

# **BASES DEL ACONDICIONAMIENTO FÍSICO PARA FISIOTERAPEUTAS**

*2º Edición*

*Dr. Juan José Rodríguez-Juan*

*Dr. Juan Diego Ruíz-Cárdenas*



# **Bases del Acondicionamiento Físico para Fisioterapeutas**

*Dr. Juan José Rodríguez Juan*  
*Dr. Juan Diego Ruiz Cárdenas*

Bases del Acondicionamiento Físico para Fisioterapeutas., 2020, 2a edición

ISBN: 978-84-09-18237-4

Impreso en España / *Printed in Spain*

Editado por Juan José Rodríguez Juan

Según lo dispuesto en la Ley de Propiedad Intelectual (Real Decreto Legislativo 1/1996, de 12 de abril), quedan inscritos en el Registro de la Propiedad Intelectual de la Región de Murcia (Ministerio de Cultura y Deporte) los derechos de propiedad intelectual en la forma que se determina seguidamente: NÚMERO DE ASIENTO REGISTRAL 08 / 2020 / 30.



*A todos nuestros alumnos.*



# Índice de contenidos

Capítulo 1: Introducción a la teoría del acondicionamiento físico .....	9
1.1. Justificación y Contexto del Acondicionamiento Físico en la fisioterapia. ....	9
1.2. Definición del concepto de Acondicionamiento Físico. ....	10
1.3. Actividad física, Ejercicio físico y Deporte. ....	11
Capítulo 2: Principios fundamentales del acondicionamiento físico .....	15
1. Principio de seguridad .....	15
2. Principios de sobrecarga progresiva, recuperación, periodización y variación. ....	16
3. Principio de Unidad Funcional .....	23
4. Principio de Especificidad.....	25
5. Principio de Individualización.....	26
6. Principio de Multilateralidad.....	29
7. Principio de Variedad en la práctica .....	30
8. Principio de Participación activa y consciente.....	30
9. Principio de Recuperación .....	31
Capítulo 3: Principios fisiológicos del acondicionamiento físico .....	33
3.1. Control neurológico del movimiento .....	33
3.2. Sistemas energéticos .....	39
3.3. Sistema muscular .....	40
3.4. Sistema cardiovascular y respiratorio .....	45
3.5. La fatiga neuromuscular .....	51
Capítulo 4: Principios biomecánicos del acondicionamiento físico .....	53
4.1. Modificaciones en la relación fuerza-tiempo .....	54
4.2. Modificaciones en la relación longitud-tensión .....	56
4.3. Modificaciones en la relación potencia-fuerza-velocidad.....	60
4.3. Otras áreas de la biomecánica.....	62
Capítulo 5: Entrenamiento de las cualidades físicas: Fuerza .....	63
Capítulo 6: Entrenamiento de las capacidades físicas: Resistencia .....	73
Capítulo 7: Entrenamiento de las cualidades física: Coordinación .....	79
Capítulo 8: Entrenamiento de las cualidades físicas: Flexibilidad.....	81
Capítulo 9: Entrenamiento de las cualidades físicas: Velocidad.....	85





# Capítulo 1: Introducción a la teoría del acondicionamiento físico

## 1.1. Justificación y Contexto del Acondicionamiento Físico en la fisioterapia.

El origen del ejercicio físico como agente terapéutico data de tiempos casi inmemoriales. Aunque muchos autores consideran el origen de la historia de la fisiología del ejercicio con Hipócrates (460 - 370 a.C.) para después mencionar a Galeno (129 – 201/216 d.C) y las contribuciones de Roma, en realidad, los datos escritos más antiguos que hacían referencia a la salud datan de un periodo de tiempo comprendido entre el 4000 a.C. hasta el 1500 a.C. (era de los Vedas o Periodo Védico), de las primeras civilizaciones con escritura surgidas, al igual que en Mesopotamia, en el valle del río Indo (oeste de Pakistán, norte de India).



De especial importancia para nuestra temática de estudio es que ya en esta época se consideró que el funcionamiento equilibrado del cuerpo humano podría verse alterado por diversos factores tales como los cambios climáticos, la selección de comidas, la fatiga, los cambios psíquicos, los estilos de vida sedentarios y el ejercicio físico. **Susruta** (600 a.C.) definió ejercicio como “sensación de cansancio causada por el trabajo físico que debe tenerse todos los días”. Fue el primer médico conocido en **prescribir ejercicio** “moderado en naturaleza o en intensidad que causará una respiración dificultosa”. Susruta se refirió a ejercicios tales como caminar, correr, saltar, nadar, luchar o lanzar. Para la prescripción de ejercicio físico, Susruta decía que se debía tener en cuenta la edad, la fuerza, el estado físico, la dieta, así como la temporada del año. Este médico se opuso fuertemente al exceso en el ejercicio, que

era interpretado como ejercicio máximo o pesado continuado (1), por lo que se puede decir que Susruta sabía la necesidad de controlar la **magnitud de la carga** de trabajo para provocar los efectos deseados en el organismo.

