases up to 30 times with respect to values measured before the growth spurt [15]. In girls, testosterone levels also increase during puberty, but more gradually and to a lesser extent than in the male population [15], and there is also an increase in estrogen during this period [37]. The effects of testosterone on the increase in muscle and bone mass have shown to have a strong dose-effect relationship between the increase in endogenous testosterone and the increase in muscle mass, as well as larger and denser bones [38,39]. This increase in bone and muscle variables has been related to greater production of strength and power [40], variables of vital importance in volleyball performance [6]. On the other hand, the increase in estrogen concentration has been related to adipose tissue, observing an accumulation of fat mass and its redistribution in relation to this sex hormone [41]. It could be for this reason that both age, to a lesser extent, and biological maturation could be affecting the differences found between boys and girls in the kinanthropometric variables in the present study.

Regarding the physical fitness tests, significant differences between sexes were observed without the influence of any of the covariates in the sit-and-reach and back scratch tests, where the group of girls obtained better results. These results are in line with other studies that have analyzed flexibility and range of motion (ROM) comparing between sexes [32,42]. Flexibility test performance has also been associated in the literature with age, finding that flexibility increases with advancing age, perhaps due to the susceptibility to improvement with training [32,43]. However, in the present study, no influence of age was observed in the differences found. On the other hand, the relationship of flexibility with biological maturation and birth quartile remains unclear [32], and no significant effect was found neither in the present work, so future research could try to clarify this relationship.

On the other side, differences between males and females were observed in the long jump, medicine ball throw, CMJ height and power, sprint, and agility tests, observing an interaction of age, maturity offset and birth quartile in the differences. All the tests where the differences were found are related to the ability to produce power and strength [21,34]. Among the factors that positively affect the production of muscle power, it has been observed that one of the key factors is muscle mass, with a relationship existing between the increase of muscle mass and the production of power [40,44]. Moreover, bone structure and biomechanics also play a crucial role in strength application [45]. These factors associated with better physical performance in tests requiring the application of force are favored by the increase in testosterone during adolescence [14,15]. These differences in testosterone concentration between boys and girls that appear during the growth spurt of boys around the APHV are maintained throughout adolescence [9,15], a fact that could help to understand the influence of both age and biological maturation in the differences found. On the other hand, the differences induced by the hormonal environment in the muscle, bone, and adipose variables observed could also be favoring the appearance of differences in performance.

In relation to the birth quartile, it did not show statistical main effect in the MANCOVA model with respect to the kinanthropometric and physical fitness variables, although it did show influence on the differences between groups in the interaction with sex. REA has been well documented in team sports [3,12,46]. There seems to be a clear REA in favor of those players born in the first months of the year, due in part to the differences found in both chronological age and maturation with respect to their peers born in the last months of the year in adolescent athlete populations [11,12,47]. However, the REA tends to be less determinant as age advances and the maturation process of the participants tends to equalize, becoming not determinant for sporting success as they approach adulthood [46,48]. In the present study, an influence of the REA on the differences found between male and female players in kinanthropometric variables and physical fitness tests was observed. These results are similar to those found in previous studies in both male and female volleyball players, in which significant differences were observed in relation to the birth quartile [3]. Nevertheless, the relationship of birth quartile with being chosen in a sports selection process remains unclear, since in young elite athletes a REA has not been observed

as in other athlete populations [3,12,20,46,48]. This is why it is a topic that should be explored in future research with a longitudinal design.

The differences found between boys and girls could be altered by differences in training, due to the influence of systematic physical exercise on kinanthropometric variables and variables related to physical fitness tests [49,50]. It has been observed that changes in kinanthropometric variables and sports performance improvement occur during adolescence in the absence of physical exercise, but are much more marked when adolescents exercise [9,51,52]. That is why we analyzed the differences between sexes in terms of days of training, years playing volleyball, years competing, and whether they had been categorized as successful players or not. However, in this study, no significant differences were observed with respect to the volume of training measured in days, nor were differences observed in the years of experience playing volleyball or competing, nor in the number of male and female successful players.

The present study is not free of limitations. Among the most important limitations are the descriptive and cross-sectional nature of the study, a relatively small sample size, the age of the participants, which together with the design of the study does not allow us to analyze the evolution of the phenomenon studied throughout the entire maturation stage, and the method of estimating biological maturation, which although it is a widely used method in sports science [8], is not the hand and wrist X-ray, considered the gold standard for the calculation of the maturity offset [9]. Future research could evaluate the influence of age, biological maturation, and birth quartile on the differences between boys and girls in kinanthropometric and physical fitness variables in volleyball from the age of sports initiation to advanced stages of adolescence, using longitudinal designs, with a larger sample, to know the evolution of the differences throughout the growth stage.

## 5. Conclusions

There is a clear influence of age and biological maturation in the differences found between sexes in adolescent volleyball players, while the birth quartile seems to have less influence as a main effect. The male volleyball players showed higher values in the basic kinanthropometric variables; bone breadths, except biiliocrestal; corrected muscle girths; bone and muscle masses, and muscle-bone index, while female players showed higher values in adipose related variables. In addition, significant differences were observed in the physical condition tests dependent on muscle strength and power, with boys showing higher values, while girls showed better performance in the flexibility tests. The differences found in both anthropometric variables and physical fitness test performance, and the relationship of age and maturation on the results could affect volleyball performance in both girls and boys after the APHV and become more marked as adolescence progresses. The practical implications of these results, together with the rules of the sport in youth categories, could be related to the creation of mixed teams and competitions between boys and girls until differences in kinanthropometric variables and physical performance are present around the APHV, moving at later stages to splitting the competition between boys and girls when differences in these variables may be determinant in volleyball sports performance. It would also be interesting during these stages of growth to include the evaluation of biological maturation when categorizing players to establish in which category they compete, and not to use chronological age as the only criterion, as is usually done, since those with more advanced maturation will have a competitive advantage as their anthropometric variables and physical condition performance variables will be affected.

**Author Contributions:** Conceptualization, F.E.-R., R.V.-C. and M.A.-S.; methodology, F.E.-R., R.V.-C. and M.A.-S.; formal analysis, M.A.-S.; investigation, M.A.-S., J.A.G.-R. and R.V.-C.; data curation, M.A.-S.; writing—original draft preparation, M.A.-S. and R.V.-C.; writing—review and editing, F.E.-R., M.A.-S., R.V.-C. and J.A.G.-R.; supervision, F.E.-R.; project administration, F.E.-R.; funding acquisition, F.E.-R. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** This research was funded by Universidad Católica San Antonio, Murcia (UCAM), grant number: PEMAFI 08/19. The participation of M.A.-S. in the research was possible thanks to a pre-doctoral contract for the training of research personnel, included in the UCAM’s own Research Plan 2018–2019: Human resources enhancement program.

**Institutional Review Board Statement:** The measurement protocol was reviewed and authorised by the institutional ethics committee, in accordance with the Code of World Medical Association (Code: CE061921). The statements of the Declaration of Helsinki were followed during the entire process. The measurement protocol was registered before the start of the study at [ClinicalTrials.gov](https://clinicaltrials.gov) (code: NCT04495595), accessed on 7 June 2019.

**Informed Consent Statement:** Informed consent was obtained from all subjects involved in the study.

**Data Availability Statement:** The datasets are available from the corresponding author on reasonable request.

**Acknowledgments:** The authors would like to thank the players, the clubs and the regional volleyball federation for their participation in this research project. Also, the authors would like to acknowledge the help provided by Malek, Nicolás, Aurora, Marvin and Elisa, UCAM students, supporting the main research team in the measurement sessions when needed.

**Conflicts of Interest:** The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses, or interpretation of data; in the writing of the manuscript, or in the decision to publish the results.

## References

- Huang, H.-Y.; Teng, T.-L.; Liang, C.-C. Lower Extremity Injuries of Volleyball Players During Moving Spike Landing. *Am. J. Sport Sci.* **2016**, *4*, 10. [[CrossRef](#)]
- Sarro, K.J.; Brioschi, F.R.; Andre Barbosa de Lira, C.; Andrade, M.D.S.; Vancini, R.L. Frequency and associated factors of poor knee alignment in young Brazilian volleyball players. *Phys. Sportsmed.* **2019**, *47*, 353–356. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Rubajczyk, K.; Rokita, A. The Relative Age Effect and Talent Identification Factors in Youth Volleyball in Poland. *Front. Psychol.* **2020**, *11*, 1445. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Zhao, K.; Hohmann, A.; Chang, Y.; Zhang, B.; Pion, J.; Gao, B. Physiological, Anthropometric, and Motor Characteristics of Elite Chinese Youth Athletes From Six Different Sports. *Front. Physiol.* **2019**, *10*, 405. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Tsoukos, A.; Drikos, S.; Brown, L.E.; Sotiropoulos, K.; Veligekas, P.; Bogdanis, G.C. Anthropometric and Motor Performance Variables Are Decisive Factors for The Selection of Junior National Female Volleyball Players. *J. Hum. Kinet.* **2019**, *67*, 163–173. [[CrossRef](#)]
- Tsoukos, A.; Drikos, S.; Brown, L.E.; Sotiropoulos, K.; Veligekas, P.; Bogdanis, G.C. Upper and Lower Body Power Are Strong Predictors for Selection of Male Junior National Volleyball Team Players. *J. Strength Cond. Res.* **2019**, *33*, 2760–2767. [[CrossRef](#)]
- Johnston, K.; Wattie, N.; Schorer, J.; Baker, J. Talent Identification in Sport: A Systematic Review. *Sports Med.* **2018**, *48*, 97–109. [[CrossRef](#)]
- Albaladejo-Saura, M.; Vaquero-Cristóbal, R.; González-Gálvez, N.; Esparza-Ros, F. Relationship between Biological Maturation, Physical Fitness, and Kinanthropometric Variables of Young Athletes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2021**, *18*, 328. [[CrossRef](#)]
- Malina, R.M.; Bouchard, C. *Growth, Maturation, and Physical Activity*; Human Kinetics Books: Champaign, IL, USA, 1991.
- Mirwald, R.L.; Baxter-Jones, A.D.; Bailey, D.A.; Beunen, G.P. An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2002**, *34*, 689–694.
- Folgado, H.; Bravo, J.; Quintas, A.; Raimundo, A.; Gonçalves, B. Relative Age Effect in Physical Fitness of South Portugal Students between 10 and 18 Years Old. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2021**, *18*, 6092. [[CrossRef](#)]
- Dugdale, J.H.; McRobert, A.P.; Unnithan, V.B. “He’s Just a Wee Laddie”: The Relative Age Effect in Male Scottish Soccer. *Front. Psychol.* **2021**, *12*, 633469. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Dugdale, J.H.; Sanders, D.; Myers, T.; Williams, A.M.; Hunter, A.M. Progression from youth to professional soccer: A longitudinal study of successful and unsuccessful academy graduates. *Scand. J. Med. Sci. Sports* **2021**, *31* (Suppl. 1), 73–84. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Handelsman, D.J. Sex differences in athletic performance emerge coinciding with the onset of male puberty. *Clin. Endocrinol.* **2017**, *87*, 68–72. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Handelsman, D.J.; Hirschberg, A.L.; Berman, S. Circulating Testosterone as the Hormonal Basis of Sex Differences in Athletic Performance. *Endocr. Rev.* **2018**, *39*, 803–829. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Malina, R.M.; Slawinska, T.; Ignasiak, Z.; Rozek, K.; Kochan, K.; Domaradzki, J.; Fugiel, J. Sex Differences in Growth and Performance of Track and Field Athletes 11–15 Years. *J. Hum. Kinet.* **2010**, *24*, 79–85. [[CrossRef](#)]
- Mujika, I.; Vaeyens, R.; Matthys, S.P.; Santisteban, J.; Goirierna, J.; Philippaerts, R. The relative age effect in a professional football club setting. *J. Sports Sci.* **2009**, *27*, 1153–1158. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]





18. Kelly, A.L.; Jiménez Sáiz, S.L.; Lorenzo Calvo, A.; de la Rubia, A.; Jackson, D.T.; Jeffreys, M.A.; Ford, C.; Owen, D.; Santos, S.D.L.D. Relative Age Effects in Basketball: Exploring the Selection into and Successful Transition Out of a National Talent Pathway. *Sports* **2021**, *9*, 101. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
19. Dugdale, J.H.; McRobert, A.P.; Unnithan, V.B. Selected, Deselected, and Reselected: A Case Study Analysis of Attributes Associated With Player Reselection Following Closure of a Youth Soccer Academy. *Front. Sports Act. Living* **2021**, *3*, 633124. [[CrossRef](#)]
20. Papadopoulou, S.D.; Papadopoulou, S.K.; Rosemann, T.; Knechtle, B.; Nikolaidis, P.T. Relative Age Effect on Youth Female Volleyball Players: A Pilot Study on Its Prevalence and Relationship With Anthropometric and Physiological Characteristics. *Front. Psychol.* **2019**, *10*, 2737. [[CrossRef](#)]
21. Arede, J.; Paulo Ferreira, A.; Gonzalo-Skok, O.; Leite, N. Maturation Development as a Key Aspect in Physiological Performance and National-Team Selection in Elite Male Basketball Players. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2019**, *14*, 902–910. [[CrossRef](#)]
22. Albaladejo-Saura, M.; Vaquero-Cristóbal, R.; Marcos-Pardo, P.J.; Esparza-Ros, F. Effect of an injury prevention program on the lower limb stability in young volleyball players. *J. Sports Med. Phys. Fit.* **2020**, *61*, 943–952. [[CrossRef](#)]
23. Vandembroucke, J.P.; von Elm, E.; Altman, D.G.; Gøtzsche, P.C.; Mulrow, C.D.; Pocock, S.J.; Poole, C.; Schlesselman, J.J.; Egger, M.; Initiative, S. Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE): Explanation and elaboration. *Int. J. Surg.* **2014**, *12*, 1500–1524. [[CrossRef](#)]
24. Katić, R.; Grgantov, Z.; Jurko, D. Motor structures in female volleyball players aged 14–17 according to technique quality and performance. *Coll. Antropol.* **2006**, *30*, 103–112.
25. Esparza-Ros, F.; Vaquero-Cristóbal, R.; Marfell-Jones, M. *International Standards for Anthropometric Assessment*; International Society for Advancement in Kinanthropometry: Murcia, Spain, 2019.
26. Slaughter, M.H.; Lohman, T.G.; Boileau, R.A.; Horswill, C.A.; Stillman, R.J.; Van Loan, M.D.; Bembem, D.A. Skinfold equations for estimation of body fatness in children and youth. *Hum. Biol.* **1988**, *60*, 709–723.
27. Poortmans, J.R.; Boisseau, N.; Moraine, J.J.; Moreno-Reyes, R.; Goldman, S. Estimation of total-body skeletal muscle mass in children and adolescents. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2005**, *37*, 316–322. [[CrossRef](#)]
28. Matiegka, J. The testing of physical efficiency. *Am. J. Phys. Anthropol.* **1921**, *4*, 223–230. [[CrossRef](#)]
29. Carter, J.E.L.; Heath, B.H. *Somatotyping: Development and Application*; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 1990.
30. Díaz-Soler, M.Á.; Vaquero-Cristóbal, R.; Espejo-Antúnez, L.; López-Miñarro, P.A. The effect of a warm-up protocol on the sit-and-reach test score in adolescent students. *Nutr. Hosp.* **2015**, *31*, 2618–2623.
31. Muyor, J.M.; Vaquero-Cristóbal, R.; Alacid, F.; López-Miñarro, P.A. Criterion-related validity of sit-and-reach and toe-touch tests as a measure of hamstring extensibility in athletes. *J. Strength Cond. Res.* **2014**, *28*, 546–555. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
32. Castro-Piñero, J.; Girela-Rejón, M.J.; González-Montesinos, J.L.; Mora, J.; Conde-Caveda, J.; Sjöström, M.; Ruiz, J.R. Percentile values for flexibility tests in youths aged 6 to 17 years: Influence of weight status. *Eur. J. Sport Sci.* **2013**, *13*, 139–148. [[CrossRef](#)]
33. López-Plaza, D.; Alacid, F.; Rubio, J.; López-Miñarro, P.; Muyor, J.M.; Manonelles, P. Morphological and physical fitness profile of young female sprint kayakers. *J. Strength Cond. Res.* **2018**, *33*, 1963–1970. [[CrossRef](#)]
34. López-Plaza, D.; Alacid, F.; Muyor, J.M.; López-Miñarro, P. Differences in Anthropometry, Biological Age and Physical Fitness Between Young Elite Kayakers and Canoeists. *J. Hum. Kinet.* **2017**, *57*, 181–190. [[CrossRef](#)]
35. Romero-Franco, N.; Jiménez-Reyes, P.; Castaño-Zambudio, A.; Capelo-Ramírez, F.; Rodríguez-Juan, J.J.; González-Hernández, J.; Toscano-Bendala, F.J.; Cuadrado-Peñafiel, V.; Balsalobre-Fernández, C. Sprint performance and mechanical outputs computed with an iPhone app: Comparison with existing reference methods. *Eur. J. Sport Sci.* **2017**, *17*, 386–392. [[CrossRef](#)]
36. Tønnessen, E.; Svendsen, I.S.; Olsen, I.C.; Guttormsen, A.; Haugen, T. Performance development in adolescent track and field athletes according to age, sex and sport discipline. *PLoS ONE* **2015**, *10*, e0129014. [[CrossRef](#)]
37. Sandhu, J.; Ben-Shlomo, Y.; Cole, T.J.; Holly, J.; Davey Smith, G. The impact of childhood body mass index on timing of puberty, adult stature and obesity: A follow-up study based on adolescent anthropometry recorded at Christ’s Hospital (1936–1964). *Int. J. Obes.* **2005**, *30*, 14–22. [[CrossRef](#)]
38. Vanderschueren, D.; Laurent, M.R.; Claessens, F.; Gielen, E.; Lagerquist, M.K.; Vandenput, L.; Börjesson, A.E.; Ohlsson, C. Sex steroid actions in male bone. *Endocr. Rev.* **2014**, *35*, 906–960. [[CrossRef](#)]
39. Finkelstein, J.S.; Lee, H.; Burnett-Bowie, S.A.; Pallais, J.C.; Yu, E.W.; Borges, L.F.; Jones, B.F.; Barry, C.V.; Wulczyn, K.E.; Thomas, B.J.; et al. Gonadal steroids and body composition, strength, and sexual function in men. *N. Engl. J. Med.* **2013**, *369*, 1011–1022. [[CrossRef](#)]
40. Fitts, R.H.; McDonald, K.S.; Schluter, J.M. The determinants of skeletal muscle force and power: Their adaptability with changes in activity pattern. *J. Biomech.* **1991**, *24* (Suppl. 1), 111–122. [[CrossRef](#)]
41. Garnett, S.P.; Högl, W.; Blades, B.; Baur, L.A.; Peat, J.; Lee, J.; Cowell, C.T. Relation between hormones and body composition, including bone, in prepubertal children. *Am. J. Clin. Nutr.* **2004**, *80*, 966–972. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
42. Hogg, J.A.; Schmitz, R.J.; Nguyen, A.D.; Shultz, S.J. Passive Hip Range-of-Motion Values Across Sex and Sport. *J. Athl. Train.* **2018**, *53*, 560–567. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
43. Vaquero-Cristóbal, R.; Molina-Castillo, P.; López-Miñarro, P.A.; Albaladejo-Saura, M.; Esparza-Ros, F. Hamstring extensibility differences among elite adolescent and young dancers of different dance styles and non-dancers. *PeerJ* **2020**, *8*, e9237. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
44. Kraemer, W.J.; Newton, R.U. Training for muscular power. *Phys. Med. Rehabil. Clin. N. Am.* **2000**, *11*, 341–368. [[CrossRef](#)]

45. Keogh, J.W.; Hume, P.A.; Pearson, S.N.; Mellow, P.J. Can absolute and proportional anthropometric characteristics distinguish stronger and weaker powerlifters? *J. Strength Cond. Res.* **2009**, *23*, 2256–2265. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
46. Fonseca, F.S.; Figueiredo, L.S.; Gantois, P.; de Lima-Junior, D.; Fortes, L.S. Relative Age Effect is Modulated by Playing Position but is Not Related to Competitive Success in Elite Under-19 Handball Athletes. *Sports* **2019**, *7*, 91. [[CrossRef](#)]
47. Matta, M.d.O.; Figueiredo, A.J.; Garcia, E.S.; Wernek, F.Z.; Seabra, A. Relative age effect on anthropometry, biological maturation and performance of young soccer players. *Rev. Bras. Cineantropometria Desempenho Hum.* **2015**, *17*, 257–268. [[CrossRef](#)]
48. Castillo, D.; Pérez-González, B.; Raya-González, J.; Fernández-Luna, Á.; Burillo, P.; Lago-Rodríguez, Á. Selection and promotion processes are not associated by the relative age effect in an elite Spanish soccer academy. *PLoS ONE* **2019**, *14*, e0219945. [[CrossRef](#)]
49. Ruffieux, J.; Wälchli, M.; Kim, K.M.; Taube, W. Countermovement Jump Training Is More Effective Than Drop Jump Training in Enhancing Jump Height in Non-professional Female Volleyball Players. *Front. Physiol.* **2020**, *11*, 231. [[CrossRef](#)]
50. Lesinski, M.; Prieske, O.; Helm, N.; Granacher, U. Effects of Soccer Training on Anthropometry, Body Composition, and Physical Fitness during a Soccer Season in Female Elite Young Athletes: A Prospective Cohort Study. *Front. Physiol.* **2017**, *8*, 1093. [[CrossRef](#)]
51. Beunen, G.P.; Malina, R.M.; Lefevre, J.; Claessens, A.L.; Renson, R.; Eynde, B.K.; Vanreusel, B.; Simons, J. Skeletal maturation, somatic growth and physical fitness in girls 6–16 years of age. *Int. J. Sports Med.* **1997**, *18*, 413–419. [[CrossRef](#)]
52. Katzmarzyk, P.T.; Malina, R.M.; Beunen, G.P. The contribution of biological maturation to the strength and motor fitness of children. *Ann. Hum. Biol.* **1997**, *24*, 493–505. [[CrossRef](#)]

**ANEXO VII – MÉTODOS,  
RESULTADOS Y  
DISCUSIÓN: ESTUDIO 2**

## Article

# Influence of Maturity Status on Kinanthropometric and Physical Fitness Variables in Adolescent Female Volleyball Players

Mario Albaladejo-Saura <sup>1</sup>, Raquel Vaquero-Cristóbal <sup>1,2,\*</sup>, Juan Alfonso García-Roca <sup>2</sup>  
and Francisco Esparza-Ros <sup>1</sup>

<sup>1</sup> International Kinanthropometry Chair, UCAM—Universidad Católica de Murcia, 30107 Murcia, Spain; mdalbaladejosaura@ucam.edu (M.A.-S.); fesparza@ucam.edu (F.E.-R.)

<sup>2</sup> Faculty of Sport Science, Campus de Los Jerónimos, Universidad Católica de Murcia, s/n Guadalupe, 30107 Murcia, Spain; jagarcia@ucam.edu

\* Correspondence: rvaquero@ucam.edu

**Abstract:** The aim of this research was to analyze differences in kinanthropometric characteristics and physical performance in relation to maturity status, as well as to determine if age, maturity offset or kinanthropometric variables could predict better performance in physical fitness tests. A total of 152 female volleyball players ( $14.16 \pm 1.25$  years old) underwent a kinanthropometric assessment, followed by a physical fitness assessment composed of different tests. The age at peak height velocity (APHV) was calculated, and the sample was divided according to biological maturation into three groups. Significant differences were observed in kinanthropometric variables ( $p < 0.001$ – $0.026$ ), with early maturers showing higher values. Age, body mass, Cormic index, relative arm span,  $\Sigma 8$  skinfolds, fat mass, corrected arm and thigh girths, muscle mass and biacromial and biiliocrystal breadths were the variables that best predicted performance in the physical tests ( $p < 0.001$ – $0.024$ ). The more mature players showed higher values in most of the kinanthropometric variables, with the more remarkable differences being in body mass, height, arm span and sitting height, and those related to adiposity and absolute body composition, and with structural variables being the most influential on the physical tests. Age had a determinant influence on the differences found between groups in strength and power-related test performance.

**Keywords:** adolescence; growth; kinanthropometry; sports performance; volleyball



**Citation:** Albaladejo-Saura, M.; Vaquero-Cristóbal, R.; García-Roca, J.A.; Esparza-Ros, F. Influence of Maturity Status on Kinanthropometric and Physical Fitness Variables in Adolescent Female Volleyball Players. *Appl. Sci.* **2022**, *12*, 4400. <https://doi.org/10.3390/app12094400>

Academic Editors: Mark King and Alessandro de Sire

Received: 29 March 2022

Accepted: 25 April 2022

Published: 27 April 2022

**Publisher's Note:** MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



**Copyright:** © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## 1. Introduction

In the past few decades, there has been a great interest in finding models to identify future sports talent among children and adolescents [1]. These talent identification programs often include the analysis of physical performance and kinanthropometric variables as a result of their influence on elite performance in sports [2–6]. More specifically, volleyball is characterized by explosive actions, which makes the physical condition of great importance in performance [7,8]. Due to the rules of the sport, height, arm span and leg length could allow the differentiation of high-level players [9], together with specific physical abilities such as vertical jumping and coordination in agility tests [10].

However, the characterization of the physical and kinanthropometric requirements of athletes should be approached with caution when extrapolating values to young growing athletes, as biological changes occur during this stage of maturation that may affect these variables [11]. Along this line, many talent identification programs base their selection on size and physique, dividing athletes by age groups, without taking into account that as the maturation process continues, these characteristics could become equalized [2].

Biological maturation seems to have a significant relationship with kinanthropometric and fitness variables in adolescent male athletes, with early maturers showing higher

values in kinanthropometric and fitness tests, perhaps as a result of hormonal changes that occur during biological maturation [2,3]. For this reason, much attention has been paid in recent years to the relationship between biological maturation, physical fitness and kinanthropometric characteristics [3]. The age at peak height velocity (APHV) has become one of the most widely used indicators to monitor the gap between the chronological age and biological maturation of individuals [12,13]. A widely used and validated method to assess APHV is based on regression formulae from kinanthropometric variables [13].

Presently, the participation of female athletes in elite sporting events is on the rise [14]. In spite of this, scientific knowledge on the factors that affect the sports performance of women is lower than for men [14]. It is known that the maturation process occurs unevenly between boys and girls, with differences observed in the age of onset of maturation (between 9 and 14.9 years in girls versus between 12 and 15.8 in boys) [12] and in hormone concentrations related to the process of body change [15]. However, studies on the female population are scarce, and there is little evidence on whether this phenomenon also occurs among adolescent girls [16,17], although the study of the influence of biological maturation on kinanthropometric and fitness variables in female athletes could help to clarify key points in the identification of sporting talent [2,3]. Knowing this, it is possible that girls whose maturation process is more advanced would show higher values in kinanthropometric variables, as well as better performance in physical fitness tests compared to their chronological age peers.