En su esencia, la visión premonitoria de Susruta pervive en nuestros días. Hoy día es bien reconocido por las principales fuentes del conocimiento científico que el ejercicio físico tiene fuertes efectos terapéuticos múltiples afecciones de carácter médico o quirúrgico, así como un enorme potencial en la prevención de diversas enfermedades y lesiones. Además, entre sus múltiples ventajas se pueden destacar el carácter asequible, accesible e inocuo que la convierten en una herramienta para cualquier colectivo poblacional.

**En este contexto se hace necesario que el profesional sanitario encargado de prescribir y controlar el ejercicio terapéutico tenga las bases teórico-prácticas necesarias para conseguir un resultado precoz, seguro y favorable en el camino hacia la rehabilitación.**

El principal objetivo del ejercicio terapéutico es recuperar de manera plena, segura y precoz al paciente basándose en métodos activos fundamentados en la evidencia controlando de manera estratégica todo el proceso.

## **1.2. Definición del concepto de Acondicionamiento Físico.**

*Acondicionar* es disponer o preparar algo de manera adecuada. Por lo tanto, el acondicionamiento físico podría considerarse como la estrategia llevada a cabo para optimizar el rendimiento físico de un sujeto a través de la organización y el control de la actividad física; es decir, a través del ejercicio físico.

Originariamente, el concepto de acondicionamiento físico ha estado ligado casi de manera exclusiva a la preparación física y el entrenamiento deportivo. Sin embargo, en la actualidad, debido al cada vez menos cuestionable potencial del ejercicio físico para la prevención y rehabilitación de multitud de afecciones médicas o quirúrgicas, cualquier profesional de la salud debería poseer también un conocimiento sólido de las bases fundamentales que rigen el acondicionamiento físico.

### 1.3. Actividad física, Ejercicio físico y Deporte.

(i) Se considera *Actividad Física* a todo movimiento corporal que implique un gasto metabólico superior a un estado de reposo (metabolismo basal). Todas las actividades cotidianas (por ejemplo, desplazarse caminando o en bicicleta al trabajo, subir y bajar escaleras, acelerar el ritmo para coger el autobús, hacer la compra, etc.) pueden ser consideradas como actividades físicas.

En la actualidad, las principales autoridades sanitarias internacionales están advirtiéndolo del bajo nivel de actividad física de la población mundial -cada vez más extendida en muchos países- y de las graves consecuencias que esto conlleva para la salud y para la economía. La inactividad física es considerada el cuarto factor de riesgo de la mortalidad mundial (6% de defunciones a nivel mundial). Solamente superada por hipertensión arterial (13%), consumo de tabaco (9%) y el exceso de glucosa en la sangre (6%). Sobrepeso y obesidad representan un 5% de la mortalidad global (2).

*“El nivel de Actividad Física es un potente indicador del estado de salud de una población, además de ser un potente predictor de enfermedad o mortalidad.”*

El **nivel de Actividad Física** es un potente indicador del estado de salud de una población, además de ser un potente predictor de enfermedad o mortalidad. Los individuos más sanos suelen tener vidas más activas, con más movimiento. Por el contrario, la enfermedad está fuertemente vinculada a la inactividad física de modo que el círculo vicioso inactividad-enfermedad constituye uno de los pilares fundamentales de las intervenciones sanitarias en la actualidad. Es por ello por lo que conocer de manera precisa el nivel de actividad física de un paciente o de una población resulta fundamental para establecer estrategias eficaces para la prevención y el tratamiento de enfermedades.

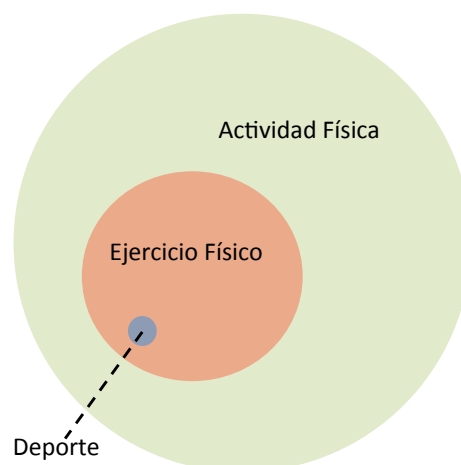
Existen dos procedimientos para caracterizar el nivel de actividad física en un paciente o conjunto poblacional:

Caracterización objetiva del nivel de actividad física: información proveniente de tecnología portable en la indumentaria o wearables (acelerómetros, giroscopios, tecnología GPS, entre otros) que registran la actividad de un sujeto (cliente o paciente) durante un periodo determinado de tiempo (ej. 7 días).

Caracterización subjetiva del nivel de actividad física: información proveniente de formulación de preguntas estandarizadas en un cuestionario y escalas. Existe gran variedad de procedimientos para la caracterización subjetiva de actividad física. Destacan: Cuestionario IPAQ (del inglés; International Physical Activity Questionnaire) o la puntuación Saltin-Grimby (del inglés; Saltin-Grimby Score) (3), entre otros.

(ii) Entendemos por ejercicio físico toda aquella actividad física individualizada, planificada y controlada que persigue la consecución de un determinado fin a través de la mejora de las cualidades físicas. Los objetivos del ejercicio físico pueden estar orientados tanto a la mejora del rendimiento deportivo a través del entrenamiento físico-deportivo, como a la prevención y tratamiento de enfermedades y lesiones en el ámbito sanitario. Es el ejercicio físico una de las armas fundamentales de la fisioterapia moderna y depende del buen manejo simultáneo de las variables de intensidad, duración, cantidad, frecuencia y tipo de ejercicio a lo largo del tiempo.

(iii) Finalmente, deporte es toda aquella actividad física reglada basada en un carácter lúdico (juego) cuyo fin último está fundamentado en la competición. La práctica de un deporte en condiciones óptimas conlleva entrenamiento así como la aceptación de unas normas específicas de cada disciplina deportiva.



Frecuentemente, tanto en la vida cotidiana como en diversos registros literarios, podemos encontrar estos tres términos empleados de manera indiscriminada; como una misma cosa, con iguales significados e, incluso, haciendo uso de una misma definición.

Sin embargo, existen importantes diferencias semánticas entre estos términos que deben ser tenidas en cuenta por sus posibles repercusiones tanto nivel social, como a nivel político-sanitario y clínico.



## Capítulo 2: Principios fundamentales del acondicionamiento físico

El diseño de un programa de ejercicio terapéutico debe respetar tanto el principio de seguridad como los principios fundamentales del acondicionamiento físico:

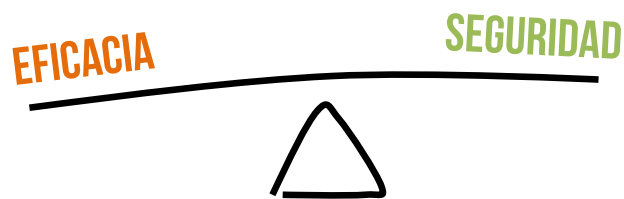
Principios fundamentales del acondicionamiento físico:

1. Principio de **Seguridad**
2. Principio de **Sobrecarga progresiva, Recuperación y Periodización**
3. Principio de **Unidad Funcional**
4. Principio de **Especificidad**
5. Principio de **Individualización**
6. Principio de **Multilateralidad**
7. Principio de **Variedad**
8. Principio de **Participación Activa y Consciente**
9. Principio de **Recuperación y Descanso. Reversibilidad**

### 1. Principio de seguridad

La Seguridad Clínica (o seguridad del paciente), conlleva la minimización del riesgo asociado a cualquier intervención hasta el mínimo aceptable. Esto conlleva: (i) identificar los procedimientos, diagnósticos y terapias más seguros y eficaces (ii) asegurar que se aplican a quien realmente los necesita y (iii) llevarlos a cabo de manera correcta y sin errores por personal cualificado.

El principio de seguridad es un pilar clave en la aplicación del paradigma de la Fisioterapia Basada en la Evidencia científica (Práctica clínica Basada en la Evidencia).



Para cada situación clínica, el fisioterapeuta debe:

- Mantenerse actualizado en el conocimiento científico de la mejor calidad metodológica que evalúe de manera sistematizada el binomio seguridad-eficacia en el contexto de dicha afección médica o quirúrgica.
- Ser capaz de identificar, registrar e informar respecto a los posibles *efectos adversos* (síntomas y signos) que puedan ser consecuencia inmediata o posterior de la práctica de ejercicio terapéutico en relación a una determinada situación clínica.
- Conocer la naturaleza de la tarea motriz prescrita en términos de tipo de ejercicio, cantidad, intensidad y frecuencia, así como sus repercusiones fisiológicas naturales.
- Prescribir ejercicio terapéutico personalizado en función de la edad, el estado de salud (incluyendo comorbilidades) y de la condición física del paciente.
- Ser capaz de enseñar al paciente (educación del paciente) cómo llevar a cabo un ejercicio, proporcionando estrategias que garanticen el correcto aprendizaje motor que garanticen una práctica segura.
- Tener conocimientos actualizados en soporte vital básico.
- Proporcionar información al paciente de los signos y síntomas de alerta. (importancia del *consentimiento informado*).
- Desarrollar la sesión de ejercicio terapéutico en un entorno adecuado.

## 2. Principios de sobrecarga progresiva, recuperación, periodización y variación.

El organismo humano tiene la capacidad la adaptación biológica ante estímulos físicos cuya magnitud resulte superior a lo habitual y a lo cotidiano. Dichas adaptaciones pueden tener un carácter positivo (evolución favorable en el proceso final de rehabilitación) o negativo (sobreentrenamiento) en función de la magnitud de la



carga aplicada. Por ello, el correcto manejo de la magnitud del estímulo será fundamental para tratar de conseguir las adaptaciones positivas deseadas en nuestro paciente, tratando así de garantizar una rehabilitación plena, segura y precoz.