Notwithstanding all of the above, there are no studies that have analyzed the differences in kinanthropometric variables and physical fitness in growing volleyball players, neither in male nor in female populations, according to the maturity status classification [3]. Therefore, the aim of the present research was to analyze the differences in kinanthropometric characteristics and performance in physical fitness tests according to biological maturation, as well as to determine if age, biological maturation or kinanthropometric variables could predict better performance in physical fitness tests in adolescent volleyball players.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Participants

Sample size calculations were performed using Rstudio software (version 3.15.0, Rstudio Inc., Boston, MA, USA). The significance level was set at  $\alpha = 0.05$ . The standard deviation (SD) was set based on the maturity offset (SD = 0.36) [18] from previous studies. With an estimated error (d) of 0.058 years of maturity offset, the estimated sample needed was 30 subjects per group. With the significance level set a priori ( $\alpha = 0.05$ ),  $n = 30$  participants per group and three groups based on the maturity status, the statistical power to detect large effects in the analysis of variance was 0.93. A total of 152 female volleyball players ( $14.16 \pm 1.25$ ) took part in the study. Prior to the start of the study, coaches, parents and players were informed of the measurement procedures, and an informed consent form was signed by the parents or legal guardians of the underage participants. The inclusion criteria were: (a) volleyball training on a regular basis, at least two days a week, with a minimum weekly training duration of three hours; (b) participating in official volleyball federation competitions during the season in which the measurements were taken; (c) having played volleyball with a volleyball federation license for at least 3 years without interruption; and (d) being between 12 and 15 years old, due to the age range in which APHV takes place [12]. The exclusion criteria were: (a) suffering from an injury that prevented completion of the tests; (b) missing more than 25% of training sessions in the last 3 months [19]; and (c) practicing other sports regularly.

### 2.2. Procedures

A cross-sectional study was designed in accordance with the STROBE guidelines [20]. The Institutional Ethics Committee reviewed and authorized the protocol designed for data collection in accordance with the World Medical Association Code (Code number:

CE061921). The standards of the Declaration of Helsinki were followed during the entire process. The measurements were carried out in the players' usual training sports hall. Participants were instructed not to perform strenuous physical exercise or eat large amounts of food 24 h prior to the measurements. A socio-demographic and sports questionnaire was carried out first, followed by a kinanthropometric assessment and physical fitness tests.

### 2.3. Socio-Demographic and Sports Information Questionnaire

An ad hoc questionnaire was used to collect socio-demographic and sports information. Subjects were asked their birthday to calculate their age at the time of the assessment; the days and hours of weekly training; how many training days they had skipped in the last three months; if they had, recently or currently, suffered a sports injury; if they practiced other sports on a regular basis; and the number of years they had been participating in official federated competition. The subjects self-completed the questionnaire under the supervision of a researcher, who previously explained the content of each question.

### 2.4. Biological Maturation Assessment

Maturity offset was calculated in accordance with the procedures described by Mirwald et al. [13] using the sex-specific formula:  $-9.37 + 0.0001882 \times ((\text{height} - \text{sitting height}) \times \text{sitting height}) - 0.0022 \times (\text{age} \times (\text{height} - \text{sitting height})) + 0.005841 \times (\text{age} \times \text{sitting height}) - 0.002658 \times (\text{age} \times \text{weight}) + 0.07693 \times (\text{weight}/\text{height})$ . The result of the maturity offset equation is expressed in years from the APHV when the result is positive and in years to the APHV when the result is negative. This formula has been used in the adolescent athlete population, showing a high interclass correlation coefficient (ICC = 0.96), as well as a low coefficient of variance percentage (CV% = 0.8) and a low typical error (TE = 0.1) [21]. The result was used to calculate the age at peak height velocity (APHV) for each subject using the following formula: APHV = chronological age – maturity offset result.

The APHV value was then used to classify players into three maturity status groups using the group mean APHV, in line with previous research [22]. Thus, the early maturer group was composed of players whose APHV was  $-0.5$  years or less with respect to the mean; the average maturer group had APHV values of  $\pm 0.5$  years with respect to the mean; and the late maturer group had APHV values of  $+0.5$  years or more with respect to the mean of the group.

### 2.5. Kinanthropometric Assessment

Four basic measurements—eight skinfolds; six girths (arm relaxed, flexed and tensed arm, waist, hips, middle thigh and calf); five breadths (biacromial, biiliocrystal, humerus, femur and bi-styloid); three lengths (acromiale-radiale, radiale-styilion and styilion-medio dactylion); and a height (ilioespinale)—were measured following the guidelines of the International Society for the Advancement in Kinanthropometry (ISAK) [23]. All measurements were performed by level 2 and 3 kinanthropometrists accredited by the ISAK. The intra- and inter-evaluator technical error of measurement (TEM) were calculated in a sub-sample of 30 participants (age =  $14.47 \pm 1.10$ ) in the pilot study. For this purpose, a sample with similar characteristics to the study sample was chosen, and the number of participants included was based on previous research [24], being the minimum number of participants indicated to perform the inter- and intra-evaluator error calculations [25]. The intra-evaluator TEM was 0.03% in basic measurements, lengths, heights and girths and 1.07% in skinfolds; the inter-evaluator TEM was 0.05% in basic measurements of lengths, heights and girths and 2.83% in skinfolds.

The following material was used for kinanthropometric assessment: a SECA 862 scale (SECA, Hambourgh, Germany) with an accuracy of 100 g; a SECA stadiometer (SECA, Hambourgh, Germany) and an arm span meter (Smartmet, Jalisco, Mexico) with an accuracy of 0.1 cm; a skinfold caliper (Harpenden, Burguess Hill, UK) with an accuracy of 0.2 mm; and an inextensible tape (Lufkin, Missouri, TX, USA), a segmometer (CESCORF, Porto Alegre, Brazil), an anthropometer (Realmet, Barcelona, Spain) and a small girth

sliding caliper (Holtain, Crymych, UK) with 0.01 cm accuracy. All measurements were taken twice. When the difference between the first and second measurements was greater than 5% for the folds or 1% for the other measurements, a third measurement was taken. The final value used for the analysis was the mean between measurements in the case of two attempts and the median in the case of three measurements.

The final values of the kinanthropometric measurements were used to calculate the variables of the body mass index (BMI), fat mass [26], muscle mass [27], bone mass [28], somatotype [29],  $\Sigma 6$  skinfolds [30],  $\Sigma 8$  skinfolds [30,31], Cormic index [(sitting height/height)  $\times$  100], relative arm span [(arm span/height)  $\times$  100], upper limb length [acromiale – radiale + radiale – stylium + stylium – medio dactylion], corrected girths of the arm [arm relaxed girth – ( $\pi \times$  triceps skinfold)], thigh [middle thigh girth – ( $\pi \times$  thigh skinfold)] and calf [calf girth – ( $\pi \times$  calf skinfold)], the muscle-bone index [muscle mass/bone mass] and waist-to-hip ratio (waist/hip girth).

### 2.6. Physical Fitness Assessment

The tests were performed in the following order: sit-and-reach test, back scratch test, long jump, medicine ball throw, counter-movement jump (CMJ), 20 m sprint and agility test (9-3-6-3-9). The test assessment was performed according to previously described protocols [32]. The order of the tests was selected according to the recommendations of the National Strength and Conditioning Association (NSCA), which bases its recommendations on the fatigue generated by the different tests, as well as the metabolic pathways required by each of them, leaving a rest between trials of five minutes so that there was the minimum interference possible in the results [33]. In addition, the order followed in the tests has also been used in previous research in similar populations [34,35]. First, before the warm-up, flexibility tests were performed [36]. This was followed by a standardized warm-up, consisting of 10 min of continuous running, followed by joint mobility and familiarization with the physical fitness tests. Two researchers with previous experience in the assessment of physical fitness tests oversaw the familiarization and assessment of these tests, with the same researcher being responsible for each test during all measurements in order to avoid inter-evaluator error in the assessments. Two attempts were made at each test, with a two-minute rest between them, and with the final value being the mean of the two trials.

The sit-and-reach test was performed with the Acuflex Tester III (Novel Products, Rockton, IL, USA); the back scratch test was performed with a millimeter ruler (GIMA, Gessate, Italy); the long jump and medicine ball throw tests were performed with a tape measure (HaeSt, Wolfenbüttel, Germany) with a 0.1 cm accuracy; the CMJ was performed with a force platform (MuscleLab, Stathelle, Norway); the sprint test (20 m) was performed with MySprint (Apple Inc., Cupertino, CA, USA) [37]; and the agility test (9-3-6-3-9) was performed with five photocells (Microgate, Bolzano, Italy).

To perform the sit-and-reach, the participants were asked to sit on the floor, without shoes, with the soles of their feet in contact with the measurement tool and their legs completely stretched. They were asked to move forward slowly while pushing the indicator of the measurement tool until they reached the maximum distance without bending their knees [36].

For the back scratch test, the participants were asked to stand still and to perform a shoulder flexion and internal rotation with one arm, while with the other arm, they performed a shoulder extension with external rotation, trying to put the middle finger together in the back. The distance between the middle fingers or the overlap was registered for both arms [38].

For the long jump, the participants were asked to stand behind the starting line and to perform a horizontal jump with both legs at the same time. Swinging the arms was permitted, and the distance between the starting line and the heel was registered [39].

For the medicine ball throw, the players were asked to stand behind the start line, holding the ball with both hands. They were asked to throw the ball over their heads at the

maximum distance possible, and the distance between the start line and the first bounce was registered [11].

For the CMJ, players were asked to stand on the platform with their hands placed on their hips. They were asked to perform a maximum vertical jump without taking their hands off their hips, and the jump height and power were registered [11].

For the sprint, the participants were asked to stand behind the start line and to cover the 20 m distance as fast as possible. The time was registered for each trial [39].

For agility, the participants were asked to run nine, three, six, three and nine meters, changing the direction after stepping on each of the lines marking the distances as fast as possible. The time to complete the test was registered [35].

### 2.7. Statistical Analysis

The distribution (Kolmogorov–Smirnov test), kurtosis and asymmetry of the variables were calculated. Levene's test was used to assess the homogeneity of the variances. The variables showed a normal, platykurtic and symmetric distribution ( $p = 0.07$ – $0.889$ ), and the variances were homogeneous ( $p = 0.087$ – $0.953$ ). A descriptive analysis of the sample was performed, including the mean and standard deviation. A one-way ANCOVA was performed to compare the differences between the maturity status groups in the kinanthropometric variables and physical fitness tests and to measure the influence of age on the differences. Both the main effects and the interaction between the variables were checked. The effect size was calculated with partial eta squared ( $\eta^2_p$ ). The Bonferroni post hoc adjustment was used to analyze differences between groups when these differences were significant. The effect sizes for the pairwise comparisons were calculated with Cohen's D. The significance level was set a priori at  $p < 0.05$ . Correlations between age, maturity offset, kinanthropometric and fitness variables were calculated using Pearson's correlation test. In addition, a linear regression in blocks with entered predictors based on the significance of Pearson's  $r$  was performed with the variables that showed significant correlations in order to find out which variables could predict performance in physical tests. The normality of residuals was checked for each statistical test used. All statistical analyses were performed with SPSS v.23 software (IBM, Armonk, NY, USA).

## 3. Results

After calculating the APHV, the sample was divided into early maturers ( $n = 29$ ), average maturers ( $n = 93$ ) and late maturers ( $n = 30$ ). Table 1 shows the descriptive statistics (mean  $\pm$  SD) for each group for all of the variables measured, as well as the differences between maturity groups, the main effects of the covariate "age" and the interaction between variables (maturity group  $\times$  age). Tables 2–6 show the comparisons after the Bonferroni adjustment of the three maturity statuses for the kinanthropometric variables and physical fitness tests, respectively.

Pairwise adjustment showed statistical differences between early and average and between early and late maturers in body mass, BMI, limb breadths and bone mass ( $p < 0.001$ – $0.037$ ) (Tables 2 and 3). Early maturers showed statistical differences compared to late maturers in height and sitting height, corrected thigh girth, sums of skinfolds, fat mass and percentage, muscle mass and endomorphy ( $p = 0.007$ – $0.048$ ) (Tables 2–5). The inclusion of the covariate "age" showed that the differences found between maturity status groups in the basic measurements ( $p < 0.001$ – $0.030$ ), in bone-related variables ( $p < 0.001$ – $0.022$ ), in the fat in the muscle and fat-related variables ( $p < 0.001$ – $0.048$ ) and in body composition ( $p < 0.001$ – $0.041$ ) were dependent on age (Tables 2–5).



**Table 1.** Differences according to maturation group, including age covariate main effects and interactions.

Variable	Group (Mean ± SD)			Individual Models								
	Early (n = 29)	Average (n = 93)	Late (n = 30)	Maturity Status Group			Age			Maturity Status Group × Age		
				F	p-Value	η <sup>2</sup> <sub>p</sub>	F	p-Value	η <sup>2</sup> <sub>p</sub>	F	p-Value	η <sup>2</sup> <sub>p</sub>
Maturity offset (years) *	2.28 ± 0.64	1.83 ± 0.93	1.30 ± 0.62	108.99	<0.001	0.63	1444.24	<0.001	0.92	648.84	<0.001	0.93
APHV (years) *	11.52 ± 0.24	12.34 ± 0.29	13.13 ± 0.27	108.99	<0.001	0.63	44.07	<0.001	0.25	234.25	<0.001	0.83
Body mass (Kg) *	61.73 ± 10.28	56.12 ± 9.70	53.30 ± 7.27	47.55	<0.001	0.42	87.45	<0.001	0.40	37.54	<0.001	0.43
Height (cm) *	163.90 ± 4.85	161.89 ± 6.34	159.42 ± 6.24	84.68	<0.001	0.57	180.25	<0.001	0.58	75.83	<0.001	0.61
Arm span (cm) *	164.16 ± 5.97	162.73 ± 7.69	160.47 ± 7.52	39.46	<0.001	0.38	98.18	<0.001	0.43	40.14	<0.001	0.45
Sitting height (cm) *	85.73 ± 2.99	84.82 ± 3.65	83.26 ± 3.68	55.52	<0.001	0.46	122.22	<0.001	0.49	57.31	<0.001	0.54
Cormic index	52.31 ± 1.12	52.40 ± 1.40	52.24 ± 1.84	0.23	0.799	0.00	0.30	0.586	0.00	0.24	0.867	0.00
Relative arm span (%)	100.16 ± 2.27	100.51 ± 2.41	100.67 ± 3.16	0.21	0.813	0.00	0.18	0.673	0.00	0.37	0.777	0.01
Upper limb length (cm) *	73.42 ± 2.63	72.62 ± 3.36	71.88 ± 3.60	39.30	<0.001	0.38	89.18	<0.001	0.41	33.72	<0.001	0.41
Iliospinale height (cm) *	92.98 ± 2.85	92.27 ± 4.57	90.63 ± 4.47	23.11	<0.001	0.26	47.93	<0.001	0.27	19.83	<0.001	0.29
Biacromial breadth (cm) *	35.81 ± 1.68	34.95 ± 1.87	34.86 ± 2.06	38.61	<0.001	0.37	91.62	<0.001	0.42	32.79	<0.001	0.40
Biiliocrystal breadth (cm) *	26.94 ± 2.09	26.25 ± 1.88	25.93 ± 1.56	31.65	<0.001	0.33	75.27	<0.001	0.37	27.48	<0.001	0.36
Femur breadth (cm) *	9.35 ± 0.53	9.05 ± 0.49	8.83 ± 0.39	25.97	<0.001	0.29	30.67	<0.001	0.19	18.97	<0.001	0.28
Humerus breadth (cm) *	6.48 ± 0.38	6.25 ± 0.34	6.12 ± 0.33	17.44	<0.001	0.21	17.23	<0.001	0.12	14.75	<0.001	0.23
Bi-styloid breadth (cm) *	5.05 ± 0.23	4.91 ± 0.26	4.84 ± 0.27	10.26	<0.001	0.14	7.00	0.009	0.05	7.73	<0.001	0.14
Corrected arm girth (cm) *	21.68 ± 2.12	20.43 ± 1.97	20.52 ± 1.80	20.76	<0.001	0.24	37.60	<0.001	0.23	19.80	<0.001	0.29
Corrected thigh girth (cm) *	43.21 ± 4.19	41.49 ± 4.23	40.17 ± 3.19	20.76	<0.001	0.24	37.19	<0.001	0.22	18.47	<0.001	0.27
Corrected leg girth (cm) *	29.51 ± 3.13	29.08 ± 2.67	29.24 ± 2.03	14.21	<0.001	0.18	63.58	<0.001	0.33	24.14	<0.001	0.33
Endomorphy *	4.42 ± 1.42	3.91 ± 1.30	3.51 ± 0.99	4.74	0.010	0.07	3.29	0.072	0.02	3.06	0.030	0.06
Mesomorphy	4.33 ± 1.13	3.89 ± 1.19	3.89 ± 0.87	1.88	0.157	0.03	1.10	0.297	0.01	1.51	0.215	0.03
Ectomorphy*	2.03 ± 1.23	2.59 ± 1.42	2.55 ± 1.05	3.16	0.046	0.05	3.31	0.071	0.03	2.34	0.076	0.05
∑6 Skinfolds (mm) *	97.85 ± 25.86	86.59 ± 25.18	78.29 ± 18.48	7.92	0.001	0.11	5.47	0.021	0.04	4.41	0.005	0.08
∑8 Skinfolds (mm) *	122.79 ± 33.57	108.27 ± 34.09	96.61 ± 23.80	7.31	0.001	0.10	4.63	0.033	0.03	3.82	0.011	0.07
Fat mass percentage (%) *	26.40 ± 5.41	24.53 ± 5.75	22.46 ± 4.64	7.39	0.001	0.10	5.72	0.018	0.04	3.91	0.010	0.07
Muscle mass (%)	30.46 ± 2.18	31.06 ± 2.48	31.54 ± 2.03	0.14	0.872	0.00	1.66	0.200	0.01	2.29	0.081	0.04
Bone mass percentage (%) *	15.84 ± 1.97	16.40 ± 2.04	16.32 ± 1.74	6.33	0.002	0.09	17.79	<0.001	0.12	6.36	<0.001	0.11
Fat mass (Kg) *	16.61 ± 5.50	14.11 ± 5.13	12.12 ± 3.70	21.88	<0.001	0.25	28.87	<0.001	0.18	13.19	<0.001	0.21
Muscle mass (Kg) *	18.80 ± 3.37	17.41 ± 3.24	16.80 ± 2.50	36.71	<0.001	0.36	84.54	<0.001	0.40	38.05	<0.001	0.44
Bone mass (Kg) *	9.61 ± 0.81	9.05 ± 0.94	8.61 ± 0.85	70.39	<0.001	0.52	106.77	<0.001	0.45	53.97	<0.001	0.52
BMI (Kg/m <sup>2</sup> ) *	22.93 ± 3.27	21.34 ± 3.02	20.92 ± 2.23	13.27	<0.001	0.17	20.91	<0.001	0.14	9.65	<0.001	0.16
Waist to hip ratio *	0.75 ± 0.06	0.75 ± 0.06	0.72 ± 0.04	1.13	0.325	0.02	5.86	0.017	0.04	4.72	0.004	0.09
Muscle-bone index *	1.95 ± 0.28	1.92 ± 0.25	1.95 ± 0.21	4.48	0.013	0.06	21.58	<0.001	0.14	8.44	<0.001	0.15
Sit-and-reach test (cm)	5.50 ± 6.02	5.85 ± 8.60	4.81 ± 9.89	0.54	0.584	0.01	0.09	0.760	0.00	0.40	0.752	0.01

Table 1. Cont.

Variable	Group (Mean ± SD)			Individual Models								
	Early (n = 29)	Average (n = 93)	Late (n = 30)	Maturity Status Group			Age			Maturity Status Group × Age		
				F	p-Value	η <sup>2</sup> <sub>p</sub>	F	p-Value	η <sup>2</sup> <sub>p</sub>	F	p-Value	η <sup>2</sup> <sub>p</sub>
Back scratch test (cm)	4.03 ± 4.56	4.44 ± 5.68	4.16 ± 5.36	0.25	0.778	0.00	0.27	0.605	0.00	0.17	0.915	0.00
Long jump (m)	1.59 ± 0.19	1.63 ± 0.21	1.68 ± 0.20	0.06	0.939	0.00	2.51	0.115	0.02	2.65	0.051	0.05
Medicine ball throw (m) *	4.87 ± 0.91	5.00 ± 1.08	5.17 ± 0.97	4.24	0.016	0.06	21.41	<0.001	0.14	10.49	<0.001	0.18
CMJ (cm) *	22.87 ± 3.79	24.84 ± 4.46	25.43 ± 4.26	0.57	0.568	0.01	2.60	0.110	0.02	4.20	0.007	0.08
CMJ power (W) *	635.00 ± 96.98	603.35 ± 111.99	580.89 ± 94.36	40.16	<0.001	0.38	105.66	<0.001	0.45	44.06	<0.001	0.47
20 m sprint (s)	4.24 ± 0.26	4.14 ± 0.31	4.16 ± 0.25	2.09	0.128	0.03	0.00	0.956	0.00	1.88	0.136	0.04
Agility test (s)	9.65 ± 0.73	9.22 ± 1.05	9.23 ± 0.66	1.46	0.237	0.02	1.56	0.214	0.01	0.74	0.528	0.01

\*: p < 0.05.

Table 2. Post hoc comparison between groups for the basic, derived and maturation variables.

Test	Group	Model							
		Maturity Status Group				Maturity Status Group × Age			
		Mean Difference ± SD	p-Value	95% CI	ES	Mean Difference ± SD	p-Value	95% CI	ES
Maturity offset (years)	E A *	−0.54 ± 0.18	0.011	−0.97 to −0.10	0.53	00.64 ± 0.06	<0.001	0.49 to 0.78	15.30
	E L *	−0.99 ± 0.22	<0.001	−1.52 to −0.45	0.58	1.25 ± 0.08	<0.001	1.05 to 1.45	23.89
	A L *	−0.45 ± 0.18	0.037	−0.88 to −0.02	0.68	0.61 ± 0.06	<0.001	0.47 to 0.75	15.18
APHV (years)	E A *	−0.82 ± 0.06	<0.001	−0.97 to −0.68	0.95	−0.64 ± 0.06	<0.001	−0.78 to −0.49	15.32
	E L *	−1.61 ± 0.07	<0.001	−1.79 to −1.44	3.13	−1.25 ± 0.08	<0.001	−1.45 to −1.05	23.91
	A L *	−0.79 ± 0.06	<0.001	−0.93 to −0.64	2.81	−0.61 ± 0.06	<0.001	−0.75 to −0.47	15.18
Body mass (Kg)	E A *	5.61 ± 1.99	0.017	0.77 to 10.45	0.81	14.13 ± 1.81	<0.001	9.73 to 18.52	11.01
	E L *	8.42 ± 2.44	0.002	2.50 to 14.35	0.63	24.45 ± 2.55	<0.001	18.27 to 30.64	15.22
	A L *	2.82 ± 1.973	0.467	−1.96 to 7.59	0.33	10.32 ± 1.75	<0.001	6.09 to 14.56	8.35
Height (cm)	E A *	2.01 ± 1.29	0.363	−1.11 to 5.14	0.36	8.82 ± 0.95	<0.001	6.51 to 11.13	13.09
	E L *	4.47 ± 1.58	0.016	0.64 to 8.303	0.37	17.33 ± 1.34	<0.001	14.08 to 20.58	20.53
	A L *	2.45 ± 1.27	0.167	−0.63 to 5.55	0.39	8.51 ± 0.92	<0.001	6.28 to 10.73	13.10
BMI (Kg/m <sup>2</sup> )	E A *	1.58 ± 0.62	0.037	0.07 to 3.09	0.50	3.05 ± 0.68	<0.001	1.40 to 4.69	6.34
	E L *	2.00 ± 0.76	0.029	0.15 to 3.86	0.34	4.76 ± 0.96	<0.001	2.44 to 7.07	7.90
	A L *	0.42 ± 0.61	1.000	−1.07 to 1.92	0.16	1.71 ± 0.65	0.030	0.12 to 3.29	3.69
Arm span (cm)	E A *	1.421 ± 1.563	1.000	−2.37 to 5.21	0.21	8.67 ± 1.34	<0.001	5.42 to 11.93	9.13
	E L *	3.68 ± 1.92	0.171	−0.96 to 8.33	0.26	17.27 ± 1.89	<0.001	12.69 to 21.85	14.51
	A L *	2.26 ± 1.55	0.438	−1.48 to 6.00	0.30	8.60 ± 1.29	<0.001	5.46 to 11.73	9.39
Sitting height (cm)	E A *	0.91 ± 0.75	0.687	−0.91 to 2.73	0.27	4.55 ± 0.61	<0.001	3.08 to 6.02	10.59
	E L *	2.47 ± 0.92	0.025	0.24 to 4.70	0.35	9.41 ± 0.86	<0.001	7.34 to 11.49	17.49
	A L *	1.56 ± 0.74	0.113	−0.24 to 3.36	0.43	4.86 ± 0.58	<0.001	3.44 to 6.28	11.74

E: Early maturer group; A: Average maturer group; L: Late maturer group; \*: p < 0.05; ES: Effect size.

**Table 3.** Post hoc comparison between groups for the bone and derived variables.

Test	Group		Model							
			Maturity Status Group				Maturity Status Group × Age			
			Mean Difference ± SD	p-Value	95% CI	ES	Mean Difference ± SD	p-Value	95% CI	ES
Upper limb length (cm)	E	A *	0.81 ± 0.69	0.755	−0.89 to 2.50	0.27	3.77 ± 0.62	<0.001	2.27 to 5.27	6.15
	E	L *	1.54 ± 0.86	0.220	−0.53 to 3.62	0.24	7.21 ± 0.88	<0.001	5.09 to 9.34	11.68
	A	L *	0.74 ± 0.69	0.858	−0.93 to 2.41	0.21	3.44 ± 0.60	<0.001	1.98 to 4.90	7.58
Iliospinale height (cm)	E	A *	0.95 ± 0.91	0.890	−1.25 to 3.15	0.25	4.22 ± 0.90	<0.001	2.04 to 6.40	6.64
	E	L *	2.34 ± 1.11	0.111	−0.35 to 5.04	0.30	8.49 ± 1.26	<0.001	5.43 to 11.56	10.67
	A	L *	1.39 ± 0.90	0.370	−0.78 to 3.57	0.31	4.27 ± 0.87	<0.001	2.18 to 6.37	6.98
Biacromial breadth (cm)	E	A *	0.86 ± 0.40	0.098	−0.11 to 1.83	0.48	2.56 ± 0.36	<0.001	1.68 to 3.44	9.97
	E	L *	0.94 ± 0.49	0.167	−0.24 to 2.13	0.24	4.14 ± 0.51	<0.001	2.90 to 5.38	12.89
	A	L *	0.08 ± 0.39	1.000	−0.87 to 1.04	0.04	1.58 ± 0.35	<0.001	0.74 to 2.43	6.40
Biliocrystal breadth (cm)	E	A *	0.67 ± 0.40	0.270	−0.28 to 1.64	0.34	2.28 ± 0.37	<0.001	1.38 to 3.18	8.67
	E	L *	0.99 ± 0.49	0.125	−0.17 to 2.17	0.26	4.00 ± 0.52	<0.001	2.73 to 5.27	12.13
	A	L *	0.32 ± 0.39	1.000	−0.63 to 1.27	0.19	1.72 ± 0.36	<0.001	0.85 to 2.59	6.78
Femur breadth (cm)	E	A *	0.30 ± 0.10	0.011	0.05 to 0.55	0.59	.061 ± 0.10	<0.001	0.35 to 0.87	8.02
	E	L *	0.52 ± 0.13	<0.001	0.21 to 0.82	0.49	1.09 ± 0.15	<0.001	0.73 to 1.46	11.55
	A	L *	0.22 ± 0.10	0.104	−0.03 to 0.46	0.48	0.49 ± 0.10	<0.001	0.24 to 0.74	6.69
Humerus breadth (cm)	E	A *	0.23 ± 0.07	0.007	0.05 to 0.40	0.63	0.41 ± 0.08	<0.001	0.22 to 0.60	7.38
	E	L *	0.36 ± 0.09	<0.001	0.14 to 0.57	0.45	0.71 ± 0.11	<0.001	0.44 to 0.98	10.15
	A	L *	0.13 ± 0.07	0.225	−0.04 to 0.30	0.39	0.30 ± 0.08	<0.001	0.11 to 0.48	5.54
Bi-styloid breadth (cm)	E	A *	0.15 ± 0.5	0.024	0.01 to 0.28	0.60	0.24 ± 0.06	<0.001	0.09 to 0.39	5.65
	E	L *	0.21 ± 0.06	0.005	0.05 to 0.37	0.39	0.40 ± 0.08	<0.001	0.19 to 0.60	7.46
	A	L *	0.06 ± 0.05	0.675	−0.06 to 0.19	0.25	0.16 ± 0.06	0.022	0.02 to 0.30	3.84
Bone mass percentage (%)	E	A *	−0.56 ± 0.42	0.554	−1.57 to 0.46	0.28	−1.51 ± 0.46	0.004	−2.62 to −0.39	4.64
	E	L *	−0.49 ± 0.51	1.000	−1.73 to 0.75	0.78	−2.25 ± 0.65	0.002	−3.82 to −0.69	5.53
	A	L	0.07 ± 0.41	1.000	−0.93 to 1.07	0.04	−0.75 ± 0.44	0.282	−1.82 to 0.33	2.38
Bone mass (Kg)	E	A *	0.57 ± 0.20	0.011	0.10 to 1.03	0.65	1.45 ± 0.16	<0.001	1.06 to 1.84	12.66
	E	L *	1.00 ± 0.23	<0.001	0.43 to 1.56	0.99	2.68 ± 0.23	<0.001	2.13 to 3.23	18.67
	A	L *	0.43 ± 0.19	0.071	−0.02 to 0.89	0.48	1.23 ± 0.16	<0.001	0.85 to 1.61	11.13

E: Early maturer group; A: Average maturer group; L: Late maturer group; \*:  $p < 0.05$ ; ES: Effect size.

**Table 4.** Post hoc comparison between groups for the soft tissues measured variables.

Test	Group Comparison		Model							
			Maturity Status Group				Maturity Status Group × Age			
			Mean Difference ± SD	p-Value	95% CI	ES	Mean Difference ± SD	p-Value	95% CI	ES
Corrected arm girth (cm)	E	A *	1.24 ± 0.42	0.010	0.23 to 2.26	0.61	2.70 ± 0.42	<0.001	1.69 to 3.72	9.13
	E	L *	1.15 ± 0.51	0.078	−0.09 to 2.39	0.88	3.86 ± 0.59	<0.001	2.43 to 5.29	10.42
	A	L *	−0.09 ± 0.41	1.000	−1.09 to 0.90	0.05	1.16 ± 0.40	0.014	0.18 to 2.14	4.07
Corrected thigh girth (cm)	E	A *	1.72 ± 0.86	0.140	−0.36 to 3.81	0.41	4.53 ± 0.87	<0.001	2.41 to 6.65	7.33
	E	L *	3.04 ± 1.05	0.013	0.49 to 5.59	0.79	8.35 ± 1.23	<0.001	5.37 to 11.33	10.78
	A	L *	1.31 ± 0.85	0.370	−0.74 to 3.37	0.35	3.82 ± 0.84	<0.001	1.78 to 5.86	6.41
Corrected leg girth (cm)	E	A *	0.43 ± 0.56	1.000	−0.93 to 1.80	0.15	2.57 ± 0.54	<0.001	1.27 to 3.88	6.75
	E	L *	0.27 ± 0.69	1.000	−1.40 to 1.95	0.05	4.37 ± 0.76	<0.001	2.53 to 6.21	9.15
	A	L *	−0.16 ± 0.56	1.000	−1.51 to 1.19	0.07	1.80 ± 0.52	0.002	0.54 to 3.06	4.90
∑6 Skinfolds (mm)	E	A *	11.26 ± 5.14	0.090	−1.18 to 23.70	0.44	16.32 ± 5.89	0.019	2.06 to 30.58	3.92
	E	L *	19.56 ± 6.29	0.007	4.33 to 34.79	0.40	29.06 ± 8.29	0.002	9.00 to 49.13	5.58
	A	L	8.30 ± 5.07	0.312	−3.98 to 20.58	0.38	12.74 ± 5.67	0.078	−0.99 to 26.47	3.18
∑8 Skinfolds (mm)	E	A *	14.52 ± 6.86	0.107	−2.08 to 31.13	0.43	19.27 ± 7.90	0.048	0.13 to 38.40	3.45
	E	L *	26.19 ± 8.40	0.007	5.86 to 46.52	0.41	34.95 ± 11.12	0.006	8.02 to 61.88	5.00
	A	L	11.66 ± 6.77	0.261	−4.73 to 28.05	0.40	15.68 ± 7.61	0.123	−2.74 to 34.10	2.91

E: Early maturer group; A: Average maturer group; L: Late maturer group; \*:  $p < 0.05$ ; ES: Effect size.

**Table 5.** Post hoc comparison between groups for the body composition variables.

Test	Group Comparison		Model							
			Maturity Status Group				Maturity Status Group × Age			
			Mean Difference ± SD	p-Value	95% CI	ES	Mean difference ± SD	p-Value	95% CI	ES
Fat mass percentage (%)	E	A	1.87 ± 1.17	0.336	−0.96 to 4.69	0.33	3.14 ± 1.33	0.059	−0.09 to 6.37	3.33
	E	L *	3.94 ± 1.43	0.020	0.48 to 7.40	0.36	6.35 ± 1.88	0.003	1.80 to 10.90	5.37
	A	L *	2.07 ± 1.15	0.223	−0.72 to 4.86	0.40	3.21 ± 1.28	0.041	0.10 to 6.32	3.53
Fat mass (Kg)	E	A *	2.50 ± 1.05	0.057	−0.05 to 5.06	0.47	5.27 ± 1.13	<0.001	2.54 to 8.01	6.61
	E	L *	4.50 ± 1.29	0.002	1.37 to 7.62	0.43	9.70 ± 1.59	<0.001	5.86 to 13.55	9.71
	A	L *	1.99 ± 1.04	0.172	−0.53 to 4.51	0.45	4.43 ± 1.09	<0.001	1.80 to 7.06	5.76
Muscle mass (Kg)	E	A	1.38 ± 0.67	0.120	−0.23 to 2.99	0.42	4.31 ± 0.59	<0.001	2.87 to 5.74	10.28
	E	L *	1.99 ± 0.81	0.048	0.01 to 3.97	0.32	7.51 ± 0.83	<0.001	5.49 to 9.53	14.31
	A	L *	0.61 ± 0.66	1.000	−0.98 to 2.20	0.21	3.20 ± 0.57	<0.001	1.82 to 4.58	7.93

Table 5. Cont.

Test	Group Comparison		Model							
			Maturity Status Group				Maturity Status Group × Age			
			Mean Difference ± SD	p-Value	95% CI	ES	Mean difference ± SD	p-Value	95% CI	ES
Muscle-bone index	E	A *	0.03 ± 0.05	1.000	−0.09 to 0.16	0.13	0.017 ± 0.06	0.008	0.03 to 0.31	4.30
	E	L *	0.003 ± 0.07	1.000	−0.15 to 0.16	0.01	0.026 ± 0.08	0.004	0.07 to 0.46	5.24
	A	L	−0.03 ± 0.05	1.000	−0.16 to 0.10	0.13	0.09 ± 0.05	0.301	−0.04 to 0.22	2.35
Endomorphy	E	A	0.51 ± 0.27	0.193	−0.15 to 1.16	0.37	0.66 ± 0.31	0.112	−0.10 to 1.41	2.97
	E	L *	0.91 ± 0.33	0.020	0.11 to 1.71	0.35	1.20 ± 0.44	0.021	0.14 to 2.27	4.35
	A	L	0.41 ± 0.27	0.383	−0.24 to 1.06	0.35	0.55 ± 0.30	0.210	−0.18 to 1.28	2.58
Ectomorphy	E	A *	−0.56 ± 0.28	0.141	−1.24 to 0.12	0.42	−0.82 ± 0.32	0.036	−1.60 to −0.04	3.60
	E	L	−0.51 ± 0.34	0.397	−1.35 to 0.31	0.22	−1.01 ± 0.45	0.084	−2.10 to 0.09	3.52
	A	L	0.04 ± 0.28	1.000	−0.62 to 0.71	0.03	−0.19 ± 0.31	1.000	−0.94 to 0.57	0.84

E: Early maturer group; A: Average maturer group; L: Late maturer group; \*:  $p < 0.05$ ; ES: Effect size.

Table 6. Post hoc comparison between groups for the physical fitness variables.

Test	Group Comparison		Model							
			Maturity Status Group				Maturity Status Group × Age			
			Mean Difference ± SD	p-Value	95% CI	ES	Mean Difference ± SD	p-Value	95% CI	ES
Medicine ball throw (m)	E	A	−0.12 ± 0.21	1.000	−0.66 to 0.40	0.18	0.48 ± 0.23	0.115	−0.08 to 1.04	2.96
	E	L *	−0.30 ± 0.27	0.804	−0.95 to 0.35	0.16	0.86 ± 0.33	0.026	0.08 to 1.65	4.22
	A	L	−0.17 ± 0.22	1.000	−0.69 to 0.35	0.12	0.38 ± 0.22	0.269	−0.16 to 0.92	2.41
CMJ (cm)	E	A	−1.97 ± 0.92	0.099	−4.19 to 0.25	0.14	−0.82 ± 1.04	1.000	−3.33 to 1.70	1.11
	E	L	−2.56 ± 1.12	0.071	−5.28 to 0.15	0.30	−0.28 ± 1.46	1.000	−3.82 to 3.26	0.30
	A	L	−0.59 ± 0.90	1.000	−2.78 to 1.60	0.48	0.54 ± 1.00	1.000	−1.88 to 2.96	0.76
CMJ power (W)	E	A *	31.65 ± 22.55	0.488	−22.96 to 86.26	0.30	135.49 ± 19.22	<0.001	88.94 to 182.04	9.97
	E	L *	54.11 ± 27.61	0.156	−12.75 to 120.97	0.27	251.07 ± 27.05	<0.001	185.56 to 316.58	14.75
	A	L *	22.46 ± 22.26	0.944	−31.45 to 76.37	0.22	115.58 ± 18.51	<0.001	70.76 to 160.40	8.83

E: Early maturer group; A: Average maturer group; L: Late maturer group; \*:  $p < 0.05$ ; ES: Effect size.

### 3.1. Physical Fitness Test Differences between Groups

Significant differences were found between maturity status groups in the medicine ball throw and CMJ power ( $p < 0.001$ – $0.016$ ). The covariate “age” had a significant effect on the model for the two variables ( $p < 0.001$ ). The interaction between variables showed that the differences found between maturity status groups were dependent on age in the medicine ball throw, the CMJ and CMJ power ( $p < 0.001$ – $0.007$ ).

Pairwise adjustment did not show differences between maturity status groups. The results showed a significant effect of age on the differences found in the medicine ball throw between early and late maturers and between the three groups in CMJ power ( $p < 0.001$ – $0.026$ ). More mature players showed higher values in both tests (Table 6).

### 3.2. Correlations and Regression Models

Correlations between maturity offset, age and kinanthropometric variables and fitness variables are shown in Table 7. Both maturity offset and age showed positive low to moderate correlations with the long jump, medicine ball throw, CMJ and CMJ power ( $r = 0.221$ – $0.629$ ;  $p < 0.001$ – $0.006$ ). The sit-and-reach test showed positive moderate or low correlations with body mass, sitting height, arm span, Cormic index, relative arm span, biacromial breadth and corrected calf girth ( $r = 0.161$ – $0.360$ ;  $p < 0.001$ – $0.026$ ) and a low negative correlation with BMI ( $r = -0.189$ ;  $p = 0.020$ ). The back scratch test showed moderate to low positive correlations with arm span, relative arm span and upper limb length ( $r = 0.241$ – $0.416$ ;  $p < 0.001$ – $0.003$ ) and low negative correlations with corrected arm girth,  $\sum 8$  skinfolds, BMI and muscle-bone index ( $r = -0.166$ ;  $-0.222$ ,  $p = 0.006$ – $0.040$ ). The long jump test showed low positive correlations with arm span and iliospinale height ( $r = 0.172$ – $0.200$ ;  $p = 0.013$ – $0.034$ ) and low negative correlations with  $\sum 8$  skinfolds and fat mass (kg) ( $r = -0.174$ ;  $-0.292$ ,  $p < 0.001$ – $0.032$ ). The medicine ball throw test showed significant positive low or moderate correlations with all variables ( $r = 0.234$ – $0.560$ ;  $p < 0.001$ – $0.004$ ), with the exception of the Cormic index and  $\sum 8$  skinfolds. The CMJ showed negative correlations with biiliocrystal breadth,  $\sum 8$  skinfolds, fat mass (kg) and BMI ( $r = -0.249$ ;  $-0.396$ ,  $p < 0.001$ – $0.002$ ). All kinanthropometric variables showed significant positive moderate and high correlations ( $r = 0.411$ – $0.850$ ;  $p < 0.001$ ) with power in the CMJ, with the exception of relative arm span and Cormic index. The 20 m sprint time and agility test time showed low and moderate positive correlations with body mass, biiliocrystal breadth,  $\sum 8$  skinfolds, fat mass (kg) and BMI ( $r = 0.180$ – $0.379$ ;  $p < 0.001$ – $0.027$ ).

The results of linear regression in blocks are shown in Table 8. In the prediction models for the different physical tests, between 4 and 79% of the variance in the physical fitness test performance could be predicted by age, body mass, bone-related variables (biacromial and biileocrestal breadths, relative arm span and Cormic index), fat-related variables ( $\sum 8$  skinfolds, fat mass) and muscle-related variables (corrected arm girth, muscle mass) ( $p < 0.001$ – $0.024$ ).

**Table 7.** Correlations between kinanthropometric and physical fitness variables.

	Sit-and-Reach	Back Scratch test	Long Jump	Medicine Ball Throw	CMJ	CMJ Power	20 m Sprint	Agility Test
Maturity offset	$r = 0.096; p = 0.238$	$r = 0.046; p = 0.571$	$r = 0.221; p = 0.006$	$r = 0.470; p < 0.001$	$r = 0.221; p = 0.009$	$r = 0.629; p < 0.001$	$r = -0.078; p = 0.337$	$r = 0.052; p = 0.524$
Age	$r = 0.043; p = 0.603$	$r = 0.043; p = 0.600$	$r = 0.225; p = 0.005$	$r = 0.370; p < 0.001$	$r = 0.269; p = 0.001$	$r = 0.403; p < 0.001$	$r = -0.106; p = 0.195$	$r = 0.021; p = 0.802$
Body mass	$r = 0.161; p = 0.047$	$r = -0.088; p = 0.281$	$r = -0.039; p = 0.634$	$r = 0.448; p < 0.001$	$r = -0.172; p = 0.034$	$r = 0.850; p < 0.001$	$r = 0.238; p = 0.003$	$r = 0.180; p = 0.027$
Height	$r = 0.028; p = 0.730$	$r = 0.115; p = 0.158$	$r = 0.147; p = 0.070$	$r = 0.402; p < 0.001$	$r = 0.097; p = 0.234$	$r = 0.626; p < 0.001$	$r = 0.003; p = 0.966$	$r = 0.064; p = 0.432$
Arm span	$r = 0.180; p = 0.026$	$r = 0.329; p < 0.001$	$r = 0.200; p = 0.013$	$r = 0.473; p < 0.001$	$r = 0.157; p = 0.054$	$r = 0.594; p < 0.001$	$r = -0.011; p = 0.892$	$r = 0.015; p = 0.858$
Sitting height	$r = 0.196; p = 0.016$	$r = 0.007; p = 0.931$	$r = 0.153; p = 0.060$	$r = 0.390; p < 0.001$	$r = 0.082; p = 0.318$	$r = 0.605; p < 0.001$	$r = -0.095; p = 0.244$	$r = 0.010; p = 0.906$
Cormic index	$r = 0.271; p = 0.001$	$r = -0.144; p = 0.076$	$r = 0.040; p = 0.624$	$r = 0.052; p = 0.526$	$r = -0.001; p = 0.994$	$r = 0.075; p = 0.358$	$r = -0.157; p = 0.053$	$r = -0.080; p = 0.331$
Relative arm span	$r = 0.281; p < 0.001$	$r = 0.416; p < 0.001$	$r = 0.144; p = 0.076$	$r = 0.243; p = 0.003$	$r = 0.137; p = 0.093$	$r = 0.119; p = 0.143$	$r = -0.024; p = 0.767$	$r = -0.078; p = 0.341$
Upper limb length	$r = 0.099; p = 0.223$	$r = 0.241; p = 0.003$	$r = 0.157; p = 0.053$	$r = 0.412; p < 0.001$	$r = 0.067; p = 0.414$	$r = 0.564; p < 0.001$	$r = 0.069; p = 0.399$	$r = 0.032; p = 0.695$
Iliospinale height	$r = -0.076; p = 0.354$	$r = 0.156; p = 0.055$	$r = 0.172; p = 0.034$	$r = 0.234; p = 0.004$	$r = 0.091; p = 0.267$	$r = 0.478; p < 0.001$	$r = 0.054; p = 0.512$	$r = -0.032; p = 0.698$
Biacromial breadth	$r = 0.360; p < 0.001$	$r = 0.216; p = 0.008$	$r = 0.122; p = 0.135$	$r = 0.560; p < 0.001$	$r = 0.100; p = 0.221$	$r = 0.703; p < 0.001$	$r = 0.089; p = 0.273$	$r = -0.103; p = 0.207$
Biiliocrystal breadth	$r = 0.048; p = 0.556$	$r = -0.095; p = 0.243$	$r = -0.112; p = 0.169$	$r = 0.333; p < 0.001$	$r = -0.249; p = 0.002$	$r = 0.580; p < 0.001$	$r = 0.210; p = 0.009$	$r = 0.142; p = 0.081$
Corrected arm girth	$r = 0.108; p = 0.187$	$r = -0.166; p = 0.040$	$r = -0.008; p = 0.924$	$r = 0.389; p < 0.001$	$r = -0.032; p = 0.698$	$r = 0.703; p < 0.001$	$r = 0.092; p = 0.260$	$r = 0.129; p = 0.116$
Corrected thigh girth	$r = 0.173; p = 0.033$	$r = -0.137; p = 0.093$	$r = -0.004; p = 0.958$	$r = 0.381; p < 0.001$	$r = -0.115; p = 0.157$	$r = 0.725; p < 0.001$	$r = 0.136; p = 0.094$	$r = 0.129; p = 0.115$
Corrected leg girth	$r = 0.101; p = 0.214$	$r = 0.048; p = 0.559$	$r = 0.094; p = 0.247$	$r = 0.395; p < 0.001$	$r = 0.066; p = 0.419$	$r = 0.688; p < 0.001$	$r = 0.029; p = 0.724$	$r = 0.085; p = 0.299$
∑8 Skinfolds	$r = -0.010; p = 0.902$	$r = -0.222; p = 0.006$	$r = -0.292; p < 0.001$	$r = 0.087; p = 0.284$	$r = -0.396; p < 0.001$	$r = 0.411; p < 0.001$	$r = 0.379; p < 0.001$	$r = 0.237; p = 0.003$
Fat mass	$r = 0.119; p = 0.143$	$r = -0.129; p = 0.112$	$r = -0.174; p = 0.032$	$r = 0.313; p < 0.001$	$r = -0.332; p < 0.001$	$r = 0.632; p < 0.001$	$r = 0.353; p < 0.001$	$r = 0.200; p = 0.014$
Muscle mass	$r = 0.135; p = 0.097$	$r = -0.096; p = 0.242$	$r = 0.028; p = 0.734$	$r = 0.453; p < 0.001$	$r = -0.052; p = 0.521$	$r = 0.817; p < 0.001$	$r = 0.120; p = 0.142$	$r = 0.143; p = 0.081$
Bone mass	$r = 0.067; p = 0.409$	$r = 0.071; p = 0.387$	$r = 0.115; p = 0.157$	$r = 0.463; p < 0.001$	$r = 0.007; p = 0.936$	$r = 0.694; p < 0.001$	$r = 0.098; p = 0.232$	$r = 0.120; p = 0.141$
BMI	$r = -0.189; p = 0.020$	$r = -0.169; p = 0.037$	$r = -0.127; p = 0.118$	$r = 0.327; p < 0.001$	$r = -0.260; p = 0.001$	$r = 0.703; p < 0.001$	$r = 0.289; p < 0.001$	$r = 0.181; p = 0.026$
Muscle-bone index	$r = 0.151; p = 0.063$	$r = -0.194; p = 0.017$	$r = -0.050; p = 0.541$	$r = 0.269; p = 0.001$	$r = -0.072; p = 0.379$	$r = 0.590; p < 0.001$	$r = 0.078; p = 0.342$	$r = 0.090; p = 0.270$

**Table 8.** Regression models of the performance in different physical fitness tests.

Variable	R <sup>2</sup>	p-Value	Included Independent Variables	SC	p-Value	Predictive Equation
Sit and reach	0.24	<0.001	Biacromial breadth Cormic index Relative arm span	0.27 0.28 0.24	0.001 <0.001 0.002	Sit and reach = $-199.309 + 1.183 \times$ biacromial breadth + $1.630 \times$ cormic index + $77.628 \times$ relative arm span
Back scratch	0.21	<0.001	Relative arm span $\Sigma 8$ Skinfolds	0.40 −0.19	<0.001 0.010	Back scratch = $-77.836 + 85.116 \times$ relative arm span − $0.031 \times \Sigma 8$ Skinfolds
Horizontal jump	0.13	<0.001	Age $\Sigma 8$ Skinfolds	0.20 −0.27	0.010 0.001	Horizontal jump = $1.348 + 0.033 \times$ age − $0.002 \times \Sigma 8$ Skinfolds
Medicine ball throw	0.37	<0.001	Biacromial breadth Age Corrected arm girth	0.43 0.18 0.15	<0.001 0.011 0.045	Medicine ball throw = $-6.818 + 0.232 \times$ biacromial breadth + $0.149 \times$ age + $0.076 \times$ corrected arm girth
CMJ	0.21	<0.001	$\Sigma 8$ Skinfolds Age	−0.38 0.24	<0.001 0.002	CMJ = $18.339 - 0.050 \times \Sigma 8$ Skinfolds + $0.821$ $\times$ age
CMJ power	0.79	<0.001	Body mass Biacromial breadth Muscle mass Corrected thigh girth Biliocrestal breadth	0.58 0.24 0.54 −0.30 −0.18	<0.001 <0.001 <0.001 0.010 0.002	CMJ power = $33.780 + 6.391 \times$ body mass + $13.701 \times$ biacromial breadth + $18.304 \times$ muscle mass − $7.662 \times$ corrected thigh girth − $10.436 \times$ biliocrestal breadth
Sprint	0.37	<0.001	$\Sigma 8$ Skinfolds	0.37	<0.001	Sprint = $3.809 + 0.003 \times \Sigma 8$ Skinfolds
Agility test	0.04	0.019	Fat mass	0.20	0.019	Agility test = $8.718 + 0.038 \times$ fat mass

SC: Standardized coefficient.

#### 4. Discussion

One of the objectives of the present research was to analyze the differences in kinanthropometric variables among female volleyball players according to maturity group. It was observed that players in the early maturer group showed significantly higher values in most of the kinanthropometric and derived variables than players in the average and late maturer groups, and age had a significant influence on the differences found. More specifically, early maturers had significantly higher body mass, height, sitting height and BMI than late maturers and higher body mass and BMI than average maturers. Similar results have been found in previous research, showing that in group comparisons, early maturers showed higher values for these variables [16,17]. During adolescence, there is usually an increase in body size and body mass due to changes in the hormonal environment [12]. Along these lines, sex steroids, the concentrations of which increase during the maturation process [15], play an important role in the accumulation of fat and lean mass [40] and could be the cause of the observed differences in body mass. On the other hand, during puberty, there is an increase in growth hormone (GH) concentration as compared to basal values at earlier stages, especially around the APHV [41]. This hormone has a great influence on height [42], and therefore, changes in GH could be the cause of the observed differences in height and sitting height between early maturers and other volleyball players. Taking into account that volleyball is a sport in which height is an important competitive advantage [9], based on the results of the present research, it could be hypothesized that early maturers would have a competitive advantage during the early stages of the growth period, which could later be neutralized by late or average maturers as they approach adulthood. This is an issue that would need to be considered in volleyball talent identification models.