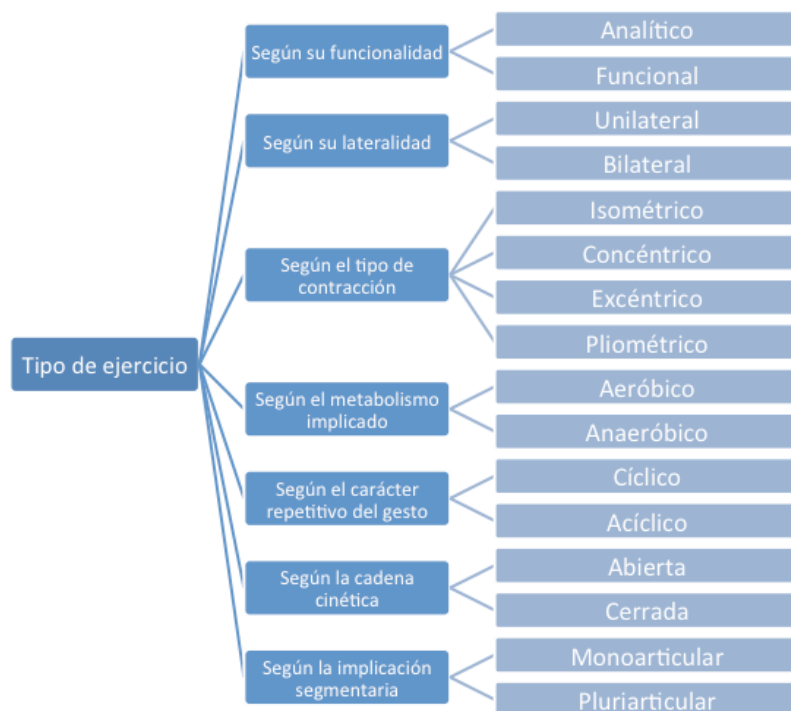
### 2.1. Concepto de carga de entrenamiento:

Hacemos a referencia al concepto «**carga de entrenamiento**» cuando nos referimos a la magnitud del estímulo provocado por un ejercicio o conjunto de ejercicios.

Es fundamental tener en cuenta que la carga de entrenamiento depende de la combinación de múltiples variables:

$$\text{Carga de entrenamiento} = \text{Tipo de ejercicio} * \text{Volumen} * \text{Intensidad} * \text{Frecuencia}$$

A su vez, el **tipo de ejercicio** viene determinado por múltiples factores que deben ser considerados en el diseño de tareas motrices. Algunos de dichos factores están representados en el siguiente gráfico. Todos ellos deben ser tenidos en cuenta el diseño de tareas motrices. El siguiente diagrama muestra algunas de las variables que definen el tipo de ejercicio:



El segundo constructo de dicha ecuación, el concepto **volumen**, hace referencia a la cantidad de ejercicio. Dicha cantidad de ejercicio viene determinada principalmente por las variables de repetición y/o tiempo dedicado a la ejecución de una determinada tarea motriz. Ejemplos de esta variable son: número de repeticiones realizadas, número de series, tiempo total de entrenamiento, tiempo total de carrera, etc.

Por otra parte, la **intensidad** de ejercicio es carácter del esfuerzo aplicado durante la realización de dicha tarea. En términos generales la intensidad puede ser catalogada como ligera, moderada o vigorosa. No obstante, esta variable de carga puede ser controlada tanto subjetivamente (escalas de percepción subjetiva de esfuerzo; ej: RPE<sub>1-10</sub>, RPE<sub>6-20</sub>) como objetivamente (velocidad de ejecución, altura de salto, tiempo invertido en la ejecución, masa desplazada, entre otros).

Finalmente, la **frecuencia (también llamada densidad) de entrenamiento** hace referencia al número de estímulos de entrenamiento por unidad de tiempo. Puesto que es determinante en las respuestas fisiológicas provocadas por el entrenamiento, esta variable ha de ser tenida en cuenta en el diseño de propuestas de entrenamiento. La planificación de un plan de rehabilitación exige contemplar tanto el tiempo entre dos sesiones de entrenamiento contiguas (inter-sesión), como el tiempo de recuperación entre ejercicios o series de un ejercicio (intra-sesión).