The results of the present study also showed differences between groups in variables related to adiposity, muscle and bone development. A possible explanation for this could be that female sex hormones that influence pubertal development are closely linked to adipose tissue [43]. Specifically, estrogens are not only produced in the ovary but also synthesized in target tissues (breast, bone or brain) and in peripheral tissues, such as adipose tissue [44]. In this sense, it has been observed that the amount and distribution of adipose tissue present in pre-pubertal stages are associated with the presence of circulating female sex hormones [45]. This could alter the onset of the maturation process in girls, with a relationship between



higher adiposity and an earlier onset of maturation being observed [43]. Furthermore, estrogens not only promote the peripheral accumulation of adipose tissue but also play a crucial role in bone formation [46], which could explain the differences found between groups in the bone diameters measured. Regarding the differences in variables related to muscle mass, during adolescence, the increase in muscle mass is associated with increases in the concentrations of growth hormone (GH), insulin-like growth factor 1 (IGF-1) and testosterone [46,47]. These hormones increase in concentration by between 1.5 and 3 times around the APHV with respect to previous basal levels and are therefore determinant in the changes in muscle development during adolescence [46]. However, the increase in these hormones, especially testosterone, is less abrupt and reaches lower concentrations in females than in males [15], which could explain why the changes observed in the parameters associated with muscle development between groups are only found in some of these variables. In fact, when age was introduced to the model, significant differences were found in most of the variables related to muscle development, which supports this hypothesis. Based on the results of the present research, the muscle development parameter could be used with some certainty in the detection of sports talent in the growth stage, as the influence of maturation seems to be limited, as opposed to what is observed with adiposity and bone development. However, since there are no previous studies that have analyzed the influence of maturation on bone and muscle variables in the female population, this is a question that should be further investigated in the future.

Another objective of the present research was to analyze differences in the physical fitness tests of female volleyball players according to their maturity group. Significant differences were found between groups in the medicine ball throw and CMJ power tests. Although there are no previous studies that have analyzed this aspect in female athletes, the results of the present research are in line with those found in male adolescents, in which it was found that the early maturer group had better results than average maturers and late maturers in all tests that were dependent on muscle strength and power [3]. This could be due to the fact that previous studies showed that physical performance in the kinds of specific tests that require the use of muscle strength and power, such as the long jump, medicine ball throw, CMJ, sprint or agility tests, were favored by higher values of muscle mass and lower values of fat mass, together with other factors such as hormonal and neural factors [48–50]. In this sense, while in males, early maturers have greater muscle development than average maturers and late maturers [3,51], in the present research carried out with females, it was found that the group of early maturers had greater muscle development but also greater adiposity than average maturers and late maturers. It is therefore possible that the potential advantage of greater muscle development in these tests may be minimized by the increase in fat mass and by the fact that the increase in muscle mass is more gradual than that among late maturers [45]. In spite of these promising results, many questions remain unanswered.

In addition, no differences were found between maturation groups in the results of flexibility tests. While no previous research has looked at this issue in females, research in males found similar results [18,52]. This could be because while some muscle groups tend to shorten due to histological and biomechanical factors over the years [53,54], extensibility seems to be sensitive to changes produced by training, improving it and producing morphological and neurological adaptations [40]. Previous studies have already pointed out that women volleyball players have lower joint ranges as a result of adaptations produced by training [55]. Therefore, training effects could be the reason for the absence of statistical differences in flexibility between the maturation groups.

One interesting finding is that when age was included as a covariate in the analysis of the differences between groups in the physical fitness tests, it was found that early maturers achieved greater distances in the medicine ball throw than late maturers and that there were differences in CMJ power between all groups, with better results in groups whose maturity was more advanced, with no differences in the rest of the physical tests. This could be due to the fact that performance in both physical fitness tests is related to

muscle mass [48,49], and in the female population, the increase in muscle mass during adolescence occurs more gradually due to the sustained increase over time of the hormones responsible for its increase [45]. In fact, the results of the present research are in line with previous studies carried out in a female adolescent population, which found that age was a key factor when changes that occurred in sports performance variables at this stage were analyzed [16,17], especially in physical condition variables that were dependent on muscular strength or agility [12,56,57].

Another objective of the present research was to determine if age, maturity offset or kinanthropometric variables could predict better performance in physical fitness tests. It was found that variables related to adiposity,  $\Sigma 8$  skinfolds, BMI and body mass predicted worse sports performance in the jump, sprint, agility and upper limb flexibility tests. This may be due to the fact that in most sports disciplines, low adiposity and weight favor performance, since added weight in the form of adipose tissue can weigh down performance in sports involving constant movement by requiring a greater effort for movement [58,59].

Age was also shown to be a predictor of better performance in the long jump, medicine ball throw and CMJ. As has been found in previous research, age is a key factor in adolescent performance [60]. With advancing age, there is a significant increase in muscle and bone tissue, and it is more marked when there is a systematic practice of physical exercise due to the hormonal changes induced by it, but this also occurs in the absence of exercise, which could explain its influence on the models [12,61]. In addition, it has been observed that the greatest influence of biological maturation on differences in physical performance is found around the APHV [12,60]. The present study included a homogeneous sample that had mostly passed the APHV, which, together with the influence of age on the between-group differences found in the fitness tests, could be the reason why age is better than maturation in predicting physical performance in this sample.

In addition, variables related to bone structure in both longitudinal and transverse planes were found to be key to performance in both flexibility tests and strength tests of both the upper and lower limbs. Previous studies have already pointed out the importance of bone structure in sports performance due to its relationship with the biomechanical parameters of force execution [62,63] and in providing the appropriate environment for better muscle development [64]. In volleyball players, it was observed that there were differences in bone structure when comparing subjects of different competitive levels, with elite players showing higher values in height, upper limb length and bone diameters [65]. Therefore, factors related to bone structure in adolescent athletes could be key in talent identification and the prediction of future performance.

On the other hand, one of the predictors of the power in the CMJ and medicine ball throw was muscle mass. Muscle strength and power production are initially related to neural factors but are later highly correlated with muscle mass gain [66,67]. Muscle mass is a key factor in the improvement of performance in sports where body mass shifts in the horizontal or vertical plane, such as volleyball [59]. However, despite the fact that the present study found that physical performance was dependent on adiposity, muscle development and bone structure, there is a considerable lack of information in the scientific literature on this subject, which is why further research is needed to continue to expand knowledge on the relationship between plastic and structural components and sports performance, both in general physical fitness tests and in sport-specific actions.

As for the limitations of the present study, a cross-sectional design was used, so it only allowed establishing relationships between kinanthropometric variables, physical fitness variables and biological maturation, with the analysis of the progression of these variables not being possible. Another limitation of the present study was the use of an indirect method to estimate the maturity offset, such as a regression formula based on kinanthropometric measurements [13], instead of the gold standard for the assessment of the maturity offset, which is a wrist and hand X-ray analysis. It should be noted that the X-ray method is not without limitations, such as the radiation to which the subjects

are exposed, the cost of implementation or the time invested, as well as the difficulty of implementing the method correctly, so non-expert researchers could introduce error in the estimation [68]. Due to these drawbacks, some authors advocate the use of less invasive alternative methods in the adolescent population [21,68]. Among the alternative methods to X-ray assessment that can be used in cross-sectional studies are formulas that estimate the maturity offset based on anthropometric measurements, the most widely used in the adolescent athlete population being that proposed by Mirwald et al. [13], which has been used in both adolescent athletes participating in team sports and in individual sports [3]. Despite being widely used and having been shown to be reliable in populations similar to that in the present study [21], some limitations have been identified in the use of regression formulas for the estimation of the maturity offset. It has been observed that they tend to underestimate the value for early maturers while overestimating it for late maturers [68], that they may introduce some error in the estimation of the maturity offset (0.50–0.59 years) and that the estimation values increase relatively steadily with advancing chronological age [13,69]. Therefore, knowing the limitations of this method, this research used the estimation of the maturity offset as a categorical variable, as recommended in previous research [13,69], included participants with chronological age ranges within the recommended range, and used the chronological age of the participants to control for the effect of differences between groups.

## 5. Conclusions

Differences influenced by age were found between the different stages of biological maturation in kinanthropometric variables studied in female volleyball players, with the players who matured earlier showing higher values in all kinanthropometric variables, with the differences in basic measurements related to adiposity and absolute body composition, such as bone diameters or corrected perimeters, being particularly relevant. However, in general, no differences were found in performance in physical fitness tests as a function of maturation, with age being a determining factor in this relationship. Finally, age, structural variables related to bone dimensions, both longitudinal and transversal, adiposity and muscle development were factors that predicted performance on the physical fitness tests, with performance on the flexibility tests being more dependent on bone structure, jumping performance being more dependent on both adiposity and bone structure, and sprinting and agility performance being more dependent on adiposity. However, the results of the present research should be interpreted cautiously, because due to the characteristics of the included sample and the limitations of the study, they may only be extended to similar populations. Future lines of research could address the identified limitations by designing a longitudinal study, including kinanthropometric and physical fitness variables in a population with a wider age range to observe the evolution throughout the entire maturation process, and use methods to observe changes in maturation instead of estimating it with regression formulas. The possible practical applications of the present work could be related to the differences found between maturation groups. In this sense, early maturing players show anthropometric and fitness characteristics that could result in a competitive advantage with respect to their peers. This should be taken into account by coaches, since it is possible that they are paying more attention to players who mature earlier when the variables that make them stand out are influenced by age and could become equal to those of players who take longer to mature after adolescence. In addition, variables that are more related to better performance in physical fitness tests were identified. This could help coaches to focus their work on variables that are modifiable with training and that can lead to a significant improvement in performance.

**Author Contributions:** Conceptualization, F.E.-R., R.V.-C. and M.A.-S.; methodology, F.E.-R., R.V.-C. and M.A.-S.; formal analysis, M.A.-S.; investigation, M.A.-S., J.A.G.-R. and R.V.-C.; data curation, M.A.-S.; writing—original draft preparation, M.A.-S. and R.V.-C.; writing—review and editing, F.E.-R., M.A.-S., R.V.-C. and J.A.G.-R.; supervision, F.E.-R.; project administration, F.E.-R.; funding acquisition, F.E.-R. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** This research was funded by Universidad Católica San Antonio, Murcia (UCAM), grant number: PEMAFI 08/19. The participation of M.A.-S. in the research was possible thanks to a pre-doctoral contract for the training of research personnel included in the UCAM's own Research Plan 2018–2019: Human resources enhancement program. The present research is part of M.A.-S.'s doctoral thesis.

**Institutional Review Board Statement:** The study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki and approved by the Institutional Ethics Committee of Universidad Católica San Antonio de Murcia (protocol code CE061921 and date of approval: 7 June 2019).

**Informed Consent Statement:** Informed consent was obtained from the parents or legal tutors of all subjects involved in the study, as they were under 18 years old.

**Data Availability Statement:** The datasets are available from the corresponding author on reasonable request.

**Acknowledgments:** The authors would like to thank the players, the clubs and the regional volleyball federation for their participation in this research project. In addition, the authors would like to acknowledge the help provided by Malek, Nicolás, Aurora, Marvin and Elisa, UCAM students, by supporting the main research team in the measurement sessions when needed.

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest.

## References

1. Peña-González, I.; Fernández-Fernández, J.; Moya-Ramón, M.; Cervelló, E. Relative Age Effect, Biological Maturation, and Coaches' Efficacy Expectations in Young Male Soccer Players. *Res. Q. Exerc. Sport* **2018**, *89*, 373–379. [[CrossRef](#)]
2. Johnston, K.; Wattie, N.; Schorer, J.; Baker, J. Talent Identification in Sport: A Systematic Review. *Sports Med.* **2018**, *48*, 97–109. [[CrossRef](#)]
3. Albaladejo-Saura, M.; Vaquero-Cristóbal, R.; González-Gálvez, N.; Esparza-Ros, F. Relationship between Biological Maturation, Physical Fitness, and Kinanthropometric Variables of Young Athletes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2021**, *18*, 328. [[CrossRef](#)]
4. Sánchez Muñoz, C.; Muros, J.J.; Belmonte, Ó.L.; Zabala, M. Anthropometric Characteristics, Body Composition and Somatotype of Elite Male Young Runners. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2020**, *17*, 674. [[CrossRef](#)]
5. Carter, J. Body composition of Montreal Olympic athletes. In *Physical Structure of Olympic Athletes Part I: The Montreal Olympic Games Anthropological Project*; Carter, J., Ed.; Karger: Basel, Switzerland, 1982.
6. Booyesen, M.J.; Gradidge, P.J.; Constantinou, D. Anthropometric and Motor Characteristics of South African National Level Female Soccer Players. *J. Hum. Kinet.* **2019**, *66*, 121–129. [[CrossRef](#)]
7. Huang, H.-Y.; Teng, T.-L.; Liang, C.-C. Lower Extremity Injuries of Volleyball Players during Moving Spike Landing. *Am. J. Sport Sci.* **2016**, *4*, 10–17. [[CrossRef](#)]
8. Sarro, K.J.; Brioschi, F.R.; Andre Barbosa de Lira, C.; Andrade, M.D.S.; Vancini, R.L. Frequency and associated factors of poor knee alignment in young Brazilian volleyball players. *Physician Sportsmed.* **2019**, *47*, 353–356. [[CrossRef](#)]
9. Zhao, K.; Hohmann, A.; Chang, Y.; Zhang, B.; Pion, J.; Gao, B. Physiological, Anthropometric, and Motor Characteristics of Elite Chinese Youth Athletes from Six Different Sports. *Front. Physiol.* **2019**, *10*, 405. [[CrossRef](#)]
10. Rubajczyk, K.; Rokita, A. The Relative Age Effect and Talent Identification Factors in Youth Volleyball in Poland. *Front. Psychol.* **2020**, *11*, 1445. [[CrossRef](#)]
11. López-Plaza, D.; Alacid, F.; Muyor, J.M.; López-Miñarro, P. Differences in Anthropometry, Biological Age and Physical Fitness between Young Elite Kayakers and Canoeists. *J. Hum. Kinet.* **2017**, *57*, 181–190. [[CrossRef](#)]
12. Malina, R.M.; Bouchard, C. *Growth, Maturation, and Physical Activity*; Human Kinetics Books: Champaign, IL, USA, 1991.
13. Mirwald, R.L.; Baxter-Jones, A.D.; Bailey, D.A.; Beunen, G.P. An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2002**, *34*, 689–694.
14. Castanier, C.; Bougault, V.; Teulier, C.; Jaffré, C.; Schiano-Lomoriello, S.; Vibarel-Rebot, N.; Villemain, A.; Rieth, N.; Le-Scanff, C.; Buisson, C.; et al. The Specificities of Elite Female Athletes: A Multidisciplinary Approach. *Life* **2021**, *11*, 622. [[CrossRef](#)]
15. Handelsman, D.J.; Hirschberg, A.L.; Berman, S. Circulating Testosterone as the Hormonal Basis of Sex Differences in Athletic Performance. *Endocr. Rev.* **2018**, *39*, 803–829. [[CrossRef](#)]
16. Leonardi, T.J.; Paes, R.P.; Breder, L.; Foster, C.; Goncalves, C.E.; Carvalho, H.M. Biological maturation, training experience, body size and functional capacity of adolescent female basketball players: A Bayesian analysis. *Int. J. Sports Sci. Coach.* **2018**, *13*, 713–722. [[CrossRef](#)]
17. Söğüt, M.; Luz, L.G.O.; Kaya, Ö.B.; Altunsoy, K.; Doğan, A.A.; Kirazci, S.; Clemente, F.M.; Nikolaidis, P.T.; Rosemann, T.; Knechtle, B. Age- and Maturity-Related Variations in Morphology, Body Composition, and Motor Fitness among Young Female Tennis Players. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2019**, *16*, 2412. [[CrossRef](#)]

18. Arede, J.; Paulo Ferreira, A.; Gonzalo-Skok, O.; Leite, N. Maturational Development as a Key Aspect in Physiological Performance and National-Team Selection in Elite Male Basketball Players. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2019**, *14*, 902–910. [[CrossRef](#)]
19. Albaladejo-Saura, M.; Vaquero-Cristóbal, R.; Marcos-Pardo, P.J.; Esparza-Ros, F. Effect of an injury prevention program on the lower limb stability in young volleyball players. *J. Sports Med. Phys. Fit.* **2021**, *61*, 943–952. [[CrossRef](#)]
20. Vandembroucke, J.P.; von Elm, E.; Altman, D.G.; Gøtzsche, P.C.; Mulrow, C.D.; Pocock, S.J.; Poole, C.; Schlesselman, J.J.; Egger, M.; Initiative, S. Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE): Explanation and elaboration. *Int. J. Surg.* **2014**, *12*, 1500–1524. [[CrossRef](#)]
21. Towlson, C.; Cobley, S.; Midgley, A.W.; Garrett, A.; Parkin, G.; Lovell, R. Relative Age, Maturation and Physical Biases on Position Allocation in Elite-Youth Soccer. *Int. J. Sports Med.* **2017**, *38*, 201–209. [[CrossRef](#)]
22. Wickel, E.E.; Eisenmann, J.C. Maturity-related differences in physical activity among 13- to 14-year-old adolescents. *Pediatr. Exerc. Sci.* **2007**, *19*, 384–392. [[CrossRef](#)]
23. Esparza-Ros, F.; Vaquero-Cristóbal, R.; Marfell-Jones, M. *International Standards for Anthropometric Assessment*; International Society for Advancement in Kinanthropometry: Murcia, Spain, 2019.
24. Gallagher, R.; Marquez, J.; Osmotherly, P. Clinimetric Properties and Minimal Clinically Important Differences for a Battery of Gait, Balance, and Cognitive Examinations for the Tap Test in Idiopathic Normal Pressure Hydrocephalus. *Neurosurgery* **2019**, *84*, E378–E384. [[CrossRef](#)]
25. Sánchez-Zuriaga, D. *Estadística Aplicada a la Fisioterapia, las Ciencias del Deporte Y la Biomecánica*, 8th ed.; CEU Ediciones, Ed.; Fundación Universitaria San Pablo CEU: Madrid, Spain, 2010.
26. Slaughter, M.H.; Lohman, T.G.; Boileau, R.A.; Horswill, C.A.; Stillman, R.J.; Van Loan, M.D.; Bembem, D.A. Skinfold equations for estimation of body fatness in children and youth. *Hum. Biol.* **1988**, *60*, 709–723.
27. Poortmans, J.R.; Boisseau, N.; Moraine, J.J.; Moreno-Reyes, R.; Goldman, S. Estimation of total-body skeletal muscle mass in children and adolescents. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2005**, *37*, 316–322. [[CrossRef](#)]
28. Matiegka, J. The testing of physical efficiency. *Am. J. Phys. Anthr.* **1921**, *4*, 223–230. [[CrossRef](#)]
29. Carter, J.E.L.; Heath, B.H. *Somatotyping: Development and Application*; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 1990.
30. Vaquero-Cristóbal, R.; Albaladejo-Saura, M.; Luna-Badachi, A.E.; Esparza-Ros, F. Differences in fat mass estimation formulas in physically active adult population and relationship with sums of skinfolds. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2020**, *17*, 7777. [[CrossRef](#)]
31. Kasper, A.M.; Langan-Evans, C.; Hudson, J.F.; Brownlee, T.E.; Harper, L.D.; Naughton, R.J.; Morton, J.P.; Close, G.L. Come Back Skinfolds, All Is Forgiven: A Narrative Review of the Efficacy of Common Body Composition Methods in Applied Sports Practice. *Nutrients* **2021**, *13*, 1075. [[CrossRef](#)]
32. Albaladejo-Saura, M.; Vaquero-Cristóbal, R.; García-Roca, J.A.; Esparza-Ros, F. The Effect of Age, Biological Maturation and Birth Quartile in the Kinanthropometric and Physical Fitness Differences between Male and Female Adolescent Volleyball Players. *Children* **2022**, *9*, 58. [[CrossRef](#)]
33. Coburn, J.W.; Malek, M.H. *Manual NSCA: Fundamentos del Entrenamiento Personal*, 2nd ed.; Paidotribo: Barcelona, Spain, 2014.
34. López-Plaza, D.; Alacid, F.; Muyor, J.M.; López-Miñarro, P. Sprint kayaking and canoeing performance prediction based on the relationship between maturity status, anthropometry and physical fitness in young elite paddlers. *J. Sports Sci.* **2017**, *35*, 1083–1090. [[CrossRef](#)]
35. Katić, R.; Grgantov, Z.; Jurko, D. Motor structures in female volleyball players aged 14–17 according to technique quality and performance. *Coll. Antropol.* **2006**, *30*, 103–112.
36. Díaz-Soler, M.Á.; Vaquero-Cristóbal, R.; Espejo-Antúnez, L.; López-Miñarro, P.A. The effect of a warm-up protocol on the sit-and-reach test score in adolescent students. *Nutr. Hosp.* **2015**, *31*, 2618–2623.
37. Romero-Franco, N.; Jiménez-Reyes, P.; Castaño-Zambudio, A.; Capelo-Ramírez, F.; Rodríguez-Juan, J.J.; González-Hernández, J.; Toscano-Bendala, F.J.; Cuadrado-Peñañiel, V.; Balsalobre-Fernández, C. Sprint performance and mechanical outputs computed with an iPhone app: Comparison with existing reference methods. *Eur. J. Sport Sci.* **2017**, *17*, 386–392. [[CrossRef](#)]
38. Castro-Piñero, J.; Girela-Rejón, M.J.; González-Montesinos, J.L.; Mora, J.; Conde-Caveda, J.; Sjöström, M.; Ruiz, J.R. Percentile values for flexibility tests in youths aged 6 to 17 years: Influence of weight status. *Eur. J. Sport Sci.* **2013**, *13*, 139–148. [[CrossRef](#)]
39. Milic, M.; Grgantov, Z.; Chamari, K.; Ardigo, L.P.; Bianco, A.; Padulo, J. Anthropometric and physical characteristics allow differentiation of young female volleyball players according to playing position and level of expertise. *Biol. Sport* **2017**, *34*, 19–26. [[CrossRef](#)]
40. Klaver, M.; de Blok, C.J.M.; Wiepjes, C.M.; Nota, N.M.; Dekker, M.J.H.J.; de Mutsert, R.; Schreiner, T.; Fisher, A.D.; T’Sjoen, G.; den Heijer, M. Changes in regional body fat, lean body mass and body shape in trans persons using cross-sex hormonal therapy: Results from a multicenter prospective study. *Eur. J. Endocrinol.* **2018**, *178*, 163–171. [[CrossRef](#)]
41. Saenger, P. Dose effects of growth hormone during puberty. *Horm. Res.* **2003**, *60*, 52–57. [[CrossRef](#)]
42. Richmond, E.; Rogol, A.D. Treatment of growth hormone deficiency in children, adolescents and at the transitional age. *Best Pract. Res. Clin. Endocrinol. Metab.* **2016**, *30*, 749–755. [[CrossRef](#)]
43. Sandhu, J.; Ben-Shlomo, Y.; Cole, T.J.; Holly, J.; Davey Smith, G. The impact of childhood body mass index on timing of puberty, adult stature and obesity: A follow-up study based on adolescent anthropometry recorded at Christ’s Hospital (1936–1964). *Int. J. Obes.* **2005**, *30*, 14–22. [[CrossRef](#)]

44. Biro, F.M.; Pinney, S.M.; Huang, B.; Baker, E.R.; Walt Chandler, D.; Dorn, L.D. Hormone changes in peripubertal girls. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* **2014**, *99*, 3829–3835. [[CrossRef](#)]
45. Garnett, S.P.; Höglér, W.; Blades, B.; Baur, L.A.; Peat, J.; Lee, J.; Cowell, C.T. Relation between hormones and body composition, including bone, in prepubertal children. *Am. J. Clin. Nutr.* **2004**, *80*, 966–972. [[CrossRef](#)]
46. Farr, J.N.; Laddu, D.R.; Going, S.B. Exercise, hormones and skeletal adaptations during childhood and adolescence. *Pediatr. Exerc. Sci.* **2014**, *26*, 384–391. [[CrossRef](#)]
47. Veldhuis, J.D.; Roemmich, J.N.; Richmond, E.J.; Rogol, A.D.; Lovejoy, J.C.; Sheffield-Moore, M.; Mauras, N.; Bowers, C.Y. Endocrine control of body composition in infancy, childhood, and puberty. *Endocr. Rev.* **2005**, *26*, 114–146. [[CrossRef](#)]
48. Fitts, R.H.; McDonald, K.S.; Schluter, J.M. The determinants of skeletal muscle force and power: Their adaptability with changes in activity pattern. *J. Biomech.* **1991**, *24* (Suppl. 1), 111–122. [[CrossRef](#)]
49. Kraemer, W.J.; Newton, R.U. Training for muscular power. *Phys. Med. Rehabil. Clin. N. Am.* **2000**, *11*, 341–368. [[CrossRef](#)]
50. Ferretti, G.; Narici, M.V.; Binzoni, T.; Gariod, L.; Le Bas, J.F.; Reutenauer, H.; Cerretelli, P. Determinants of peak muscle power: Effects of age and physical conditioning. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* **1994**, *68*, 111–115. [[CrossRef](#)]
51. Valente-Dos-Santos, J.; Coelho-E-Silva, M.J.; Vaz, V.; Figueiredo, A.J.; Capranica, L.; Sherar, L.B.; Elferink-Gemser, M.T.; Malina, R.M. Maturity-associated variation in change of direction and dribbling speed in early pubertal years and 5-year developmental changes in young soccer players. *J. Sports Med. Phys. Fit.* **2014**, *54*, 307–316.
52. Gouvea, M.; Cyrino, E.S.; Ribeiro, A.S.; da Silva, D.R.P.; Ohara, D.; Valente-dos-Santos, J.; Coelho-e-Silva, M.J.; Ronque, E. Influence of Skeletal Maturity on Size, Function and Sport-specific Technical Skills in Youth Soccer Players. *Int. J. Sports Med.* **2016**, *37*, 464–469. [[CrossRef](#)]
53. Vaquero-Cristóbal, R.; López-Miñarro, P.A.; Alacid, F.; Esparza-Ros, F. The effects of the pilates method on hamstring extensibility, pelvic tilt and trunk flexion. *Nutr. Hosp.* **2015**, *32*, 1967–1986.
54. Avrillon, S.; Lacourpaille, L.; Hug, F.; Le Sant, G.; Frey, A.; Nordez, A.; Guilhem, G. Hamstring muscle elasticity differs in specialized high-performance athletes. *Scand. J. Med. Sci. Sports* **2020**, *30*, 83–91. [[CrossRef](#)]
55. Saccol, M.F.; Almeida, G.P.; de Souza, V.L. Anatomical glenohumeral internal rotation deficit and symmetric rotational strength in male and female young beach volleyball players. *J. Electromyogr. Kinesiol.* **2016**, *29*, 121–125. [[CrossRef](#)]
56. Matton, L.; Duvigneaud, N.; Wijndaele, K.; Philippaerts, R.; Duquet, W.; Beunen, G.; Claessens, A.L.; Thomis, M.; Lefevre, J. Secular trends in anthropometric characteristics, physical fitness, physical activity, and biological maturation in Flemish adolescents between 1969 and 2005. *Am. J. Hum. Biol.* **2007**, *19*, 345–357. [[CrossRef](#)]
57. Beunen, G.P.; Malina, R.M.; Lefevre, J.; Claessens, A.L.; Renson, R.; Eynde, B.K.; Vanreusel, B.; Simons, J. Skeletal maturation, somatic growth and physical fitness in girls 6–16 years of age. *Int. J. Sports Med.* **1997**, *18*, 413–419. [[CrossRef](#)]
58. Genton, L.; Mareschal, J.; Karsegard, V.L.; Achamrah, N.; Delsoglio, M.; Pichard, C.; Graf, C.; Herrmann, F.R. An Increase in Fat Mass Index Predicts a Deterioration of Running Speed. *Nutrients* **2019**, *11*, 701. [[CrossRef](#)]
59. Cabañas, M.D.; Esparza, F. *Compendio de Cineantropometría*; CTO Editorial: Madrid, Spain, 2009.
60. Folgado, H.; Bravo, J.; Quintas, A.; Raimundo, A.; Gonçalves, B. Relative Age Effect in Physical Fitness of South Portugal Students between 10 and 18 Years Old. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2021**, *18*, 6092. [[CrossRef](#)]
61. Hulthén, L.; Bengtsson, B.A.; Sunnerhagen, K.S.; Hallberg, L.; Grimby, G.; Johannsson, G. GH is needed for the maturation of muscle mass and strength in adolescents. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* **2001**, *86*, 4765–4770. [[CrossRef](#)]
62. Keogh, J.W.; Hume, P.A.; Pearson, S.N.; Mellow, P.J. Can absolute and proportional anthropometric characteristics distinguish stronger and weaker powerlifters? *J. Strength Cond. Res.* **2009**, *23*, 2256–2265. [[CrossRef](#)]
63. Sammoud, S.; Nevill, A.M.; Negra, Y.; Bouguezzi, R.; Chaabene, H.; Hachana, Y. 100-m Breaststroke Swimming Performance in Youth Swimmers: The Predictive Value of Anthropometrics. *Pediatr. Exerc. Sci.* **2018**, *30*, 393–401. [[CrossRef](#)]
64. Holway, F.E.; Garavaglia, R. Kinanthropometry of Group I rugby players in Buenos Aires, Argentina. *J. Sports Sci.* **2009**, *27*, 1211–1220. [[CrossRef](#)]
65. Toselli, S.; Campa, F. Anthropometry and Functional Movement Patterns in Elite Male Volleyball Players of Different Competitive Levels. *J. Strength Cond. Res.* **2018**, *32*, 2601–2611. [[CrossRef](#)]
66. Moritani, T.; deVries, H.A. Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *Am. J. Phys. Med.* **1979**, *58*, 115–130.
67. Petré, H.; Wernstål, F.; Mattsson, C.M. Effects of Flywheel Training on Strength-Related Variables: A Meta-analysis. *Sports Med. Open* **2018**, *4*, 55. [[CrossRef](#)]
68. Towlson, C.; Salter, J.; Ade, J.D.; Enright, K.; Harper, L.D.; Page, R.M.; Malone, J.J. Maturity-associated considerations for training load, injury risk, and physical performance in youth soccer: One size does not fit all. *J. Sport Health Sci.* **2021**, *10*, 403–412. [[CrossRef](#)]
69. Malina, R.M.; Coelho-E-Silva, M.J.; Martinho, D.V.; Sousa-E-Siva, P.; Figueiredo, A.J.; Cumming, S.P.; Králík, M.; Koziel, S.M. Observed and predicted ages at peak height velocity in soccer players. *PLoS ONE* **2021**, *16*, e0254659. [[CrossRef](#)]

**ANEXO VIII – MÉTODOS,  
RESULTADOS Y  
DISCUSIÓN: ESTUDIO 3**



# Influence of biological maturation status on selected anthropometric and physical fitness variables in adolescent male volleyball players

Mario Albaladejo-Saura<sup>1</sup>, Raquel Vaquero-Cristóbal<sup>1,2</sup>, Juan A. García-Roca<sup>2</sup> and Francisco Esparza-Ros<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kinanthropometry International Chair, Universidad Católica San Antonio, Murcia, Murcia, Spain

<sup>2</sup> Faculty of Sport Science, Universidad Católica San Antonio, Murcia, Murcia, Spain

## ABSTRACT

**Background.** The identification of sport talent among adolescent athletes is a topic that in recent years has been a major focus of interest for both the scientific community and sport managers. Both anthropometry and physical performance through fitness tests have demonstrated to be key elements. Biological maturation, due to its influence on anthropometric variables and physical fitness, has also been studied in relation to sport talent identification.

**Objective.** To analyse differences according to biological maturation status in anthropometric characteristics and performance in physical fitness tests, and to determine which variables predict better performance in physical fitness tests in adolescent volleyball players.

**Methods.** A cross-sectional design was followed to collect the data. A total of 48 male sub-elite volleyball players ( $14.17 \pm 0.73$  years) completed a socio-demographic and sports ad hoc questionnaire. Anthropometric variables were measured following the guidelines of the International Society for the Advancement in Kinanthropometry (ISAK) including four basic measurements (body mass, height, sitting height and arm span); eight skinfolds (triceps, biceps, subscapular, iliac crest, supraspinale, abdominal, thigh and calf); four girths (arm relaxed, flexed and tensed arm, middle thigh and calf); five breadths (biacromial, biileocrestal, humerus, femur and bi-styloid); three lengths (acromiale-radiale, radiale-stylian and stylian-medio dactilion); and a height (ilioespinale). Physical fitness was assessed, including the sit-and-reach, back scratch, long jump, medicine ball throw, counter movement jump (CMJ), 20 meters sprint, and agility tests. Furthermore, maturity offset and age at peak height velocity (APHV) was calculated.

**Results.** Significant differences were found in the body mass (Mean Difference, MD = 20.86–30.75), height (MD = 11.72–19.09), sitting height (MD = 4.27–10.27), arm span (MD = 12.91–20.78), body mass index (MD = 3.72–5.63), upper limb length (MD = 7.76), corrected muscle girths (MD = 2.06–9.31),  $\sum 6$  and 8 skinfolds (MD = 3.67–50.21) fat mass and percentage (MD = 0.30–11.58), muscle (MD = 4.13–10.64) and bone mass (MD = 1.61–3.54) ( $p < 0.001$ – $0.030$ ), showing higher values the early maturers. In the physical fitness tests, significant differences were observed in the medicine ball throw (MD = 1.26–2.80) and in CMJ power (MD = 156.71–379.85) ( $p < 0.001$ ). Regression models identified fat mass percentage predicted worse physical

Submitted 20 January 2022

Accepted 14 March 2022

Published 5 April 2022

Corresponding author  
Raquel Vaquero-Cristóbal,  
rvaquero@ucam.edu

Academic editor  
Mike Climstein

Additional Information and  
Declarations can be found on  
page 26

DOI 10.7717/peerj.13216

© Copyright  
2022 Albaladejo-Saura et al.

Distributed under  
Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS



test performance ( $p < 0.001$ ), while age, maturation offset, muscle and bone variables were predictors of better physical performance ( $p < 0.001$ ).

**Conclusions.** Significant differences based upon the stages of biological maturation were found in the anthropometric and physical condition variables in favor of the players whose maturation process was more advanced, with the variables related to fat and adipose, muscle and bone development conditioning their performance in the physical condition tests.

**Subjects** Anatomy and Physiology, Kinesiology, Pediatrics, Biomechanics, Sports Medicine

**Keywords** Body composition, Development, Growth, Sport performance, Talent identification, Team sport

## INTRODUCTION

The identification of sport talent among adolescent athletes is a topic that in recent years has been a major focus of interest for both the scientific community and sport managers (*Hertzog et al., 2018*). This interest is due to the fact that the implementation of early talent identification programmes can bring advantages to the clubs that carry them out, both in economic and sporting terms regarding the incorporation of young players into top-level teams or long-term economic security (*Pion et al., 2015*).

Both anthropometric variables, understood as the application of measurements to the study of body size, shape, proportion, composition, maturation and function, with the purpose of aiding to understand the human movement in the context of growth, exercise, performance and nutrition (*Ross et al., 1980*), and the analysis of physical performance through fitness tests have been key elements in sports talent identification programmes, as previous research has observed the influence they have on elite performance in different sport disciplines (*Arede et al., 2019; López-Plaza et al., 2017b*). However, it must be taken into account that changes occur during the maturation stage that can affect both anthropometric and physical fitness variables, so in recent decades researchers have paid close attention to the relationship between biological maturation and these variables (*Albaladejo-Saura et al., 2021*).

Biological maturation has been described as the time required and the process of change until the adult stage of development is reached (*Malina & Bouchard, 1991*). Among the methods for monitoring biological maturation, the calculation of the age at peak height velocity (APHV) is one of the most widely used indicators (*Malina & Bouchard, 1991; Mirwald et al., 2002*), and more specifically, the formulas that allow the calculation of APHV based on anthropometric measurements, being a widely used and validated method that have facilitated the assessment of biological maturation in a rapid and non-invasive way (*Mirwald et al., 2002*).

Most of the studies that have used the APHV to monitor the maturity status of the young athletes divide the sample in groups, classifying as early maturers those athletes who have a lower estimated APHV than the average of the group; late maturers those who have a higher APHV than the average of the group; and on time those players whose

estimated APHV is close to the average APHV of the group, depending on the criteria selected (Albaladejo-Saura et al., 2021).

Previous studies in adolescent boys have indicated that biological maturation seems to have a significant relationship with anthropometric and fitness variables, with early male maturers showing higher values in anthropometric variables such as body mass, height, body mass index (BMI), and fat mass percentage; and fitness tests such as medicine ball throw, handgrip strength, counter movement jump (CMJ), and squat jump, probably as a result of hormonal changes that occur during biological maturation (Albaladejo-Saura et al., 2021). Due to volleyball characteristics and rules of play, having greater agility in changes of direction, speed in sprinting actions and greater jumping power, being taller, having a greater arm span or leg length are differentiating elements of top level players (Zhao et al., 2019). All these aspects could be influenced by biological maturation, being necessary to carry out studies that cover this sport modality in order to know the influence of biological maturation in these aspects with the aim of adequately orienting the programmes for the detection of sporting talent in volleyball (Albaladejo-Saura et al., 2021). However, none of these studies have investigated volleyball players (Albaladejo-Saura et al., 2021).

Therefore, the aim of the present research was to analyse the differences according to biological maturation in anthropometric characteristics and performance in physical fitness tests, and to determine which anthropometric variables could predict better performance in physical fitness tests in adolescent volleyball players.

## MATERIALS & METHODS

### Subjects

Sample size calculation was performed with software Rstudio (version 3.15.0, Rstudio Inc., Boston, MA, USA). Significance level was set *a priori* at  $\alpha = 0.05$ . The standard deviation (SD) was set according to the years from peak height velocity from previous studies (SD = 0.65) (Arede et al., 2019). With an estimated error (d) of 0.184 years from peak height velocity, the sample size needed was 48 subjects. Sample was reached by conducting a non-probabilistic convenience sampling, contacting the responsible Regional Federation, which allowed us to include the best four teams in the league classification. A total of 48 1st Regional Division players (age:  $14.17 \pm 0.73$  years) took part in the study.

Before starting the study, coaches, parents and players were informed of the measurement procedures and signed a written informed consent form. Inclusion criteria were: (a) training volleyball regularly, at least two days per week; (b) participating in federated competition; (c) being between 12 and 15 years old; and (d) having played volleyball at least two consecutive seasons at the time of measurement. Participants were excluded in case of: (a) suffering an injury that prevented them from completing the physical fitness tests; and (b) having missed more than 25% of the training sessions in the last three months (Albaladejo-Saura et al., 2020).

### Design

A cross-sectional design was followed, in accordance with the STROBE guidelines. The San Antonio Catholic University granted Ethical approval to carry out the protocol designed

for data collection in accordance with the World Medical Association Code (Code number: CE061921). The Declaration of Helsinki statements were followed during the entire process. The measurements were carried out in the players' usual training sport hall.

## Methodology

An *ad hoc* questionnaire was used to collect socio-demographic and sports information. Questions about the information needed to know if the participants met the inclusion criteria were also included.

The anthropometric assessment was performed following the guidelines of the International Society for the Advancement in Kinanthropometry (ISAK) ([Esparza-Ros, Vaquero-Cristóbal & Marfell-Jones, 2019](#)). Four basic measurements (body mass, height, sitting height and arm span) were measured with a SECA 862 scale (SECA, Alemania), a SECA stadiometer (SECA, Germany) and an arm span meter (Smartmet, Mexico) with an accuracy of 0.1 cm, respectively. Eight skinfolds (triceps, biceps, subscapular, iliac crest, supraspinale, abdominal, thigh and calf) were evaluated with a skinfold caliper (Harpندن, UK) with an accuracy of 0.2 mm accuracy. Four girths (arm relaxed, flexed and tensed arm, middle thigh and calf) were measured with an inextensible tape (Lufkin, USA) with 0.1 cm accuracy. Five breadths (biacromial, biileocrestal, humerus, femur and bi-styloid) were taken with an anthropometer (Realmeter, Spain) and a small girth sliding caliper (Holtain, UK) with 0.1 cm accuracy. Three lengths (acromiale-radiale, radiale-styilion and styilion-medio dactilion) and a height (ilioespinale) were evaluated with a segmometer (CESCORF, Brazil) with 0.1 cm.

All the measurements were performed by level 2 and 3 anthropometrist accredited by ISAK. The intra- and inter-evaluator technical error of measurement (TEM) were calculated in a sub-sample ( $n = 20$ ). The intra-evaluator TEM was 0.04% in basic measures, lengths, heights and girths; and 1.05% in skinfolds; and the inter-evaluator TEM was 0.06% in basic measures lengths, heights and girths; and 2.87% in skinfolds.

The following measurements were calculated: BMI, fat mass ([Slaughter et al., 1988](#)), muscle mass ([Poortmans et al., 2005](#)), bone mass ([Matiegka, 1921](#)), somatotype ([Carter & Heath, 1990](#)),  $\sum 6$  skinfolds (triceps, subscapular, supraespinale, abdominal, thigh and calf),  $\sum 8$  skinfolds ( $\sum 6$  skinfolds + biceps and iliac crest), cormic index [(sitting height/height)\*100], upper limb length [acromiale-radiale length + radiale-styilion length + styilion-mediodactilion length], arm corrected girth [relaxed arm girth - ( $\pi$ \*triceps skinfold)], thigh [middle thigh girth - ( $\pi$ \*thigh skinfold)] and leg [calf girth - ( $\pi$ \*calf skinfold)] and muscle-bone index [muscle mass/bone mass].

Maturity offset was calculated according to the procedures of Mirwald et al. ([Mirwald et al., 2002](#)), using the sex specific formula. This formula has been used in an adolescent athlete population, showing a high interclass correlation coefficient (ICC = 0.96), as well as a low coefficient of variance percentage (CV% = 0.8) and a low typical error (TE = 0.1) ([Towlson et al., 2017](#)). The result was used to calculate the age at peak height velocity (APHV) for each subject using the following formula: APHV = chronological age - maturity offset result. The players were classified in three groups, according to the maturity status based on APHV, the early maturers group was composed of players whose APHV

was  $-0.5$  years or less with respect to the mean; the average maturers group, whose APHV was  $\pm 0.5$  years with respect to the mean; and the late maturers group whose APHV was  $+0.5$  years or more with respect to the mean of the group (Wickel & Eisenmann, 2007).

The physical fitness tests were selected according to previously described protocols and performed in the following order: sit-and-reach, with the Acuflex Tester III (Novel Products, U.S.A); back scratch test, with a millimeter ruler (GIMA, Italy); long jump and medicine ball throw with a tape measure (HaeSt, Germany) of 0.1 cm accuracy; CMJ with a force platform (MuscleLab, Norway); 20 m sprint with MySprint (Apple Inc., USA); (Romero-Franco et al., 2017), and agility test (9-3-6-3-9) with five photocells (Microgate, Italy) (Arede et al., 2019; Castro-Piñeiro et al., 2013; Katić, Grgantov & Jurko, 2006; López-Plaza et al., 2017b; Muyor et al., 2014). Before the warm-up, the subjects performed the flexibility tests (Díaz-Soler et al., 2015). This was followed by a standardised warm-up, consisting of 10 min of continuous running, joint mobility and familiarisation with the physical fitness tests. Two researchers with previous experience in the assessment of physical fitness tests were in charge of the familiarisation and assessment of these tests. The same researcher was always in charge of the same tests to avoid inter-evaluator error. The intraclass correlation coefficient (ICC) was 0.995 (95% confidence interval 0.989–0.997), and the coefficient of variation (CV) was 2.3%. The subjects made two attempts at each test, with a two-minute rest between tests. The mean of the two trials was used as final value for subsequent analysis.

### Statistical analysis

The normal distribution of the sample was assessed with the Kolmogorov–Smirnov test, as well as kurtosis, asymmetry, and homogeneity with the Levene test. A descriptive analysis of the sample was carried out. The differences between the maturation groups in the anthropometric variables and the physical fitness tests were analyzed using an ANOVA test, as well as the main effects and interactions of the covariable age including it in an ANCOVA test. Effect size was calculated with partial eta squared ( $\eta_p^2$ ). Bonferroni's *post hoc* was used to analyse the pairwise differences between groups. The significance level was set *a priori* at  $p < 0.05$ . The correlations between maturity offset, age, anthropometric and fitness variables were assessed using Pearson's correlation test in the complete sample and in the sample divided by age groups. After that, a stepwise multiple linear regression with the variables that had shown significant correlations was performed, to find out which variables could predict performance in the physical tests. All statistical analysis was performed with SPSS software (ver 23, IBM, Endicott, NY, US).

## RESULTS

After calculating the APHV, the sample was divided into early ( $n = 8$ ), average ( $n = 33$ ) and late maturers ( $n = 7$ ). The descriptive statistics (mean  $\pm$  SD) of each group for all measured variables, as well as the differences between maturity groups, the main effects of the covariate age and the interaction maturity group\*age can be observed in Table 1.

Regarding anthropometric variables, significant differences were observed in basic measurements and BMI ( $F = 6.003\text{--}20.828$ ;  $p < 0.001\text{--}0.005$ ); in upper limb length

**Table 1** Descriptive data and differences according to maturation group, including age covariable main effects and intersection.

Variable	Group (Mean $\pm$ SD)			Model								
	Early (n = 8)	Average (n = 33)	Late (n = 7)	Maturation group			Age			Maturation group*age		
				F	p	$\eta_p^2$	F	p	$\eta_p^2$	F	p	$\eta_p^2$
Maturity offset (years)	1.62 $\pm$ 0.87	0.46 $\pm$ 1.02	0.07 $\pm$ 0.74	5.800	0.006	0.205	423.959	<0.001	0.906	376.339	<0.001	0.895
APHV (years)	12.80 $\pm$ 0.18	13.56 $\pm$ 0.25	14.50 $\pm$ 0.58	57.199	<0.001	0.718	3.049	0.088	0.065	376.339	<0.001	0.895
Body mass (Kg)	81.38 $\pm$ 13.84	60.51 $\pm$ 8.90	50.62 $\pm$ 8.25	20.828	<0.001	0.481	15.118	<0.001	0.256	0.129	0.721	0.003
Height (cm)	1.81 $\pm$ 0.03	1.70 $\pm$ 8.24	1.62 $\pm$ 0.07	12.707	<0.001	0.361	26.289	<0.001	0.374	66.324	<0.001	0.601
Arm span (cm)	185.19 $\pm$ 3.26	172.28 $\pm$ 8.90	164.41 $\pm$ 9.67	12.202	<0.001	0.352	13.861	0.001	0.240	52.620	<0.001	0.545
Sitting height (cm)	93.21 $\pm$ 2.61	87.21 $\pm$ 4.13	82.94 $\pm$ 3.18	14.087	<0.001	0.385	88.401	<0.001	0.668	82.143	<0.001	0.651
Upper limb length (cm)	82.36 $\pm$ 2.06	76.87 $\pm$ 3.73	74.40 $\pm$ 4.72	9.959	<0.001	0.307	11.787	0.001	0.211	57.392	<0.001	0.566
Iliospinale height (cm)	102.88 $\pm$ 4.71	94.79 $\pm$ 12.85	86.87 $\pm$ 18.83	2.853	0.068	0.113	7.867	0.007	0.152	0.752	0.390	0.017
Biacromial breadth (cm)	40.75 $\pm$ 2.39	36.75 $\pm$ 2.06	35.24 $\pm$ 2.19	14.734	<0.001	0.396	30.922	<0.001	0.413	25.599	<0.001	0.368
Biiliocrestal breadth (cm)	29.10 $\pm$ 1.65	25.69 $\pm$ 1.59	24.57 $\pm$ 1.57	18.308	<0.001	0.449	16.000	<0.001	0.267	24.211	<0.001	0.355
Femur breadth (cm)	10.54 $\pm$ 0.41	9.84 $\pm$ 0.43	9.27 $\pm$ 0.42	16.725	<0.001	0.426	1.661	0.204	0.036	91.052	<0.001	0.674
Humerus breadth (cm)	7.26 $\pm$ 0.44	6.83 $\pm$ 0.33	6.55 $\pm$ 0.34	7.816	0.001	0.258	10.258	0.003	0.189	45.502	<0.001	0.508
Bi-styloid breadth (cm)	5.51 $\pm$ 0.39	5.35 $\pm$ 0.28	4.96 $\pm$ 0.35	6.354	0.004	0.220	4.469	0.040	0.092	37.628	<0.001	0.461
Corrected arm girth (cm)	26.38 $\pm$ 2.72	22.72 $\pm$ 2.35	20.44 $\pm$ 1.65	12.759	<0.001	0.362	6.970	0.011	0.137	5.248	0.027	0.107
Corrected thigh girth (cm)	49.07 $\pm$ 5.08	44.35 $\pm$ 3.49	39.76 $\pm$ 2.76	11.843	<0.001	0.345	11.403	0.002	0.206	8.044	0.007	0.155
Corrected leg girth (cm)	34.22 $\pm$ 1.32	31.63 $\pm$ 2.08	29.57 $\pm$ 1.57	11.318	<0.001	0.335	20.558	<0.001	0.318	22.974	<0.001	0.343
Endomorphy	3.74 $\pm$ 2.01	2.57 $\pm$ 1.57	2.39 $\pm$ 1.31	1.872	0.166	0.077	0.333	0.567	0.008	1.976	0.167	0.043
Mesomorphy	5.13 $\pm$ 1.30	4.52 $\pm$ 1.32	4.16 $\pm$ 0.97	1.153	0.325	0.049	0.068	0.795	0.002	3.688	0.061	0.077
Ectomorphy	2.42 $\pm$ 1.63	3.66 $\pm$ 2.84	3.68 $\pm$ 1.15	0.825	0.445	0.035	0.135	0.715	0.003	0.054	0.817	0.001
$\sum 6$ Skinfolds (mm)	97.24 $\pm$ 46.18	61.17 $\pm$ 29.14	57.51 $\pm$ 27.59	4.368	0.018	0.163	0.456	0.503	0.010	2.920	0.095	0.062
$\sum 8$ Skinfolds (mm)	122.38 $\pm$ 58.60	77.88 $\pm$ 38.45	72.16 $\pm$ 36.01	3.976	0.026	0.150	0.381	0.540	0.009	2.619	0.113	0.056
Fat mass percentage (%)	23.12 $\pm$ 9.84	15.60 $\pm$ 6.12	15.29 $\pm$ 8.01	3.802	0.030	0.145	0.916	0.344	0.020	4.566	0.038	0.094
Muscle mass (%)	36.95 $\pm$ 2.17	38.92 $\pm$ 2.65	38.46 $\pm$ 2.30	1.952	0.154	0.080	0.835	0.366	0.019	36.879	<0.001	0.456
Bone mass percentage (%)	16.18 $\pm$ 2.78	18.32 $\pm$ 2.29	18.66 $\pm$ 2.39	2.884	0.066	0.114	1.385	0.246	0.031	21.603	<0.001	0.329
Fat mass (Kg)	19.76 $\pm$ 11.41	9.73 $\pm$ 4.75	8.18 $\pm$ 5.70	8.876	0.001	0.283	0.053	0.819	0.001	0.462	0.500	0.010
Muscle mass (Kg)	29.98 $\pm$ 4.73	23.47 $\pm$ 3.27	19.34 $\pm$ 2.29	18.972	<0.001	0.457	27.716	<0.001	0.386	1.179	0.284	0.026
Bone mass (Kg)	12.88 $\pm$ 0.97	10.94 $\pm$ 1.15	9.33 $\pm$ 1.11	19.015	<0.001	0.458	20.017	<0.001	0.313	1.070	0.307	0.024
BMI (Kg/m <sup>2</sup> )	24.73 $\pm$ 4.50	21.01 $\pm$ 3.14	19.10 $\pm$ 2.25	6.003	0.005	0.211	1.049	0.311	0.023	4.155	0.048	0.086
Muscle-bone index	2.33 $\pm$ 0.37	2.15 $\pm$ 0.24	2.08 $\pm$ 0.20	2.174	0.126	0.088	2.967	0.092	0.063	5.297	0.026	0.107
Sit & Reach test (cm)	3.01 $\pm$ 10.91	0.47 $\pm$ 8.50	0.75 $\pm$ 6.70	0.276	0.760	0.012	2.248	0.141	0.049	2.008	0.164	0.044
Back scratch test (cm)	4.76 $\pm$ 7.74	0.88 $\pm$ 7.47	1.38 $\pm$ 5.61	0.914	0.408	0.039	0.165	0.687	0.004	0.306	0.583	0.007
Long jump (m)	1.94 $\pm$ 0.25	2.05 $\pm$ 0.29	1.86 $\pm$ 0.30	1.604	0.212	0.067	18.916	<0.001	0.301	0.378	0.542	0.009

(continued on next page)

Table 1 (continued)

Variable	Group (Mean $\pm$ SD)			Model								
	Early ( $n = 8$ )	Average ( $n = 33$ )	Late ( $n = 7$ )	Maturation group			Age			Maturation group*age		
				F	$p$	$\eta_p^2$	F	$p$	$\eta_p^2$	F	$p$	$\eta_p^2$
Medicine ball throw (m)	7.58 $\pm$ 1.18	6.04 $\pm$ 1.25	4.78 $\pm$ 0.94	10.191	<0.001	0.312	43.538	<0.001	0.497	10.719	0.002	0.196
CMJ (cm)	0.29 $\pm$ 0.05	0.30 $\pm$ 0.06	0.26 $\pm$ 0.06	1.109	0.339	0.047	10.952	0.002	0.199	0.818	0.371	0.018
CMJ power (W)	942.14 $\pm$ 138.85	719.00 $\pm$ 129.84	561.29 $\pm$ 106.58	16.978	<0.001	0.430	42.958	<0.001	0.494	7.783	0.008	0.150
20 m sprint (s)	3.95 $\pm$ 0.27	3.78 $\pm$ 0.26	3.88 $\pm$ 0.30	1.372	0.264	0.057	8.408	0.006	0.160	103.792	<0.001	0.702
Agility test (s)	8.95 $\pm$ 0.56	8.97 $\pm$ 0.66	9.32 $\pm$ 1.09	0.704	0.500	0.030	9.460	0.004	0.177	88.933	<0.001	0.669

( $F = 9.959$ ;  $p < 0.001$ ); in all bone diameters ( $F = 6.354$ – $18.308$ ;  $p < 0.001$ – $0.004$ ); in all corrected muscle girths ( $F = 11.318$ – $12.759$ ;  $p < 0.001$ ); in the  $\sum 6$  and  $\sum 8$  skinfolds and fat mass in kg and percentage ( $F = 8.876$ – $4.368$ ;  $p < 0.001$ – $0.030$ ); and in muscle and bone masses in kg ( $F = 18.972$ – $19.015$ ;  $p < 0.001$ ). The inclusion of the covariable “age” showed significant effect in the model in the same variables ( $F = 4.469$ – $88.401$ ;  $p < 0.001$ – $0.040$ ), except in the  $\sum 6$  and  $\sum 8$  skinfolds, in the fat percentage and in the bone mass (Kg). The interaction between variables showed that differences between maturity groups were influenced by age in the bone related variables ( $F = 24.211$ – $91.052$ ;  $p < 0.001$ ), in the muscle related variables ( $F = 5.248$ – $22.974$ ;  $p < 0.001$ – $0.027$ ) and in the percentages of body composition ( $F = 4.566$ – $36.879$ ;  $p < 0.001$ – $0.038$ ).