#### UNIDADES ARBITRARIAS:

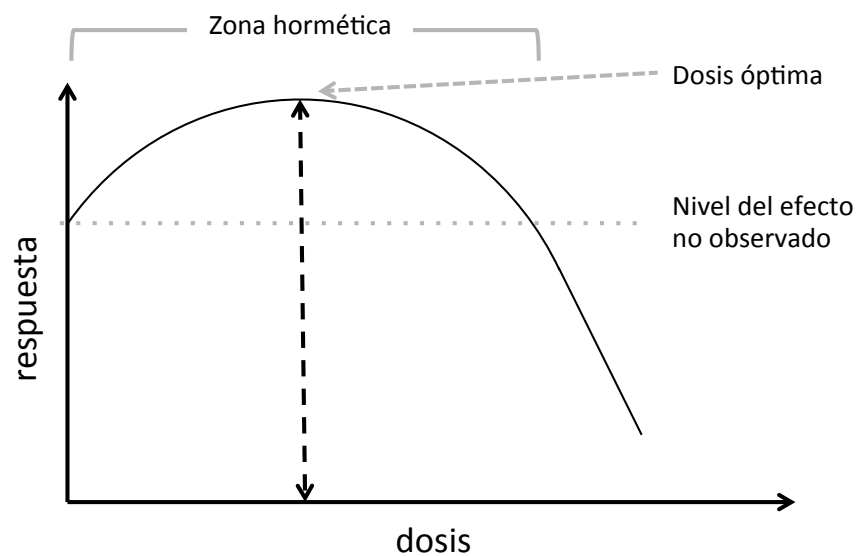
Para una sesión de entrenamiento (o rehabilitación) el resultado de esta ecuación, fruto de la multiplicación de variables, no puede proporcionarse con unidades de medida propias. Por lo tanto, para poder representar la magnitud de la carga de entrenamiento (o rehabilitación) global de una sesión se emplea el concepto **Unidad Arbitraria (UA)** que es la multiplicación de la intensidad por el volumen (o cantidad) de ejercicio.

Por ejemplo, para una sesión de 87 minutos (volumen) con una percepción de esfuerzo (intensidad subjetiva) de 6/10 RPE, los sesión podrá cuantificarse con 522 UA.

La aplicación de una determinada carga supone una perturbación (estrés biológico) en el entorno sistémico y celular que repercute sobre la homeostásis del organismo. Controlar la magnitud de dicha carga es vital con el fin de conseguir los efectos fisiológicos deseados. De las ciencias en toxicología se desprenden un concepto esencial en relación a la cantidad de ejercicio aplicado y la respuesta en el organismo:

## 2.2. Dosis o carga óptima de ejercicio:

**Hormesis:** “proceso por el cual la exposición a una dosis baja de un agente químico o bien un factor ambiental, que es dañino a dosis altas, induce una respuesta adaptativa y/o un efecto benéfico en la célula o el organismo” (4):



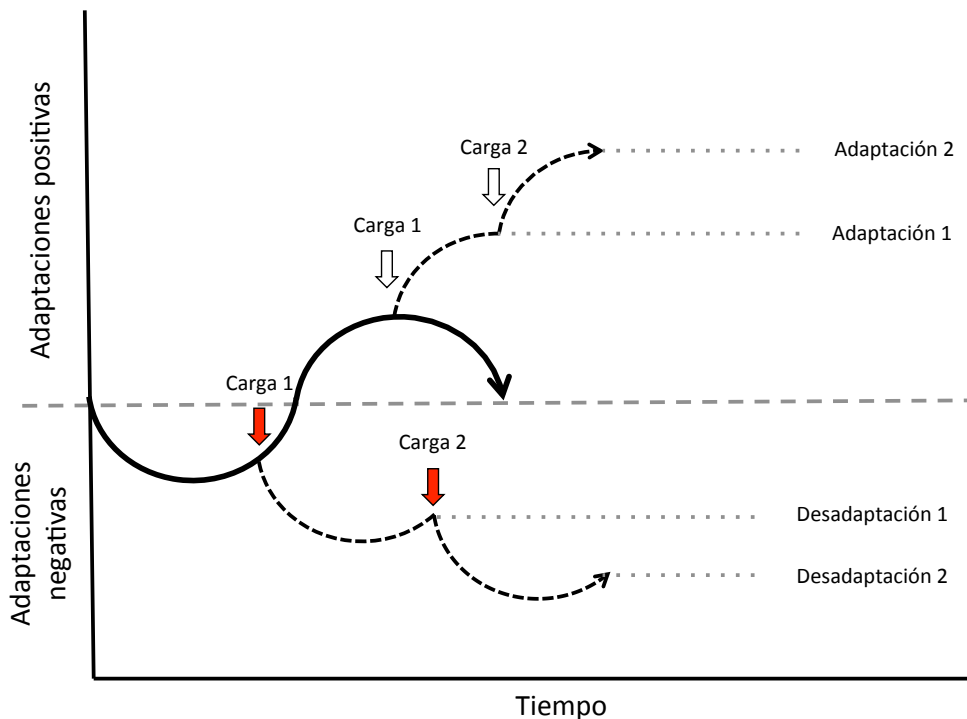
El objetivo del entrenamiento deportivo o el ejercicio terapéutico debe ser buscar la mínima carga que produzca máximas adaptaciones en el organismo. Este es el concepto de **carga óptima**.

La exposición óptima y repetida (crónica) en tiempo a los desequilibrios homeostáticos conducen hacia adaptaciones fisiológicas positivas (supercompensación). Por definición, la prescripción efectiva de ejercicio físico requiere optimización e incremento progresivo en el estrés para conseguir adaptaciones biológicas continuadas (5).