Pairwise comparisons after Bonferroni adjustment regarding the anthropometric variables can be seen in [Tables 2](#) and [3](#). The early maturers group obtained higher values in the anthropometric variables than the average and late maturers ([Tables 2](#) and [3](#)), showing significant differences in all anthropometric variables ( $p < 0.001$ – $0.030$ ), except in the  $\sum 6$  and  $\sum 8$  skinfolds and in the fat mass percentage, where differences were found only between the early and average maturers ( $p = 0.020$ – $0.030$ ). The interaction maturity group\*age showed that age had a significant influence in the pairwise differences in all anthropometric variables ( $p < 0.001$ – $0.037$ ).

In the physical fitness tests ([Table 1](#)), the ANOVA identified significant differences between groups in the medicine ball throw ( $F = 10.191$ ;  $p < 0.001$ ) and in CMJ power ( $F = 16.978$ ;  $p < 0.001$ ). The inclusion in the ANCOVA of the covariate age showed, in addition to the previous tests, effect in the long jump, CMJ height, sprint and agility ( $F = 8.408$ – $43.538$ ;  $p < 0.001$ – $0.006$ ), while the interaction maturity group\*age showed significant influence of the age in the differences found between groups in the medicine ball throw, CMJ power, sprint and agility ( $F = 10.719$ – $103.792$ ;  $p < 0.001$ – $0.008$ ).

The significant differences found after Bonferroni adjustment in the physical tests are shown in [Table 4](#). In the medicine ball throw test and the CMJ power test, the early maturers group obtained better results than the average and late maturers groups ( $p < 0.001$ – $0.007$ ); while the average group obtained better results than the late maturers group ( $p = 0.016$ – $0.047$ ). The same differences between groups were found in these tests when age was included as a covariate in the model ( $p < 0.001$ – $0.004$ ).

[Tables 5](#) and [6](#) show the correlations between anthropometric variables and physical performance variables. Both maturity offset and age showed moderate to high correlations with the physical fitness test ( $r = 0.238$ – $0.810$ ;  $p < 0.001$ – $0.021$ ). The horizontal jump test and the CMJ showed moderate positive correlations with height, sitting height, bi-styloid breath, corrected leg girth and muscle mass percentage ( $r = 0.301$ – $0.462$ ;  $p < 0.001$ – $0.038$ ); and moderate negative correlations with both fat mass and fat percentage ( $r = -0.427$ ,  $-0.511$ ;  $p < 0.001$ – $0.002$ ). Medicine ball throw showed moderate to high positive correlations with all variables ( $r = 0.330$ – $0.829$ ;  $p < 0.001$ – $0.022$ ), except with  $\sum 8$  skinfolds, fat mass percentage and muscle mass percentage. CMJ power showed moderate to high positive correlations with all anthropometric variables analysed, except for muscle mass percentage ( $r = 0.367$ – $0.921$ ;  $p < 0.001$ – $0.010$ ). Sprint time showed moderate positive correlations with the fat-related variables, BMI and with the musculoskeletal index

**Table 2** *Post hoc* comparison between groups with significant differences in the ANCOVA analysis for the maturational status variables and bone-related kinanthropometric variables.

Test	Groups comparison		Model					
			Maturation group			Maturation group × Age		
			Mean difference ± SD	p value	95% CI	Mean difference ± SD	p value	95% CI
Maturity offset (years)	E	A	1.16 ± 0.38	0.012	0.21 to 2.11	0.80 ± 0.12	<0.001	0.50 to 1.09
	E	L	1.55 ± 0.50	0.010	0.30 to 2.80	1.69 ± 0.16	<0.001	1.30 to 2.08
	A	L	0.39 ± 0.40	1.000	-0.61 to 1.39	0.89 ± 0.13	<0.001	0.58 to 1.21
APHV (years)	E	A	-0.76 ± 0.12	<0.001	-1.07 to -0.46	-0.80 ± 0.12	<0.001	-1.09 to -0.50
	E	L	-1.70 ± 0.16	<0.001	-2.09 to -1.30	-1.69 ± 0.16	<0.001	-2.07 to -1.30
	A	L	-0.93 ± 0.13	<0.001	-1.25 to -0.62	-0.89 ± 0.13	<0.001	-1.21 to -0.58
Body mass (Kg)	E	A	20.86 ± 3.84	<0.001	11.29 to 30.42	18.92 ± 3.39	<0.001	10.40 to 27.36
	E	L	30.75 ± 5.05	<0.001	18.19 to 43.31	31.50 ± 4.41	<0.001	20.52 to 42.48
	A	L	9.89 ± 4.06	0.057	-0.21 to 19.99	12.58 ± 3.61	0.003	3.59 to 21.56
Height (cm)	E	A	11.72 ± 2.97	0.001	4.34 to 19.11	9.91 ± 2.40	<0.001	3.94 to 15.89
	E	L	19.09 ± 3.90	<0.001	9.39 to 28.79	19.79 ± 3.12	<0.001	12.02 to 27.57
	A	L	7.36 ± 3.13	0.070	-0.43 to 15.16	9.87 ± 2.55	0.001	3.51 to 16.24
Arm span (cm)	E	A	12.91 ± 3.31	0.001	4.69 to 21.14	11.30 ± 2.95	0.001	3.96 to 18.64
	E	L	20.78 ± 4.34	<0.001	9.98 to 31.58	21.40 ± 3.83	<0.001	11.86 to 30.95
	A	L	7.86 ± 3.49	0.088	-0.82 to 16.54	10.10 ± 3.14	0.007	2.29 to 17.91
Sitting height (cm)	E	A	6.00 ± 1.50	0.001	2.26 to 9.73	4.77 ± 0.88	<0.001	2.57 to 6.98
	E	L	10.27 ± 1.97	<0.001	5.37 to 15.81	10.75 ± 1.15	<0.001	7.89 to 13.62
	A	L	4.27 ± 1.58	0.029	0.33 to 8.22	5.97 ± 0.94	<0.001	3.63 to 8.32
Upper limb length (cm)	E	A	5.50 ± 1.45	0.001	1.89 to 9.10	4.83 ± 1.31	0.002	1.56 to 8.11
	E	L	7.96 ± 1.90	<0.001	3.22 to 12.70	8.22 ± 1.71	<0.001	3.96 to 12.48
	A	L	2.46 ± 1.53	0.344	-1.34 to 6.27	3.38 ± 1.40	0.060	-0.10 to 6.87
Iliospinale height (cm)	E	A	8.08 ± 5.11	0.362	-4.62 to 20.79	6.10 ± 4.81	0.635	-5.88 to 18.08
	E	L	16.00 ± 6.71	0.064	-0.69 to 32.69	16.77 ± 6.26	0.031	1.20 to 32.35
	A	L	7.91 ± 5.39	0.448	-5.50 to 21.34	10.67 ± 5.12	0.129	-2.08 to 23.42
Biacromial breadth (cm)	E	A	3.99 ± 0.84	<0.001	1.90 to 6.08	3.45 ± 0.66	<0.001	1.82 to 5.10
	E	L	5.51 ± 1.10	<0.001	2.76 to 8.25	5.71 ± 0.86	<0.001	3.58 to 7.85
	A	L	1.51 ± 0.89	0.285	-0.69 to 3.72	2.26 ± 0.70	0.007	0.52 to 4.01
Biliocrestal breadth (cm)	E	A	3.40 ± 0.63	<0.001	1.83 to 4.97	3.08 ± 0.55	<0.001	1.70 to 4.45
	E	L	4.53 ± 0.83	<0.001	2.47 to 6.58	4.65 ± 0.72	<0.001	2.87 to 6.44
	A	L	1.12 ± 0.67	0.293	-0.53 to 2.78	1.58 ± 0.59	0.031	0.11 to 3.04

(continued on next page)



Table 2 (continued)

Test	Groups comparison		Model					
			Maturation group			Maturation group x Age		
			Mean difference ± SD	p value	95% CI	Mean difference ± SD	p value	95% CI
Femur breadth (cm)	E	A	0.70 ± 0.17	<0.001	0.28 to 1.12	0.67 ± 0.17	0.001	0.24 to 1.09
	E	L	1.27 ± 0.22	<0.001	0.72 to 1.82	1.28 ± 0.22	<0.001	0.73 to 1.83
	A	L	0.57 ± 0.18	0.007	0.13 to 1.01	0.62 ± 0.18	0.004	0.17 to 1.07
Humerus breadth (cm)	E	A	0.43 ± 0.14	0.010	0.08 to 0.78	0.37 ± 0.13	0.018	0.05 to 0.69
	E	L	0.71 ± 0.18	0.001	0.25 to 1.16	0.72 ± 0.17	<0.001	0.31 to 1.15
	A	L	0.27 ± 0.15	0.212	-0.09 to 0.64	0.36 ± 0.14	0.037	0.02 to 0.70
Bi- styloid breadth (cm)	E	A	0.16 ± 0.12	0.608	-0.14 to 0.46	0.12 ± 0.12	0.945	-0.17 to 0.41
	E	L	0.55 ± 0.16	0.004	0.15 to 0.95	0.56 ± 0.15	0.002	0.18 to 0.95
	A	L	0.39 ± 0.13	0.012	0.07 to 0.71	0.44 ± 0.13	0.003	0.13 to 0.76

**Notes.**

E, Early maturers; A, Average maturers; L, Late maturers.

**Table 3** *Post hoc* comparison between groups with significant differences in the ANCOVA analysis for the muscle- and fat-related kinanthropometric variables, and body composition variables.

Test	Groups comparison		Model					
			Maturation group			Maturation group × Age		
			Mean difference ± SD	p value	95% CI	Mean difference ±SD	p value	95% CI
Corrected arm girth (cm)	E	A	3.65 ± 0.92	0.001	1.36 to 5.94	3.31 ± 0.87	0.001	1.14 to 5.49
	E	L	5.93 ± 1.21	<0.001	2.92 to 8.94	6.10 ± 1.14	<0.001	3.23 to 8.90
	A	L	2.28 ± 0.97	0.071	−0.14 to 4.70	2.75 ± 0.93	0.015	0.43 to 5.07
Corrected thigh girth (cm)	E	A	4.72 ± 1.46	0.007	1.09 to 8.35	4.06 ± 1.33	0.011	0.75 to 7.37
	E	L	9.31 ± 1.91	<0.001	4.54 to 14.08	9.57 ± 1.73	<0.001	5.26 to 13.87
	A	L	4.59 ± 1.54	0.014	0.75 to 8.42	5.51 ± 1.73	0.001	1.98 to 9.03
Corrected leg girth (cm)	E	A	2.59 ± 0.75	0.004	0.71 to 4.45	2.16 ± 0.63	0.004	0.58 to 3.74
	E	L	4.65 ± 0.99	<0.001	2.19 to 7.10	4.81 ± 0.82	<0.001	2.76 to 6.87
	A	L	2.06 ± 0.79	0.038	0.09 to 4.03	2.65 ± 0.68	0.001	0.97 to 4.33
∑6 Skinfolds (mm)	E	A	36.07 ± 12.69	0.020	4.50 to 67.62	37.34 ± 12.91	0.018	5.21 to 69.47
	E	L	39.73 ± 16.67	0.064	−1.71 to 81.18	39.23 ± 16.78	0.072	−2.54 to 81.08
	A	L	3.67 ± 13.40	1.000	−29.65 to 36.99	1.89 ± 13.74	1.000	−32.30 to 36.08
∑8 Skinfolds (mm)	E	A	44.48 ± 16.52	0.030	3.39 to 85.58	46.01 ± 16.82	0.027	4.14 to 87.88
	E	L	50.21 ± 21.70	0.076	−3.75 to 104.18	49.62 ± 21.87	0.085	−4.82 to 104.07
	A	L	5.73 ± 17.45	1.000	−37.66 to 49.12	3.61 ± 17.09	1.000	−40.95 to 48.17
Fat mass percentage (%)	E	A	7.51 ± 2.79	0.030	0.56 to 14.47	7.91 ± 2.83	0.023	0.87 to 14.96
	E	L	7.82 ± 3.67	0.116	−1.31 to 16.95	7.67 ± 3.68	0.129	−1.49 to 16.82
	A	L	0.30 ± 2.95	1.000	−7.03 to 7.64	−0.25 ± 3.01	1.000	−7.74 to 7.24
Fat mass (Kg)	E	A	10.03 ± 2.51	0.001	3.78 to 16.28	9.95 ± 2.57	0.001	3.56 to 16.34
	E	L	11.58 ± 3.30	0.003	3.37 to 19.78	11.61 ± 3.34	0.003	3.31 to 19.92
	A	L	1.55 ± 2.65	1.000	−5.05 to 8.14	1.67 ± 2.73	1.000	−5.13 to 8.47
Muscle mass (Kg)	E	A	6.51 ± 1.35	<0.001	3.14 to 9.88	5.67 ± 1.08	<0.001	2.97 to 8.37
	E	L	10.64 ± 1.78	<0.001	6.22 to 15.07	10.97 ± 1.41	<0.001	7.46 to 14.48
	A	L	4.13 ± 1.43	0.018	0.58 to 7.69	5.30 ± 1.15	<0.001	2.43 to 8.17
Bone mass (Kg)	E	A	1.93 ± 0.44	<0.001	0.84 to 3.03	1.69 ± 0.37	<0.001	0.76 to 2.62
	E	L	3.54 ± 0.58	<0.001	2.10 to 4.98	3.64 ± 0.49	<0.001	2.43 to 4.85
	A	L	1.61 ± 0.46	0.001	0.45 to 2.76	1.95 ± 0.40	<0.001	0.96 to 2.94
BMI (Kg/m <sup>2</sup> )	E	A	3.72 ± 1.30	0.019	0.48 to 6.95	3.52 ± 1.31	0.031	0.25 to 6.79
	E	L	5.63 ± 1.71	0.006	1.38 to 9.87	5.71 ± 1.71	0.005	1.46 to 9.96
	A	L	1.91 ± 1.37	0.509	−1.50 to 5.32	2.19 ± 1.40	0.373	−1.29 to 5.67

**Notes.**

E, Early maturers; A, Average maturers; L, Late maturers.

( $r = 0.400$ – $0.670$ ;  $p < 0.001$ – $0.005$ ), while the correlation with muscle mass percentage was moderate negative ( $r = -0.459$ ;  $p = 0.001$ ). The agility test showed moderate and low negative correlations with the variables height, arm span, sitting height, upper limb length, iliospinale height, biacromial breadth and corrected leg circumference ( $r = -0.286$ ,  $-0.488$ ;  $p < 0.001$ – $0.049$ ), while with fat mass variables the correlation was moderate positive ( $r = 0.333$ – $0.357$ ;  $p = 0.013$ – $0.021$ ).

**Table 4** *Post hoc* comparison between groups with significant differences in the ANCOVA analysis for the physical fitness variables.

Test	Groups comparison		Model					
			Maturation group			Maturation group*Age		
			Mean difference ± SD	<i>p</i> value	95% CI	Mean difference ± SD	<i>p</i> value	95% CI
Medicine ball throw (m)	E	A	1.53 ± 0.48	0.007	0.35 to 2.72	1.20 ± 0.34	0.004	0.34 to 2.06
	E	L	2.80 ± 0.62	<0.001	1.24 to 4.35	2.93 ± 0.45	<0.001	1.81 to 4.05
	A	L	1.26 ± 0.50	0.047	0.014 to 2.51	1.73 ± 0.36	<0.001	0.81 to 2.64
CMJ power (W)	E	A	223.14 ± 50.62	<0.001	97.24 to 349.03	187.67 ± 36.81	<0.001	96.03 to 279.31
	E	L	379.85 ± 66.48	<0.001	214.51 to 545.18	393.63 ± 47.87	<0.001	274.48 to 512.79
	A	L	156.71 ± 53.45	0.016	23.77 to 289.65	205.96 ± 39.18	<0.001	108.44 to 303.49

**Notes.**

E, Early maturers; A, Average maturers; L, Late maturers.

**Table 5** Correlations between anthropometric and physical fitness variables.

	Sit & reach	Back scratch test	Long jump	Medicine ball throw	CMJ	CMJ power	20 m sprint	Agility test
Maturity offset	$r = 0.282; p = 0.052$	$r = 0.065; p = 0.662$	$r = 0.429; p = 0.002$	$r = 0.810; p < 0.001$	$r = 0.366; p = 0.011$	$r = 0.808; p < 0.001$	$r = -0.238; p = 0.104$	$r = -0.402; p = 0.005$
Age	$r = 0.228; p = 0.119$	$r = -0.032; p = 0.829$	$r = 0.460; p = 0.001$	$r = 0.563; p < 0.001$	$r = 0.380; p = 0.008$	$r = 0.518; p < 0.001$	$r = -0.333; p = 0.021$	$r = -0.376; p = 0.008$
Body mass	$r = 0.160; p = 0.278$	$r = 0.147; p = 0.318$	$r = 0.017; p = 0.906$	$r = 0.660; p < 0.001$	$r = -0.018; p = 0.904$	$r = 0.888; p < 0.001$	$r = 0.259; p = 0.075$	$r = -0.062; p = 0.678$
Height	$r = 0.144; p = 0.329$	$r = 0.174; p = 0.237$	$r = 0.330; p = 0.022$	$r = 0.690; p < 0.001$	$r = 0.376; p = 0.008$	$r = 0.723; p < 0.001$	$r = -0.142; p = 0.336$	$r = -0.337; p = 0.019$
Arm span	$r = 0.240; p = 0.101$	$r = 0.274; p = 0.060$	$r = 0.234; p = 0.110$	$r = 0.635; p < 0.001$	$r = 0.267; p = 0.066$	$r = 0.706; p < 0.001$	$r = -0.033; p = 0.823$	$r = -0.317; p = 0.028$
Sitting height	$r = 0.279; p = 0.054$	$r = 0.103; p = 0.485$	$r = 0.407; p = 0.004$	$r = 0.829; p < 0.001$	$r = 0.365; p = 0.011$	$r = 0.795; p < 0.001$	$r = -0.233; p = 0.111$	$r = -0.420; p = 0.003$
Upper limb length	$r = 0.191; p = 0.194$	$r = 0.267; p = 0.066$	$r = 0.248; p = 0.090$	$r = 0.596; p < 0.001$	$r = 0.263; p = 0.071$	$r = 0.695; p < 0.001$	$r = -0.045; p = 0.762$	$r = -0.300; p = 0.038$
Iliospinale height	$r = 0.172; p = 0.241$	$r = 0.155; p = 0.292$	$r = 0.224; p = 0.125$	$r = 0.414; p = 0.003$	$r = 0.180; p = 0.220$	$r = 0.393; p = 0.006$	$r = 0.043; p = 0.772$	$r = -0.488; p < 0.001$
Biacromial breadth	$r = 0.225; p = 0.124$	$r = 0.212; p = 0.148$	$r = 0.258; p = 0.077$	$r = 0.736; p < 0.001$	$r = 0.234; p = 0.109$	$r = 0.806; p < 0.001$	$r = -0.037; p = 0.803$	$r = -0.286; p = 0.049$
Biiliocrestal breadth	$r = 0.193; p = 0.189$	$r = 0.189; p = 0.198$	$r = 0.084; p = 0.570$	$r = 0.629; p < 0.001$	$r = 0.050; p = 0.734$	$r = 0.795; p < 0.001$	$r = 0.197; p = 0.179$	$r = -0.106; p = 0.473$
Femur breadth	$r = 0.122; p = 0.409$	$r = -0.008; p = 0.956$	$r = 0.029; p = 0.843$	$r = 0.503; p < 0.001$	$r = 0.027; p = 0.854$	$r = 0.677; p < 0.001$	$r = 0.062; p = 0.674$	$r = 0.036; p = 0.808$
Humerus breadth	$r = 0.151; p = 0.306$	$r = 0.175; p = 0.235$	$r = 0.235; p = 0.108$	$r = 0.504; p < 0.001$	$r = 0.043; p = 0.774$	$r = 0.595; p < 0.001$	$r = -0.064; p = 0.665$	$r = -0.192; p = 0.190$
Bi-styloid breadth	$r = 0.063; p = 0.671$	$r = -0.114; p = 0.439$	$r = 0.420; p = 0.003$	$r = 0.407; p = 0.004$	$r = 0.301; p = 0.038$	$r = 0.507; p < 0.001$	$r = -0.302; p = 0.037$	$r = -0.264; p = 0.070$
Corrected arm girth	$r = 0.254; p = 0.082$	$r = 0.034; p = 0.816$	$r = 0.129; p = 0.383$	$r = 0.656; p < 0.001$	$r = 0.067; p = 0.651$	$r = 0.792; p < 0.001$	$r = 0.120; p = 0.415$	$r = -0.104; p = 0.480$
Corrected thigh girth	$r = 0.115; p = 0.438$	$r = 0.077; p = 0.605$	$r = 0.109; p = 0.461$	$r = 0.623; p < 0.001$	$r = 0.061; p = 0.681$	$r = 0.849; p < 0.001$	$r = 0.192; p = 0.191$	$r = -0.040; p = 0.785$
Corrected leg girth	$r = 0.305; p = 0.035$	$r = 0.005; p = 0.973$	$r = 0.356; p = 0.013$	$r = 0.687; p < 0.001$	$r = 0.370; p = 0.010$	$r = 0.820; p < 0.001$	$r = -0.058; p = 0.696$	$r = -0.296; p = 0.041$
BMI	$r = 0.130; p = 0.380$	$r = 0.084; p = 0.571$	$r = -0.164; p = 0.267$	$r = 0.384; p = 0.007$	$r = -0.245; p = 0.093$	$r = 0.648; p < 0.001$	$r = 0.400; p = 0.005$	$r = 0.113; p = 0.445$
∑8 Skinfolds	$r = 0.067; p = 0.653$	$r = 0.081; p = 0.584$	$r = -0.427; p = 0.002$	$r = 0.170; p = 0.249$	$r = -0.489; p < 0.001$	$r = 0.417; p = 0.003$	$r = 0.611; p < 0.001$	$r = 0.333; p = 0.021$
Fat mass (%)	$r = 0.071; p = 0.630$	$r = 0.131; p = 0.377$	$r = -0.474; p = 0.001$	$r = 0.137; p = 0.354$	$r = -0.511; p < 0.001$	$r = 0.367; p = 0.010$	$r = 0.670; p < 0.001$	$r = 0.357; p = 0.013$
Muscle mass (%)	$r = -0.005; p = 0.971$	$r = -0.276; p = 0.057$	$r = 0.424; p = 0.003$	$r = 0.025; p = 0.864$	$r = 0.462; p = 0.001$	$r = -0.174; p = 0.237$	$r = -0.459; p = 0.001$	$r = -0.171; p = 0.245$
Fat mass (Kg)	$r = 0.093; p = 0.528$	$r = 0.104; p = 0.480$	$r = -0.354; p = 0.014$	$r = 0.330; p = 0.022$	$r = -0.379; p = 0.008$	$r = 0.564; p < 0.001$	$r = 0.590; p < 0.001$	$r = 0.240; p = 0.100$
Muscle mass (Kg)	$r = 0.179; p = 0.223$	$r = 0.076; p = 0.606$	$r = 0.188; p = 0.202$	$r = 0.747; p < 0.001$	$r = 0.160; p = 0.279$	$r = 0.921; p < 0.001$	$r = 0.110; p = 0.458$	$r = -0.145; p = 0.325$
Muscle-bone index	$r = 0.152; p = 0.303$	$r = 0.073; p = 0.621$	$r = -0.058; p = 0.694$	$r = 0.405; p = 0.004$	$r = -0.089; p = 0.547$	$r = 0.555; p < 0.001$	$r = 0.322; p = 0.026$	$r = 0.048; p = 0.744$