El tiempo transcurrido entre la aplicación de una carga y la aplicación de la siguiente es denominado **tiempo de recuperación** y es una parte fundamental en la generación de respuestas adaptativas positivas en el proceso de entrenamiento. Por lo tanto, la recuperación de la homeostásis biológica depende directamente de las

variables tiempo, magnitud e intensidad de la carga impuesta. Esto significa que el tiempo de recuperación será mayor cuanto mayor sea la magnitud de la carga impuesta (es decir; del tipo de ejercicio, de la cantidad y frecuencia de ejercicio y de la intensidad de ejercicio).

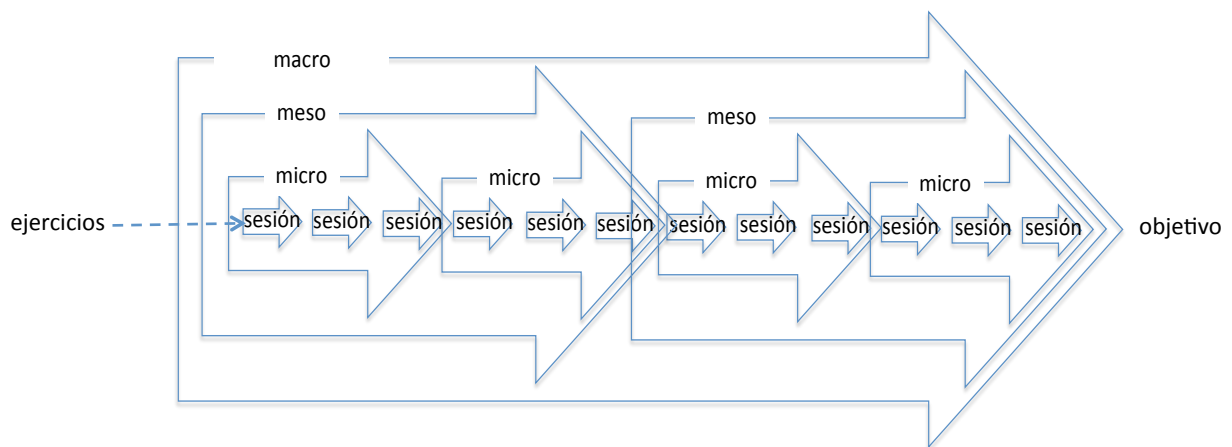
Descanso y nutrición son elementos fundamentales para consolidar la recuperación post-ejercicio. Sin embargo, ciertas técnicas de la terapia física, tales como la crioterapia, electroestimulación, técnicas específicas de masaje, técnicas específicas de contención y vendaje podrían contribuir positivamente al proceso de recuperación (6-8).



### 2.3. Organización temporal de estímulos o periodización del entrenamiento:

La agrupación y organización **lógica, sistemática y flexible** de estímulos de entrenamiento así como de los periodos de descansos (recuperación) lo largo del tiempo (corto, medio y largo plazo) para la consecución de uno o varios objetivos de entrenamiento o de rehabilitación específicos se define como **periodización de la carga de entrenamiento/rehabilitación**. Dicho de un deportista, la periodización

del entrenamiento trata de organizar de manera estratégica propuestas óptimas de entrenamiento para la consecución del máximo rendimiento motor posible en un periodo de tiempo determinado (temporada, evento deportivo, olimpiada, etc.). En un paciente, la periodización es una organización metodológica de contenidos motrices concatenados que tratan de conducir de manera **segura** al sujeto hacia la rehabilitación **plena y precoz**.



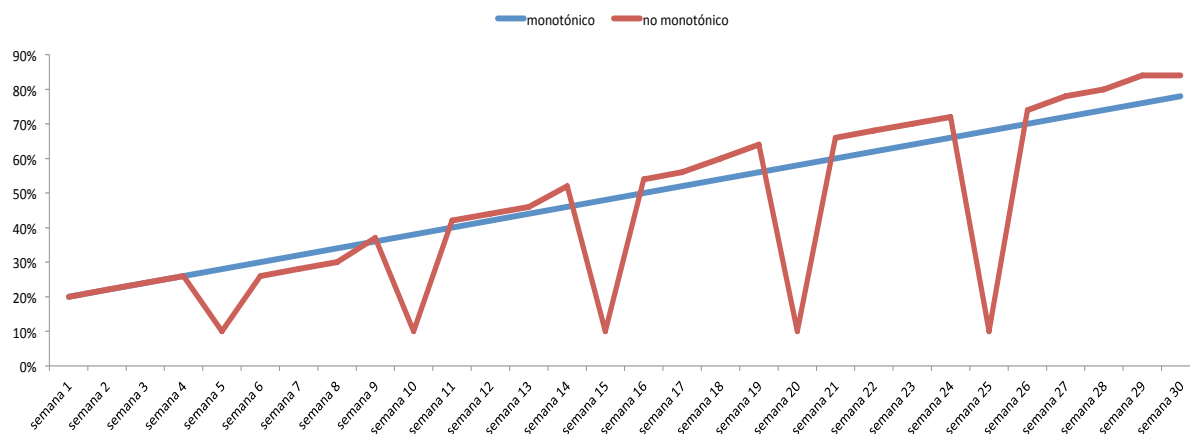
*"Una mayor comprensión de los modelos de periodización puede ayudar al fisioterapeuta (deportivo) en la evaluación y razonamiento clínicos, progresión de ejercicios y establecimiento de objetivos que garanticen el retorno del deportista a la alta competición" (9).*