**Table 6** Correlations between muscle-related, fat-related kinanthropometric variables and physical fitness variables.

	Long jump	Medicine ball throw	CMJ	CMJ power	20 m sprint	Agility test
Corrected arm girth	$r = 0.129; p = 0.383$	$r = 0.656; p < 0.001$	$r = 0.067; p = 0.651$	$r = 0.792; p < 0.001$	$r = 0.120; p = 0.415$	$r = -0.104; p = 0.480$
Corrected thigh girth	$r = 0.109; p = 0.461$	$r = 0.623; p < 0.001$	$r = 0.061; p = 0.681$	$r = 0.849; p < 0.001$	$r = 0.192; p = 0.191$	$r = -0.040; p = 0.785$
Corrected leg girth	$r = 0.356; p = 0.013$	$r = 0.687; p < 0.001$	$r = 0.370; p = 0.010$	$r = 0.820; p < 0.001$	$r = -0.058; p = 0.696$	$r = -0.296; p = 0.041$
BMI	$r = -0.164; p = 0.267$	$r = 0.384; p = 0.007$	$r = -0.245; p = 0.093$	$r = 0.648; p < 0.001$	$r = 0.400; p = 0.005$	$r = 0.113; p = 0.445$
$\sum 8$ Skinfolds	$r = -0.427; p = 0.002$	$r = 0.170; p = 0.249$	$r = -0.489; p < 0.001$	$r = 0.417; p = 0.003$	$r = 0.611; p < 0.001$	$r = 0.333; p = 0.021$
Fat mass (%)	$r = -0.474; p = 0.001$	$r = 0.137; p = 0.354$	$r = -0.511; p < 0.001$	$r = 0.367; p = 0.010$	$r = 0.670; p < 0.001$	$r = 0.357; p = 0.013$
Muscle mass (%)	$r = 0.424; p = 0.003$	$r = 0.025; p = 0.864$	$r = 0.462; p = 0.001$	$r = -0.174; p = 0.237$	$r = -0.459; p = 0.001$	$r = -0.171; p = 0.245$
Fat mass (Kg)	$r = -0.354; p = 0.014$	$r = 0.330; p = 0.022$	$r = -0.379; p = 0.008$	$r = 0.564; p < 0.001$	$r = 0.590; p < 0.001$	$r = 0.240; p = 0.100$
Muscle mass (Kg)	$r = 0.188; p = 0.202$	$r = 0.747; p < 0.001$	$r = 0.160; p = 0.279$	$r = 0.921; p < 0.001$	$r = 0.110; p = 0.458$	$r = -0.145; p = 0.325$
Muscle-bone index	$r = -0.058; p = 0.694$	$r = 0.405; p = 0.004$	$r = -0.089; p = 0.547$	$r = 0.555; p < 0.001$	$r = 0.322; p = 0.026$	$r = 0.048; p = 0.744$

**Table 7** Regression models of the performance in the different physical fitness tests.

Variable	Analysis	R <sup>2</sup>	p value	Included independent variables	SC	p value	Equation
Long jump	Model 1	0.47	0.001	Fat mass (%)	-0.47	<0.001	Long jump = 2.322 - 0.019*fat mass (%)
	Model 2	0.68	<0.001	Fat mass (%) Maturity offset	-0.53 0.49	<0.001 <0.001	Long jump = 2.277 - 0.021*fat mass (%) + 0.135*maturity offset (years)
Medicine ball throw	Model 1	0.69	<0.001	Sitting height	0.83	<0.001	Medicine ball throw = -15.667 + 0.249*sitting height
	Model 2	0.74	<0.001	Sitting height Corrected arm girth	0.67 0.27	<0.001 0.005	Medicine ball throw = -14.710 + 0.202*sitting height + 0.136*corrected arm girth
CMJ	Model 1	0.26	<0.001	Fat mass (%)	-0.51	<0.001	CMJ = 36.625 - 0.421*fat mass (%)
	Model 2	0.53	<0.001	Fat mass (%) Corrected leg girth	-0.65 0.54	<0.001 <0.001	CMJ = -7.860 - 0.538*fat mass (%) + 1.462*corrected leg girth
CMJ power	Model 1	0.85	<0.001	Muscle mass	0.92	<0.001	CMJ power = -71.982 + 33.613*muscle mass (kg)
	Model 2	0.88	<0.001	Muscle mass Height	0.77 0.24	<0.001 <0.001	CMJ power = -689.738 + 28.077*muscle mass (kg) + 4.396*height (cm)
20 m sprint	Model 1	0.45	<0.001	Fat mass (%)	0.67	<0.001	Sprint = 3.425 + 0.024*fat mass (%)
	Model 2	0.53	<0.001	Fat mass (%) Age	0.65 -0.28	<0.001 <0.001	Sprint = 4.488 + 0.023*fat mass (%) - 0.074*age (years)
Agility test	Model 1	0.45	<0.001	Fat mass (%)	0.67	<0.001	Agility = 3.425 + 0.024*fat mass (%)
	Model 2	0.55	<0.001	Fat mass (%) Maturation offset	0.70 -0.32	<0.001 0.004	Agility = 3.452 + 0.025*fat mass (%) - 0.080*maturation offset (years)
	Model 3	0.60	<0.001	Fat mass (%) Maturation offset Iliospinale height	0.72 -0.46 0.27	0.001 0.001 0.017	Agility = 2.951 + 0.026*fat mass (%) - 0.115*maturation offset (years) + 0.005*iliospinale height (cm)

**Notes.**

SC, Standardized coefficients.

Table 7 shows the linear regression models in relation to the fitness tests, as well as the resulting predictive equations for each physical fitness test. Between one and three prediction models were found for the performance in the different fitness tests, which could explain 47 to 88% of the cases based on the anthropometric variables ( $p < 0.001$ ). The most determinant anthropometric variables were height, sitting height, iliospinale height, the arm and calf corrected girths, muscle mass (kg) and fat mass percentage.

Tables 8 to 11 show the correlations between anthropometric variables and physical performance variables dividing the sample in age groups. It was observed that in the 12-years-old group (Table 8), the anthropometric variables were related to sport performance only in CMJ power, showing positive high correlations with the body mass and BMI, corrected girths,  $\sum 8$  Skinfolds, fat and muscle masses (kg) and muscle-bone index ( $r = 0.786-0.934$ ;  $p = 0.002-0.036$ ).

In the 13-years-old group (Table 9), long jump test showed positive moderate correlations with sitting height and bi-styloid breadth ( $r = 0.534-0.686$ ;  $p = 0.005-0.040$ ), and negative moderate correlations with  $\sum 8$  skinfolds and fat mass percentage ( $r = -0.427, -0.522$ ;  $p = 0.002-0.046$ ); medicine ball throw test showed positive moderate to high

**Table 8** Correlations between anthropometric and fitness variables in 12 years old group.

12 years ( $n = 7$ )	CMJ	CMJ power
Maturity offset	$r = -0.760; p = 0.047$	–
Body mass	–	$r = 0.877; p = 0.010$
Corrected arm girth	–	$r = 0.898; p = 0.006$
Corrected thigh girth	–	$r = 0.868; p = 0.011$
Corrected leg girth	–	$r = 0.787; p = 0.036$
BMI	–	$r = 0.934; p = 0.002$
$\sum 8$ Skinfolds	–	$r = 0.815; p = 0.026$
Fat mass (Kg)	–	$r = 0.801; p = 0.030$
Muscle mass (Kg)	–	$r = 0.909; p = 0.005$
Muscle-bone index	–	$r = 0.786; p = 0.036$

correlation with bone and muscle related variables ( $r = 0.566-0.702; p = 0.004 - 0.028$ ); CMJ showed negative moderate correlations with fat-related variables and muscle-bone index ( $r = -0.544, -0.594; p = 0.020-0.036$ ); CMJ power showed positive moderate to high correlations with all the analyzed variables ( $r = 0.521-0.855; p < 0.001 - 0.046$ ), except with the  $\sum 8$  skinfolds, fat mass percentage and muscle to bone index; sprint test showed negative moderate correlations with muscle and fat related variables ( $r = -0.527, -0.625; p = 0.009-0.043$ ); agility test showed negative moderate correlations with bone related variables ( $r = -0.300, -0.555; p = 0.032-0.038$ ).

In the 14-years-old group (Table 10), medicine ball throw test showed a moderate positive correlation with sitting height ( $r = 0.699; p = 0.017$ ); CMJ test showed a negative moderate correlation with the  $\sum 8$  skinfolds ( $r = -0.644; p = 0.024$ ); CMJ power showed a positive moderate to high correlation with all the variables included ( $r = 0.603-0.901; p < 0.001-0.038$ ); sprint and agility tests showed a positive moderate to high correlation with muscle, bone and fat related variables ( $r = 0.625-0.883; p < 0.001-0.030$ ), except for the muscle mass correlation with agility, that was negative and high ( $r = -0.768; p = 0.004$ ).

In the case of the 15-years-old group (Table 11), long jump test showed negative moderate correlations with  $\sum 8$  skinfolds, fat mass percentage and muscle mass (kg) ( $r = -0.549, -0.631; p = 0.016-0.042$ ); both medicine ball throw and CMJ power showed positive moderate to high correlations with all the anthropometric variables ( $r = 0.545-0.920, p < 0.001-0.044$ ), except with the  $\sum 8$  skinfolds and the fat and muscle mass percentages; CMJ test showed negative moderate correlations with the  $\sum 8$  skinfolds and fat mass percentage ( $r = -0.554, -0.615; p = 0.019-0.040$ ), while a positive moderate correlation was observed with muscle mass percentage ( $r = 0.535; p = 0.048$ ); the sprint test showed positive moderate correlations with the fat related variables ( $r = 0.647-0.695; p = 0.006-0.012$ ).

The biological maturation showed positive moderate to high correlations with the physical fitness test in all the age groups ( $r = 0.604-0.915; p < 0.001-0.017$ ), except in the CMJ in the 12-years-old group, where the correlation was negative and high ( $r = -0.760; p = 0.047$ ).

**Table 9** Correlations between anthropometric and fitness variables in 13 years old group.

13 years ( <i>n</i> = 15)	Long jump	Medicine ball throw	CMJ	CMJ power	20 m sprint	Agility test
Maturity offset	$r = 0.604; p = 0.017$	$r = 0.792; p < 0.001$	–	$r = 0.656; p = 0.008$	–	–
Body mass	–	$r = 0.617; p = 0.014$	–	$r = 0.855; p < 0.001$	–	–
Height	–	$r = 0.647; p = 0.009$	–	$r = 0.521; p = 0.046$	–	–
Arm span	–	$r = 0.620; p = 0.014$	–	$r = 0.609; p = 0.016$	–	$r = -0.551; p = 0.033$
Sitting height	$r = 0.686; p = 0.005$	$r = 0.702; p = 0.004$	–	$r = 0.586; p = 0.022$	–	$r = -0.537; p = 0.039$
Upper limb length	–	$r = 0.554; p = 0.036$	–	$r = 0.671; p = 0.006$	–	$r = -0.300; p = 0.038$
Biacromial breadth	–	–	–	$r = 0.648; p = 0.009$	–	–
Biliocrestal breadth	–	$r = 0.576; p = 0.024$	–	$r = 0.747; p < 0.001$	–	–
Femur breadth	–	$r = 0.579; p = 0.024$	–	$r = 0.828; p < 0.001$	–	–
Humerus breadth	–	$r = 0.566; p = 0.028$	–	$r = 0.672; p = 0.006$	–	–
Bi-styloid breadth	$r = 0.534; p = 0.040$	–	–	–	–	$r = -0.555; p = 0.032$
Corrected arm girth	–	–	–	$r = 0.631; p = 0.012$	–	–
Corrected thigh girth	–	–	–	$r = 0.759; p = 0.001$	$r = 0.550; p = 0.034$	–
Corrected leg girth	–	$r = 0.578; p = 0.024$	–	$r = 0.723; p = 0.002$	–	–
BMI	–	–	$r = -0.544; p = 0.036$	$r = 0.583; p = 0.023$	$r = 0.527; p = 0.043$	–
∑8 Skinfolds	$r = -0.427; p = 0.002$	–	$r = -0.594; p = 0.020$	–	$r = 0.608; p = 0.016$	–
Fat mass (%)	$r = -0.522; p = 0.046$	–	$r = -0.561; p = 0.030$	–	$r = 0.621; p = 0.013$	–
Fat mass (Kg)	–	–	–	$r = 0.613; p = 0.012$	$r = 0.578; p = 0.024$	–
Muscle mass (Kg)	–	$r = 0.595; p = 0.019$	–	$r = 0.843; p < 0.001$	–	–
Muscle-bone index	–	–	$r = -0.516; p = 0.049$	–	$r = 0.625; p = 0.009$	–



**Table 10** Correlations between anthropometric and fitness variables in 14 years old group.

14 years ( <i>n</i> = 12)	Medicine ball throw	CMJ	CMJ power	20 m sprint	Agility test
Maturity offset	$r = 0.602; p = 0.039$	–	$r = 0.766; p = 0.004$	–	$r = -0.653; p = 0.021$
Body mass	–	–	$r = 0.943; p < 0.001$	$r = 0.736; p = 0.006$	$r = 0.720; p = 0.008$
Height	–	–	$r = 0.620; p = 0.031$	–	–
Arm spam	–	–	$r = 0.603; p = 0.038$	–	–
Sitting height	$r = 0.669; p = 0.017$	–	$r = 0.617; p = 0.033$	–	–
Upper limb length	–	–	$r = 0.695; p < 0.001$	–	–
Biiliocrestal breadth	–	–	$r = 0.847; p < 0.001$	–	$r = 0.674; p = 0.016$
Femur breadth	–	–	$r = 0.626; p = 0.029$	–	$r = 0.761; p = 0.004$
Corrected arm girth	–	–	$r = 0.833; p < 0.001$	–	$r = 0.778; p = 0.003$
Corrected thigh girth	–	–	$r = 0.869; p < 0.001$	$r = 0.607; p = 0.036$	$r = 0.718; p = 0.009$
Corrected leg girth	–	–	$r = 0.760; p = 0.004$	–	–
BMI	–	–	$r = 0.860; p < 0.001$	$r = 0.678; p = 0.015$	$r = 0.639; p = 0.035$
∑8 Skinfolds	–	$r = -0.644; p = 0.024$	$r = 0.729; p = 0.007$	$r = 0.812; p = 0.001$	$r = 0.631; p = 0.028$
Fat mass (%)	–	–	$r = 0.772; p = 0.003$	$r = 0.882; p < 0.001$	$r = 0.625; p = 0.030$
Fat mass (Kg)	–	–	$r = 0.790; p = 0.002$	$r = 0.883; p < 0.001$	$r = 0.630; p = 0.028$
Muscle mass (Kg)	–	–	$r = 0.901; p < 0.001$	$r = 0.640; p = 0.025$	$r = -0.768; p = 0.004$
Muscle-bone index	–	–	$r = 0.747; p = 0.005$	–	–

**Table 11** Correlations between anthropometric and fitness variables in 15 years old group.

15 years ( <i>n</i> = 14)	Long jump	Medicine ball throw	CMJ	CMJ power	20 m sprint
Maturity offset	–	$r = 0.886; p < 0.001$	–	$r = 0.915; p < 0.001$	–
Body mass	–	$r = 0.730; p = 0.003$	–	$r = 0.844; p < 0.001$	–
Height	–	$r = 0.736; p = 0.003$	–	$r = 0.829; p < 0.001$	–
Arm spam	–	$r = 0.735; p = 0.003$	–	$r = 0.775; p < 0.001$	–
Sitting height	–	$r = 0.909; p < 0.001$	–	$r = 0.915; p < 0.001$	–
Upper limb length	–	$r = 0.649; p = 0.012$	–	$r = 0.757; p = 0.002$	–
Biacromial breadth	–	$r = 0.784; p < 0.001$	–	$r = 0.933; p < 0.001$	–
Biiliocrestal breadth	–	$r = 0.818; p < 0.001$	–	$r = 0.820; p < 0.001$	–
Femur breadth	–	$r = 0.787; p < 0.001$	–	$r = 0.856; p < 0.001$	–
Humerus breadth	–	$r = 0.545; p = 0.044$	–	$r = 0.567; p = 0.035$	–
Bi-styloid breadtth	–	$r = 0.625; p = 0.017$	–	$r = 0.835; p < 0.001$	–
Corrected arm girth	–	$r = 0.741; p = 0.022$	–	$r = 0.798; p < 0.001$	–
Corrected thigh girth	–	$r = 0.796; p < 0.001$	–	$r = 0.870; p < 0.001$	–
Corrected leg girth	–	$r = 0.730; p = 0.003$	–	$r = 0.823; p < 0.001$	–
BMI	–	$r = 0.562; p = 0.037$	–	$r = 0.631; p = 0.016$	–
∑8 Skinfolds	$r = -0.606; p = 0.022$	–	$r = -0.554; p = 0.040$	–	$r = 0.695; p = 0.006$
Fat mass (%)	$r = -0.631; p = 0.016$	–	$r = -0.615; p = 0.019$	–	$r = 0.694; p = 0.006$
Muscle mass (%)	–	–	$r = 0.535; p = 0.048$	–	–
Fat mass (Kg)	$r = -0.549; p = 0.042$	–	–	–	$r = 0.647; p = 0.012$
Muscle mass (Kg)	–	$r = 0.815; p = 0.001$	–	$r = 0.920; p = 0.001$	–
Muscle-bone index	–	$r = 0.598; p = 0.024$	–	$r = 0.603; p = 0.022$	–

**Table 12** Regression models of the performance in the different physical fitness tests in the 12-years-old group.

Age group	Variable	Analysis	R <sup>2</sup>	p value	Included Independent Variables	SC	Equation
12 years old	CMJ	Model 1	0.58	0.047	Maturity offset	−0.76	CMJ = 6.479 − 21.229*maturity offset
	CMJ power	Model 1	0.87	0.002	BMI	0.93	CMJ power = 128.328 + 22.052*BMI

**Notes.**

SC, Standardized coefficients.

Tables 12 to 15 show the linear regression models in relation to the fitness tests, as well as the resulting predictive equations for each physical fitness test for each age group. Between one and three prediction models were found for the performance in the different fitness tests in the four age groups, which could explain 31 to 95% of the cases based on the anthropometric variables ( $p < 0.001$ – $0.032$ ). In the 12-years-old group, the most determinant variables in relation to performance were the maturity offset and body mass index (Table 12); in the 13-years-old group, the sitting height, corrected girths, maturity offset, bi-styloid breadth, body mass, muscle mass percentage, muscle-bone index,  $\sum 8$  skinfolds were the most determinant anthropometric variables (Table 13); in the 14-years-old group, the sitting height,  $\sum 8$  skinfolds, body mass, fat mass percentage and corrected arm girth were the most determinant anthropometric variables (Table 14); and in the 15-years-old group, fat mass percentage, corrected arm girth, sitting height, bone breaths, muscle mass percentage and  $\sum 8$  skinfolds were the most determinant anthropometric variables (Table 15).

## DISCUSSION

One of the objectives of the present research was to analyse the differences between maturation groups in anthropometric variables in adolescent volleyball athletes. Significantly higher values were found in early maturers compared to average and late maturers in body mass, height, arm span and sitting height. These results are consistent with previous studies carried out in the adolescent male athlete population, which also found that subjects whose maturation process was more advanced showed higher values in these variables (Arede et al., 2019; López-Plaza et al., 2017b). The differences found between maturation stages in anthropometric variables could be related to the hormonal changes that take place around APHV (Malina & Bouchard, 1991). Previous studies have observed that both sex hormones and growth hormone (GH) increase dramatically in concentration during this stage (Handelsman, Hirschberg & Bermon, 2018; Malina & Bouchard, 1991). Sex hormones play an important role in the accumulation of adipose tissue and lean mass (Handelsman, Hirschberg & Bermon, 2018), which could explain the differences found in body mass. On the other hand, height and sitting height is markedly influenced by GH (Saenger, 2003), which could explain the higher values obtained by the subjects in the early maturers group. Similarly, the early maturers group obtained higher results in arm span and upper limb length. While in the early stages of growth, children experience cephalo-caudal and proximal-distal development (Malina & Bouchard, 1991), during adolescence

**Table 13** Regression models of the performance in the different physical fitness tests in the 13-years-old group.

Age group	Variable	Analysis	R2	p value	Included independent variables	SC	Equation
13 years old	Long jump	Model 1	0.47	0.005	Sitting height	0.69	Long jump = $-1.390 + 0.038 \times$ sitting height
		Model 2	0.74	<0.001	Sitting height Corrected leg girth	0.99 -0.60	Long jump = $-0.550 + 0.055 \times$ sitting height $- 0.075 \times$ corrected leg girth
		Model 3	0.82	<0.001	Sitting height Corrected leg girth Bi-styloid breath	0.82 -0.69 0.38	Long jump = $-0.356 + 0.045 \times$ sitting height $- 0.085 \times$ corrected leg girth $+ 0.190 \times$ bi-styloid breath
	Medicine ball throw	Model 1	0.63	<0.001	Maturity offset	0.79	Medicine ball throw = $5.332 + 1.544 \times$ maturity offset
	CMJ	Model 1	0.35	0.020	$\sum 8$ skinfolds	-0.59	CMJ = $33.668 - 0.076 \times$ Sum of 8 skinfolds
	CMJ power	Model 1	0.73	<0.001	Body mass	0.85	CMJ power = $124.236 + 9.072 \times$ body mass
		Model 2	0.83	<0.001	Body mass Corrected arm girth	1.48 -0.70	CMJ power = $395.396 + 15.715 \times$ body mass $- 30.141 \times$ corrected arm girth
		Model 3	0.89	<0.001	Body mass Corrected arm girth Muscle mass (%)	2.00 -0.98 0.39	CMJ power = $-541.713 + 21.252 \times$ body mass $- 42.547 \times$ corrected arm girth $+ 23.420 \times$ muscle mass (%)
	20 m sprint	Model 1	0.42	0.009	Muscle-bone index	0.65	Sprint = $2.806 + 0.561 \times$ muscle-bone index
	Agility test	Model 1	0.31	0.032	Bi-styloid breath	-0.55	Agility = $14.275 - 0.982 \times$ bi-styloid breadth

Notes.  
SC, Standardized coefficients.

**Table 14** Regression models of the performance in the different physical fitness tests in the 14-years-old group.

Age group	Variable	Analysis	R2	p value	Included independent variables	SC	Equation
14 years old	Medicine ball throw	Model 1	0.45	0.017	Sitting height	0.67	Medicine ball throw = $-16.293 + 0.260 \times$ sitting height
	CMJ	Model 1	0.41	0.024	$\sum 8$ skinfolds	-0.64	CMJ = $35.526 - 0.421 \times \sum 8$ skinfolds
		Model 1	0.89	<0.001	Body mass	0.94	CMJ power = $144.949 + 9.810 \times$ body mass (kg)
	CMJ power	Model 2	0.95	<0.001	Body mass $\sum 8$ skinfolds	1.43 -0.55	CMJ power = $-59.752 + 14.930 \times$ body mass $- 1.486 \times \sum 8$ skinfolds
		20 m sprint	Model 1	0.78	<0.001	Fat mass (%)	0.88
	Agility test	Model 1	0.61	0.003	Corrected arm girth	0.78	Agility = $4.812 + 0.168 \times$ corrected arm girth

Notes.  
SC, Standardized coefficients.

**Table 15** Regression models of the performance in the different physical fitness tests in the 15-years-old group.

Age group	Variable	Analysis	R2	p value	Included independent variables	SC	Equation
15 years old	Long jump	Model 1	0.40	0.016	Fat mass (%)	-0.47	Long jump = 2.555 - 0.025*fat mass (%)
		Model 2	0.59	0.008	Fat mass (%) Corrected arm girth	-0.53 0.49	Long jump = 1.694 - 0.035*fat mass (%) + 0.042*corrected arm girth
	Medicine ball throw	Model 1	0.83	<0.001	Sitting height	0.91	Medicine ball throw = -19.967 + 0.296*sitting height
	CMJ	Model 1	0.38	0.019	Fat mass (%)	-0.61	CMJ = 43.695 - 0.744*fat mass (%)
		Model 2	0.78	<0.001	Fat mass (%) Femur breadth	-1.04 0.76	CMJ = -73.071 - 1.259*fat mass (%) + 12.495*femur breadth
	CMJ power	Model 1	0.87	<0.001	Biacromiale breadth	0.93	CMJ power = -1219.122 + 54.512*biacromiale breadth (kg)
		Model 2	0.93	<0.001	Biacromiale breadth Muscle mass (%)	1.03 0.27	CMJ power = -2215.952 + 60.481*biacromiale breadth + 17.659*muscle mass (%)
	20 m sprint	Model 1	0.48	0.006	$\sum$ 8 skinfolds	0.69	Sprint = 3.400 + 0.004* $\sum$ 8 skinfolds
		Model 2	0.65	0.003	$\sum$ 8 skinfolds Biileocrestal breadth	1.02 -0.52	Sprint = 4.401 + 0.006* $\sum$ 8 skinfolds - 0.058*biileocrestal breadth

**Notes.**

SC, Standardized coefficients.

growth occurs first in the limbs (*Malina & Bouchard, 1991*). This distal-proximal order in development could explain the differences shown between the maturation groups.

Also, significant differences were observed in adiposity-related variables (fat mass and percentage, and  $\sum$ 6 and  $\sum$ 8 skinfolds), between the early maturers and average maturers, and between early and late groups (fat mass), with higher values in the more mature subjects. These results are similar to those found in previous studies in which it was observed that in the adolescent athlete population, early maturers had a greater amount of adipose tissue (*Albaladejo-Saura et al., 2021*). The accumulation and distribution of adipose tissue undergoes changes during the adolescent stage in relation to sex hormones (*Sandhu et al., 2005*). In this case, a greater accumulation of adipose tissue seems to be related to an earlier onset of maturation in males (*Sandhu et al., 2005*), this could explain why, in this study, the early maturers showed a higher fat mass.

Regarding the other tissues of body composition, it was found that the group of early maturers showed significantly higher values than the average and late maturers in the components related to muscle development (muscle mass and corrected girths) and bone development (upper limb length and breadths). Previous research has shown that early maturers also have higher fat free mass and muscle mass than their peers (*López-Plaza et al., 2017b*). Muscle mass has been shown to be of great importance in sports performance (*Fitts, McDonald & Schluter, 1991*). The development of muscle mass appears to be linked to biological maturation, as the increase in muscle mass during adolescence is related to the increase in circulating testosterone, which in the male population can be up to 30 times higher than baseline values (*Handelsman, Hirschberg & Bermon, 2018*). Bone tissue has also been shown to be of great use in sports performance, serving as a structure

for muscle development (*Holway & Garavaglia, 2009*). Bone development occurs with a marked increase in the pubertal stage, influenced by GH, and then increases gradually into adulthood (*Ohlsson et al., 1998*). This increase in the hormones responsible for the increase in bone and muscle mass around APHV could be the explanation for the differences found between maturation groups in this study.