Existen dos **modelos esenciales de organización** de las cargas de entrenamiento a lo largo del tiempo:

- (i) Organización monotónica o lineal: se trata de un modelo en el que existe un incremento lineal paulatino de las cargas de entrenamiento hacia la consecución de un determinado objetivo. Este modelo de organización podría ser aplicable a aquellas situaciones en las que el sujeto puede avanzar de modo inexorable y sin imprevistos hacia la consecución de un objetivo (deportivo o terapéutico). A modo de ejemplo, sería posible organizar las cargas de entrenamiento o rehabilitación de manera monotónica en deportes individuales donde exista una única competición final y no existan imprevistos durante el proceso (ej. lesiones).

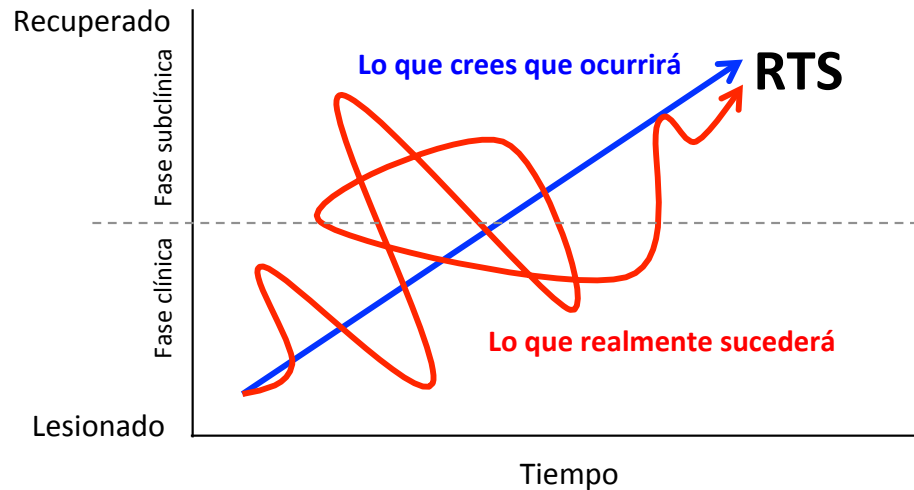
- (ii) Organización no-monotónica: en los que existe una variación en las cargas de entrenamiento a lo largo del tiempo. Este modelo es propio del alto rendimiento deportivo, donde las competiciones se van desencadenando a lo largo de toda una temporada llegando a haber hasta 3 competiciones en una misma semana (ej. fútbol, baloncesto, balonmano, etc.).

En el contexto de la rehabilitación a través de ejercicio terapéutico, debido a la sucesión de imprevistos a lo largo de un proceso de rehabilitación, el modelo monotónico podría considerarse utópico siendo imprescindible contemplar los altibajos propios de cualquier proceso recuperador (recidivas en una lesión musculoesquelética, ciclos de quimioterapia en pacientes con cáncer, etc.) en un modelo que necesariamente será no-monotónico.



### \* Principio de reversibilidad:

Adicionalmente, desde una perspectiva clínica es importante considerar por parte del paciente y también del fisioterapeuta que las desadaptaciones suelen ser parte concomitante de los procesos de rehabilitación, de modo que en muchas ocasiones los tratamientos no evolucionan linealmente hacia el éxito definitivo, sino que en la mayoría de los casos se ven afectados por múltiples factores (ej. recidivas, ciclos de tratamiento médico) que frenan o revierten la recuperación del paciente. En este contexto resulta de vital importancia concienciar al paciente de las dificultades que, con mucha probabilidad, surgirán por el camino (10):