When age was introduced as a covariable, a significant influence was observed in the differences found between all groups in the basic measurements, bone variables and muscle variables, while in the fat variables only influence was observed in the differences between early and average maturers, with the early maturers group showing higher values. This phenomenon has been described in previous works analyzing the effect of age in the anthropometric variables. *Valente-Dos-Santos et al. (2014)* observed that height and fat free mass increased with age in all the maturation groups, with higher values in the more mature individuals, while the fat mass differences were smaller. In the present paper, the analyzed influence of age on the significant differences may be related to the fact that the sample of the present study had an age close to the APHV, which typically occurs in boys around  $13.8 \pm 1.0$  years of age (*Malina & Bouchard, 1991; Rommers et al., 2019; Sherar et al., 2005*), as it is in this period that the most notable changes produced by growth spurt occur, with an increase in muscle and bone tissue as age progresses (*Handelsman, Hirschberg & Bermon, 2018; Malina & Bouchard, 1991*).

Taking into account that height, arm span and leg length are important factors in volleyball performance (*Zhao et al., 2019*), it could be hypothesized based on the results obtained that early maturers might have a competitive advantage in adolescent stages that could be neutralised by average and late maturers when they reach adult size. In that case, this is an issue that would need to be considered in volleyball talent identification models.

Another of the objectives of this article was to compare the maturation groups in terms of performance in the physical fitness tests. The selection of the tests included in the present study was made taking into account the most determinant physical abilities in young male volleyball players, such as the power of upper and lower limbs (*Tsoukos et al., 2019*), based on previous studies that have used the tests in a similar population of adolescent volleyball players (*Albaladejo-Saura et al., 2022*) and in other sports (*Arede et al., 2019; Castro-Piñeiro et al., 2013; Katić, Grgantov & Jurko, 2006; López-Plaza et al., 2017b*). It was shown that the early maturers performed better in the medicine ball throw and CMJ power than their peers in the average and late maturers groups, and that the average maturers performed better than the late maturers. Among the factors that positively affect the production of muscle power, it has been observed that one of the key factors is muscle mass, with a relationship existing between the increase of muscle mass and the production of power (*Fitts, McDonald & Schluter, 1991*). Since both tests are related to the amount of muscle mass, and in addition, the CMJ power is also related to body mass, the significant differences found in these anthropometric variables between maturation groups may help to understand why these differences were found in the physical fitness tests. On the other hand, the flexibility tests showed no significant differences between groups. This could be caused by flexibility is not a physical capacity highly influenced by the maturational process (*Albaladejo-Saura et al., 2021*), and yet it could be more influenced

by the adaptations produced by volleyball training, as extensibility seems to be sensitive to the changes produced by training, improving it and producing morphological and neurological adaptations (*Klaver et al., 2018*), without the influence of the maturity status on these adaptations (*Albaladejo-Saura et al., 2021*). The results of the present research are in line with those found in male adolescents, in which it has been found that the early maturers groups have better results than the average and late maturers in muscle strength and power-dependent tests, but there were no differences in the flexibility tests between maturation groups (*Albaladejo-Saura et al., 2021*). In this sense, *Arede et al. (2019)*, observed that, in a sample of basketball players of a similar age to the one included in our study, the more mature players performed better in the medicine ball throw and CMJ power, but not in CMJ jump height. Similarly, *López-Plaza et al. (2017a)*, observed that more mature players in a sample of kayakers performed better in the aforementioned tests than their chronological age peers.

Inclusion of the covariate age showed a significant influence on differences in medicine ball throw, CMJ power, 20 m sprint and agility tests performance. However, the pairwise analysis of the differences only showed statistical significance in the medicine ball throw and CMJ power, obtaining better results the players whose maturation process was more advanced. The influence of age has been demonstrated in previous studies, in which it has been observed that as age advances, performance in physical fitness tests improves (*Rommers et al., 2019; Valente-Dos-Santos et al., 2014*), especially as young athletes approach to the APHV due to the physiological and morphological changes that occur around these stages (*Handelsman, Hirschberg & Bermon, 2018; Malina & Bouchard, 1991*).

As a result of the present research, sports talent identification programmes could include assessments of these capacities, having to relativize exclusively the results of upper limbs and jumping power according to the adolescent's maturational state, as maturation does not seem to affect the other factors in isolation but rather in combination with age. However, it may be considered that these tests are not strictly volleyball specific, so further research in this topic including volleyball related performance test would be of great interest.

Another objective of the present research was to determine which of the variables analyzed could best predict performance in the physical fitness tests. It was found that fat mass percentage predicted worse performance in the long jump, sprint and agility tests. This may be due to the fact that in physical capacities characterized by explosive movements, added weight in the form of adipose tissue can weigh down performance by requiring greater effort for the displacements (*Albaladejo-Saura et al., 2021*). However, absolute adipose tissue related variables, such as fat mass in kilograms or skinfold sums, did not show contribution to performance, nor positive or negative in the results showed in the regression analysis in the aforementioned tests. This may be because, as observed in previous research, physical exercise can modify fat mass percentages without significant differences in absolute fat mass as a consequence of the increase of muscle mass (*Cruz-Ferreira, Lino & Azevedo, 2009; Vaquero-Cristóbal et al., 2016*). Similar results have been found in previous researches, finding that adipose tissue in absolute amounts could not be the most determinant variable that contributes to sport performance related to long-jump in adolescent population, as it has been observed that those subjects who were

taller and had longer upper and lower limbs performed better than their peers (*Hraski et al., 2015*). Even though more mature players showed a higher amount of fat mass and higher values of adipose tissue related variables than their peers, it seems that relative values of fat mass, represented as percentage, are more relevant for the sport performance in the selected tests in young male volleyball players.

On the other hand, age, maturity offset and structural variables, such as height, sitting height and ilio-spinal height; and variables related to muscle development, such as muscle mass (kg) and corrected arm and calf circumferences, are predictors of better performance in the long jump, medicine ball throw, CMJ power and agility tests. Previous studies have already pointed out the importance of bone structure in physical performance, due to its relationship with the biomechanical parameters of strength execution and for providing the appropriate environment for better muscle development (*Holway & Garavaglia, 2009*). The muscle mass is a key factor to improve the performance in the physical abilities where body mass shifts in the horizontal or vertical plane, such as those that determine the volleyball performance (*Sarro et al., 2019*).

When the regression analysis was performed dividing the sample by age groups, the same direction of the results was observed, showing the bone and muscle related variables to be predictors of better performance in those physical fitness variables related to the strength and power production in all the age groups, and fat related variables being related with worse performance. The body mass was a predictor of better power production in the CMJ test, result that is in line with previous research, as the power calculation depends on the athletes body mass (*Jerás, Bovend'Eerd & McCrum, 2020*). However, CMJ height, sprinting and agility were negatively related to subcutaneous fat and related variables in the 13-, 14- and 15-year-old group, which is in line with previous research (*Albaladejo-Saura et al., 2021*; *Chena Sinovas et al., 2015*). It is noteworthy that maturity offset was one of the predictor variables for performance in the 12- and 13-years-old groups, in relation to the CMJ and medicine ball throw tests. These age groups are, in terms of chronological age, before the theoretical time of the APHV, which in boys has been documented at around 14 years of age, with individual variations (*Malina & Bouchard, 1991*). Previous research has described that the differences found in physical performance in adolescent athletes tend to equalize as chronological age advances, especially from the age of 14 years, after all the subjects had passed the APHV, until adulthood (*Dugdale, McRobert & Unnithan, 2021*; *Dugdale et al., 2021*). This could be the reason why maturity offset is a predictor of performance at these ages, but was not a predictor of performance in the 14- and 15-years-old groups. It may be noticed that some of the variables that showed significant correlations when the whole group was analyzed did not seem to have correlations in the age groups, perhaps due to the small sample included in each one. The correlations and the influence of anthropometric variables in the performance in fitness test in adolescent athletes should be investigated deeply with bigger samples of different ages. Further research is also needed to clarify if these variables related to bone and muscle mass allow the differentiation of the players according to their sport level once the adult development is reached.

However, the present research has some limitations. Firstly, the method used to establish the maturity status of the players was not the wrist and hand X-ray, considered the gold

standard (*Malina & Bouchard, 1991*). However, despite being the gold standard, there are some considerations to be taken into account, as the X-ray methods are not without its problems. It has been proved that they expose the participants to a significant amount of radiation; are invasive, costly, and time intensive (*Towlson et al., 2021*). As a consequence of the potential problems of using this method, some authors have proposed using alternative less invasive methods in the adolescent population (*Towlson et al., 2021*).

Alternative methods have been developed to observe APHV based on repeated measures over time and the development of mathematical models, such as SITAR, which allow observation rather than estimation of peak growth during adolescence (*Cole, 2018*). However, this model can only be applied from longitudinal designs, so this was not an option for the present research due to its cross-sectional nature.

The other option is to use maturation estimating equations based on regression equations, which is a non-invasive method that is easy to apply in field research and has been widely used in recent sport science research (*Albaladejo-Saura et al., 2021*). However, equations may introduce some error in the calculation of the maturity offset, established at around 0.50–0.59, according with previous research, limiting its use to some extent (*Malina et al., 2016; Malina et al., 2021; Mirwald et al., 2002*). In fact, it has been noted in research that the estimating equations for maturity offset tend to underestimate the value for early maturers, while overestimating it for late maturers (*Towlson et al., 2021*). Among these, perhaps the most popularly used has been that of *Mirwald et al. (2002)*, as in a recent systematic review with meta-analysis, out of seven studies that selected to assess somatic maturation through anthropometric equations, six were using *Mirwald et al. (2002)* equation to classify the athletes of different sports (*Albaladejo-Saura et al., 2021*). Although this equation shows the problems outlined above, some recommendations from previous studies to minimize its effect were followed. Specifically, although the original formula of *Mirwald et al. (2002)* was validated in a population with a wide age range (8–18 years old), and it has been observed that the results change more or less steadily with advancing chronological age (*Malina et al., 2021*). For this reason, some authors have recommended narrowing the age range of participants to 12–16 years old, as well as controlling for the effect of chronological age on the estimations (*Malina et al., 2021; Towlson et al., 2017; Towlson et al., 2021*). Furthermore, having demonstrated the potential issues of using equations based on anthropometric measures, it has been noted that they may have some utility when used to categorize participants as pre-, circum- or after-APHV (*Malina et al., 2021; Mirwald et al., 2002; Towlson et al., 2021*). Knowing the limitations of this method, this research uses the estimation of maturity offset as a categorical variable, includes participants with chronological age ranges within the recommended range, and uses the chronological age of the participants to control for the effect of differences between groups.

Other limitations of the present study are the cross-sectional research design, this prevented the use of APHV observation models as well as the establishment of a deeper relationship between anthropometric variables and physical fitness throughout adolescence and the sample size, which limits the extrapolation of the results to populations that do not have similar characteristics to the one included in the present study. Future research could



address these limitations in longitudinal research designs, with larger samples, studying the influence of biological maturation on anthropometric and physical fitness variables. It should be recommendable also the use of different methods to approach the estimation or observation of the maturity status, that allow the researcher to include subjects of a wider age range in order to clarify the relationships between maturation and performance during the different stages.

## CONCLUSIONS

Early maturers showed higher values in measures such as height, body mass, arm span, sitting height, bone diameters, muscle perimeters and fat, muscle and bone masses, as well as in distance achieved in the medicine ball throw and in CMJ power. These differences found in favour of players whose maturation process was more advanced could represent an advantage in volleyball sport performance during adolescence with respect to their chronological age peers. When assessing anthropometric variables and the physical condition of young players, biological maturation should be considered as early maturers may have a competitive advantage. Similarly, attention should be paid to variables such as height, sitting height, iliospinale height and muscle girths, as they have been shown to have a high predictive power for performance in physical fitness tests related to volleyball requirements. It should also be taken into account that when players' age is close to APHV, the differences found between maturation groups both in anthropometric and physical fitness performance are influenced by age. However, due to the small sample included and the limitations identified in the present research, these findings should be taken with caution, as they may only be applicable to the target population.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank the players, the clubs and the regional volleyball federation for their participation in this research project. Also, the authors would like to acknowledge the help provided by Malek, Nicolás, Aurora, Marvin and Elisa, UCAM students, supporting the main research team in the measurement sessions when needed.

## ADDITIONAL INFORMATION AND DECLARATIONS

### Funding

This work was supported by the Universidad Católica San Antonio de Murcia (No. PMAFI-08/19). The participation of M.A.-S. in the research was possible thanks to a pre-doctoral contract for the training of research personnel, included in the UCAM's own Research Plan 2018–2019: Human resources enhancement program. This article is part of his doctoral thesis. The funders had no role in study design, data collection and analysis, decision to publish, or preparation of the manuscript.

### Grant Disclosures

The following grant information was disclosed by the authors:  
Universidad Católica San Antonio de Murcia: PMAFI-08/19.

## Competing Interests

The authors declare there are no competing interests.

## Author Contributions

- Mario Albaladejo-Saura conceived and designed the experiments, performed the experiments, analyzed the data, prepared figures and/or tables, authored or reviewed drafts of the paper, and approved the final draft.
- Raquel Vaquero-Cristóbal conceived and designed the experiments, performed the experiments, analyzed the data, authored or reviewed drafts of the paper, and approved the final draft.
- Juan A. García-Roca performed the experiments, authored or reviewed drafts of the paper, and approved the final draft.
- Francisco Esparza-Ros conceived and designed the experiments, performed the experiments, authored or reviewed drafts of the paper, and approved the final draft.

## Human Ethics

The following information was supplied relating to ethical approvals (i.e., approving body and any reference numbers):

The San Antonio Catholic University granted Ethical approval to carry out the study (Code number: CE061921)

## Data Availability

The following information was supplied regarding data availability:

The raw measurements are available in the [Supplementary File](#).

## Supplemental Information

Supplemental information for this article can be found online at <http://dx.doi.org/10.7717/peerj.13216#supplemental-information>.

## REFERENCES

- Albaladejo-Saura M, Vaquero-Cristóbal R, García-Roca JA, Esparza-Ros F. 2022.** The effect of age, biological maturation and birth quartile in the kinanthropometric and physical fitness differences between male and female adolescent volleyball players. *Children* **9**(1):58 DOI [10.3390/children9010058](https://doi.org/10.3390/children9010058).
- Albaladejo-Saura M, Vaquero-Cristóbal R, González-Gálvez N, Esparza-Ros F. 2021.** Relationship between biological maturation, physical fitness, and kinanthropometric variables of young athletes: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **18**(1):328 DOI [10.3390/ijerph18010328](https://doi.org/10.3390/ijerph18010328).
- Albaladejo-Saura M, Vaquero-Cristóbal R, Marcos-Pardo PJ, Esparza-Ros F. 2020.** Effect of an injury prevention program on the lower limb stability in young volleyball players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* **61**(7):943–952 DOI [10.23736/S0022-4707.20.11477-4](https://doi.org/10.23736/S0022-4707.20.11477-4).

- Arede J, Paulo Ferreira A, Gonzalo-Skok O, Leite N. 2019.** Maturational development as a key aspect in physiological performance and national-team selection in elite male basketball players. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 14(7):902–910 DOI 10.1123/ijsp.2018-0681.
- Carter JEL, Heath BH. 1990.** *Somatotyping: development and application*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Castro-Piñero J, Girela-Rejón MJ, González-Montesinos JL, Mora J, Conde-Caveda J, Sjöström M, Ruiz JR. 2013.** Percentile values for flexibility tests in youths aged 6 to 17 years: influence of weight status. *European Journal of Sport Science* 13(2):139–148 DOI 10.1080/17461391.2011.606833.
- Chena Sinovas M, Pérez-López A, Álvarez Valverde I, Bores Cerezal A, Ramos-Campo DJ, Rubio-Arias J, Valadés Cerrato D. 2015.** Influence of body composition on vertical jump performance according with the age and the playing position in football players. *Nutricion Hospitalaria* 32(1):299–307 DOI 10.3305/nh.2015.32.1.8876.
- Cole TJ. 2018.** Optimal design for longitudinal studies to estimate pubertal height growth in individuals. *Annals of Human Biology* 45(4):314–320 DOI 10.1080/03014460.2018.1453948.
- Cruz-Ferreira AI, Lino C, Azevedo J. 2009.** Effects of three months of Pilates based exercise in women on body composition. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 41:16–17.
- Díaz-Soler MÁ, Vaquero-Cristóbal R, Espejo-Antúnez L, López-Miñarro PA. 2015.** The effect of a warm-up protocol on the sit-and-reach test score in adolescent students. *Nutricion Hospitalaria* 31:2618–2623.
- Dugdale JH, McRobert AP, Unnithan VB. 2021.** “He’s Just a Wee Laddie”: the relative age effect in male Scottish soccer. *Frontiers in Psychology* 12:633469 DOI 10.3389/fpsyg.2021.633469.
- Dugdale JH, Sanders D, Myers T, Williams AM, Hunter AM. 2021.** Progression from youth to professional soccer: a longitudinal study of successful and unsuccessful academy graduates. *The Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 31(Suppl 1):73–84 DOI 10.1111/sms.13701.
- Esparza-Ros F, Vaquero-Cristóbal R, Marfell-Jones M. 2019.** *International standards for anthropometric assessment*. Murcia: International Society for Advancement in Kinanthropometry.
- Fitts RH, McDonald KS, Schluter JM. 1991.** The determinants of skeletal muscle force and power: their adaptability with changes in activity pattern. *The Journal of Biomechanics* 24(Suppl 1):111–122 DOI 10.1016/0021-9290(91)90382-w.
- Handelsman DJ, Hirschberg AL, Bermon S. 2018.** Circulating testosterone as the hormonal basis of sex differences in athletic performance. *Endocrine Reviews* 39(5):803–829 DOI 10.1210/er.2018-00020.
- Hertzog M, Paul DJ, Nassis GP, Silva JR. 2018.** Does early recruitment predict greater physical performance in academy soccer players? *Sports* 6(4):108 DOI 10.3390/sports6040108.

- Holway FE, Garavaglia R. 2009.** Kinanthropometry of Group I rugby players in Buenos Aires, Argentina. *Journal of Sports Sciences* 27(11):1211–1220 DOI 10.1080/02640410903207408.
- Hraski M, Hraski Ž, Mrakovi S, Horvat V. 2015.** Relation between anthropometric characteristics and kinematic parameters which influence standing long jump efficiency in boys and adolescents. *Collegium Antropologicum* 39(Suppl 1):47–55.
- Jeras NMJ, Bovend'Eerd T, McCrum C. 2020.** Biomechanical mechanisms of jumping performance in youth elite female soccer players. *Journal of Sports Sciences* 38(11–12):1335–1341 DOI 10.1080/02640414.2019.1674526.
- Katić R, Grgantov Z, Jurko D. 2006.** Motor structures in female volleyball players aged 14–17 according to technique quality and performance. *Collegium Antropologicum* 30(1):103–112.
- Klaver M, De Blok CJM, Wiepjes CM, Nota NM, Dekker MJH, De Mutsert R, Schreiner T, Fisher AD, T'Sjoen G, Den Heijer M. 2018.** Changes in regional body fat, lean body mass and body shape in trans persons using cross-sex hormonal therapy: results from a multicenter prospective study. *European Journal of Endocrinology* 178(2):163–171 DOI 10.1530/EJE-17-0496.
- López-Plaza D, Alacid F, Muyor JM, López-Miñarro P. 2017a.** Differences in anthropometry, biological age and physical fitness between young elite kayakers and canoeists. *The Journal of Human Kinetics* 57:181–190 DOI 10.1515/hukin-2017-0059.
- López-Plaza D, Alacid F, Muyor JM, López-Miñarro P. 2017b.** Sprint kayaking and canoeing performance prediction based on the relationship between maturity status, anthropometry and physical fitness in young elite paddlers. *Journal of Sports Sciences* 35(11):1083–1090 DOI 10.1080/02640414.2016.1210817.
- Malina RM, Bouchard C. 1991.** *Growth, maturation, and physical activity*. Champaign: Human Kinetics Books.
- Malina RM, Choh AC, Czerwinski SA, Chumlea WC. 2016.** Validation of maturity offset in the fels longitudinal study. *Pediatric Exercise Science* 28(3):439–455 DOI 10.1123/pes.2015-0090.
- Malina RM, Coelho-E-Silva MJ, Martinho DV, Sousa-E-Siva P, Figueiredo AJ, Cumming SP, Koziel SM. 2021.** Observed and predicted ages at peak height velocity in soccer players. *PLOS ONE* 16(7):e0254659 DOI 10.1371/journal.pone.0254659.
- Matiegka J. 1921.** The testing of physical efficiency. *American Journal of Physical Anthropology* 4:223–230 DOI 10.1002/ajpa.1330040302.
- Mirwald RL, Baxter-Jones AD, Bailey DA, Beunen GP. 2002.** An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 34(4):689–694.
- Muyor JM, Vaquero-Cristóbal R, Alacid F, López-Miñarro PA. 2014.** Criterion-related validity of sit-and-reach and toe-touch tests as a measure of hamstring extensibility in athletes. *The Journal of Strength and Conditioning Research* 28(2):546–555 DOI 10.1519/JSC.0b013e31829b54fb.

- Ohlsson C, Bengtsson BA, Isaksson OG, Andreassen TT, Slootweg MC. 1998.** Growth hormone and bone. *Endocrine Reviews* **19**(1):55–79 DOI [10.1210/edrv.19.1.0324](https://doi.org/10.1210/edrv.19.1.0324).
- Pion J, Segers V, Franssen J, Debuyck G, Deprez D, Haerens L, Vaeyens R, Philippaerts R, Lenoir M. 2015.** Generic anthropometric and performance characteristics among elite adolescent boys in nine different sports. *European Journal of Sport Science* **15**(5):357–366 DOI [10.1080/17461391.2014.944875](https://doi.org/10.1080/17461391.2014.944875).
- Poortmans JR, Boisseau N, Moraine JJ, Moreno-Reyes R, Goldman S. 2005.** Estimation of total-body skeletal muscle mass in children and adolescents. *Medicine & Science in Sports & Exercise* **37**(2):316–322 DOI [10.1249/01.mss.0000152804.93039.ce](https://doi.org/10.1249/01.mss.0000152804.93039.ce).
- Romero-Franco N, Jiménez-Reyes P, Castaño Zambudio A, Capelo-Ramírez F, Rodríguez-Juan JJ, González-Hernández J, Toscano-Bendala FJ, Cuadrado-Peñafiel V, Balsalobre-Fernández C. 2017.** Sprint performance and mechanical outputs computed with an iPhone app: comparison with existing reference methods. *European Journal of Sport Science* **17**(4):386–392 DOI [10.1080/17461391.2016.1249031](https://doi.org/10.1080/17461391.2016.1249031).
- Rommers N, Mostaert M, Goossens L, Vaeyens R, Witvrouw E, Lenoir M, D’Hondt E. 2019.** Age and maturity related differences in motor coordination among male elite youth soccer players. *Journal of Sports Sciences* **37**(2):196–203 DOI [10.1080/02640414.2018.1488454](https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1488454).
- Ross WD, Drinkwater DT, Bailey DA, Marshall GR, Leahy RM. 1980.** Kinanthropometry: traditions and new perspectives. In: Beunen G, Ostyn M, Simon J, eds. *Kinanthropometry II*. Arkansas: University Oark Press, 1–27.
- Saenger P. 2003.** Dose effects of growth hormone during puberty. *Hormone Research in Paediatrics* **60**(Suppl 1):52–57 DOI [10.1159/000071226](https://doi.org/10.1159/000071226).
- Sandhu J, Ben-Shlomo Y, Cole TJ, Holly J, Davey Smith G. 2005.** The impact of childhood body mass index on timing of puberty, adult stature and obesity: a follow-up study based on adolescent anthropometry recorded at Christ’s Hospital (1936–1964) [Pediatric Highlight]. *International Journal of Obesity* **30**:14–22 DOI [10.1038/sj.ijo.0803156](https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0803156).
- Sarro KJ, Brioschi FR, Andre Barbosa de Lira C, Andrade MDS, Vancini RL. 2019.** Frequency and associated factors of poor knee alignment in young Brazilian volleyball players. *The Physician and Sportsmedicine* **47**(3):353–356 DOI [10.1080/00913847.2019.1590084](https://doi.org/10.1080/00913847.2019.1590084).
- Sherar LB, Mirwald RL, Baxter-Jones AD, Thomis M. 2005.** Prediction of adult height using maturity-based cumulative height velocity curves. *The Journal of Pediatrics* **147**(4):508–514 DOI [10.1016/j.jpeds.2005.04.041](https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2005.04.041).
- Slaughter MH, Lohman TG, Boileau RA, Horswill CA, Stillman RJ, Van Loan MD, Bembem DA. 1988.** Skinfold equations for estimation of body fatness in children and youth. *Human Biology* **60**:709–723.
- Towilson C, Cogley S, Midgley AW, Garrett A, Parkin G, Lovell R. 2017.** Relative age, maturation and physical biases on position allocation in elite-youth soccer. *International Journal of Sports Medicine* **38**(3):201–209 DOI [10.1055/s-0042-119029](https://doi.org/10.1055/s-0042-119029).

- Towlson C, Salter J, Ade JD, Enright K, Harper LD, Page RM, Malone JJ. 2021.** Maturity-associated considerations for training load, injury risk, and physical performance in youth soccer: one size does not fit all. *The Journal of Sport and Health Science* **10**(4):403–412 DOI [10.1016/j.jshs.2020.09.003](https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.09.003).
- Tsoukos A, Drikos S, Brown LE, Sotiropoulos K, Veligeas P, Bogdanis GC. 2019.** Upper and lower body power are strong predictors for selection of male junior national volleyball team players. *The Journal of Strength and Conditioning Research* **33**(10):2760–2767 DOI [10.1519/JSC.0000000000002472](https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002472).
- Valente-Dos-Santos J, Coelho-E-Silva MJ, Vaz V, Figueiredo AJ, Capranica L, Sherar LB, Elferink-Gemser MT, Malina RM. 2014.** Maturity-associated variation in change of direction and dribbling speed in early pubertal years and 5-year developmental changes in young soccer players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* **54**(3):307–316.
- Vaquero-Cristóbal R, Alacid F, Esparza-Ros F, López-Plaza D, Muyor JM, López-Miñarro PA. 2016.** The effects of a reformer Pilates program on body composition and morphological characteristics in active women after a detraining period. *Women Health* **56**(7):784–806 DOI [10.1080/03630242.2015.1118723](https://doi.org/10.1080/03630242.2015.1118723).
- Wickel EE, Eisenmann JC. 2007.** Maturity-related differences in physical activity among 13- to 14-year-old adolescents. *Pediatric Exercise Science* **19**(4):384–392 DOI [10.1123/pes.19.4.384](https://doi.org/10.1123/pes.19.4.384).
- Zhao K, Hohmann A, Chang Y, Zhang B, Pion J, Gao B. 2019.** Physiological, anthropometric, and motor characteristics of elite chinese youth athletes from six different sports. *Frontiers in Physiology* **10**:405 DOI [10.3389/fphys.2019.00405](https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00405).