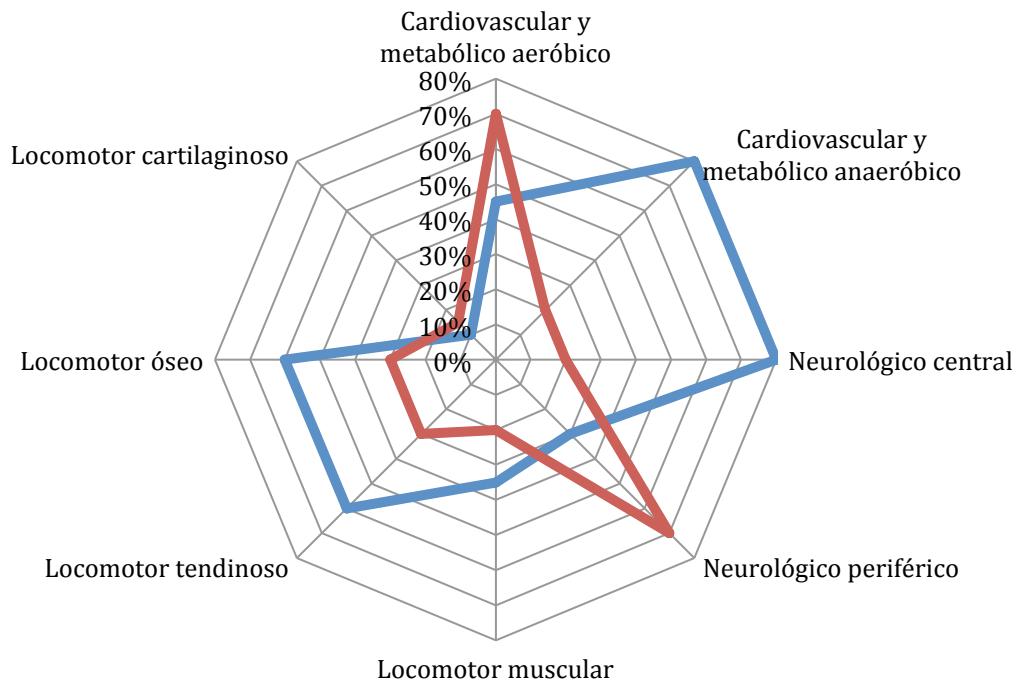


Existe una gran relación entre incrementos desproporcionados en la carga de entrenamiento y riesgo de lesión o recidiva. El modelo de Blanch y Gabbet (2016) podría considerarse una de las claves en la progresión individualizada de las cargas de entrenamiento a lo largo de una temporada (11), (12) o un periodo de rehabilitación.

👁 Lecturas adicionales recomendadas: (11), (12), (9)

### 3. Principio de Unidad Funcional

Este principio hace referencia a que el organismo se comporta como una totalidad indisoluble. Cualquier expresión de motricidad (cualquier ejercicio) tiene una repercusión sobre el conjunto, de manera que es imposible incidir de forma aislada sobre una de las partes que conforman este conjunto.



Este principio tiene una gran trascendencia en el diseño de tareas motrices, de manera que no se puede olvidar que las propuestas motrices ofrecidas a un paciente inciden tanto en los tejidos que marcan el objetivo de rehabilitación (recuperar una tendinopatía) como en otros tejidos y funciones que conforman el todo (por ejemplo, tejido cartilaginoso).

De este modo, por ejemplo, la rehabilitación basada en ejercicio terapéutico orientada a la recuperación de una tendinopatía aquilea tendrá una cierta repercusión en otros tejidos; por ejemplo en el tejido cartilaginoso meniscal o patelar si el ejercicio elegido es una sentadilla.



**Entrenamiento Concurrente o Efecto de interferencia** hace referencia a interacción en los efectos fisiológicos provocados por el entrenamiento simultáneo de dos o más cualidades físicas. A pesar de los beneficios potenciales aditivos de la combinación de entrenamientos de diferentes cualidades físicas con vistas a la prevención, la recuperación o el rendimiento atlético, la evidencia existente sugiere que el entrenamiento simultáneo de dos o más cualidades físicas en una misma sesión podría atenuar las ganancias propias del entrenamiento aislado de cada una de las cualidades físicas. Este efecto de interferencia ha sido ampliamente estudiado entre las cualidades físicas de la fuerza y la resistencia (13, 14). Asimismo, existen un gran debate en la concurrencia entre fuerza y flexibilidad.

#### 4. Principio de Especificidad

El principio de especificidad, también conocido como **principio de Adaptación Específica a las Demandas Impuestas (o SAID; del inglés: *Specific Adaptation to Imposed Demands*)**, establece que, aunque cualquier propuesta motriz tiene una repercusión global sobre el conjunto (principio de unidad funcional), el entrenamiento continuado de una determinada tarea motriz (en términos de articulaciones implicadas, rangos articulares, velocidades de ejecución, metabolismo empleado, contexto en el que se produce) desemboca en efectos de entrenamiento altamente específicos.

A modo de ejemplos: el entrenamiento de los miembros superiores tendrá grandes efectos sobre las capacidades de miembros superiores, siendo considerablemente menor el efecto sobre los miembros inferiores. Asimismo, el entrenamiento de la marcha hará eficiente a un paciente anciano en la marcha, pero tendrá un efecto menor sobre la capacidad de levantarse de una silla, por ejemplo. Finalmente, el entrenamiento de la carrera continua en un deportista en fase de rehabilitación tras una lesión de la rodilla hará al paciente deportista altamente eficiente en tarea motriz de la carrera continua, pero no garantiza nada en otros gestos motrices habituales para dicho sujeto tales como los cambios de dirección, aceleraciones o saltos.

Este principio puede considerarse como la “hoja de ruta” del camino hacia la recuperación de un paciente, de modo que la especificidad, o similitud con el gesto motriz cotidiano para un paciente, marca el objetivo final del proceso de rehabilitación. De este modo, con el fin de proporcionar de manera efectiva estímulos que resulten funcionales para el paciente, el fisioterapeuta deberá conocer las características técnicas y funcionales del gesto o gestos que resulten cotidianos para el paciente.

## 5. Principio de Individualización

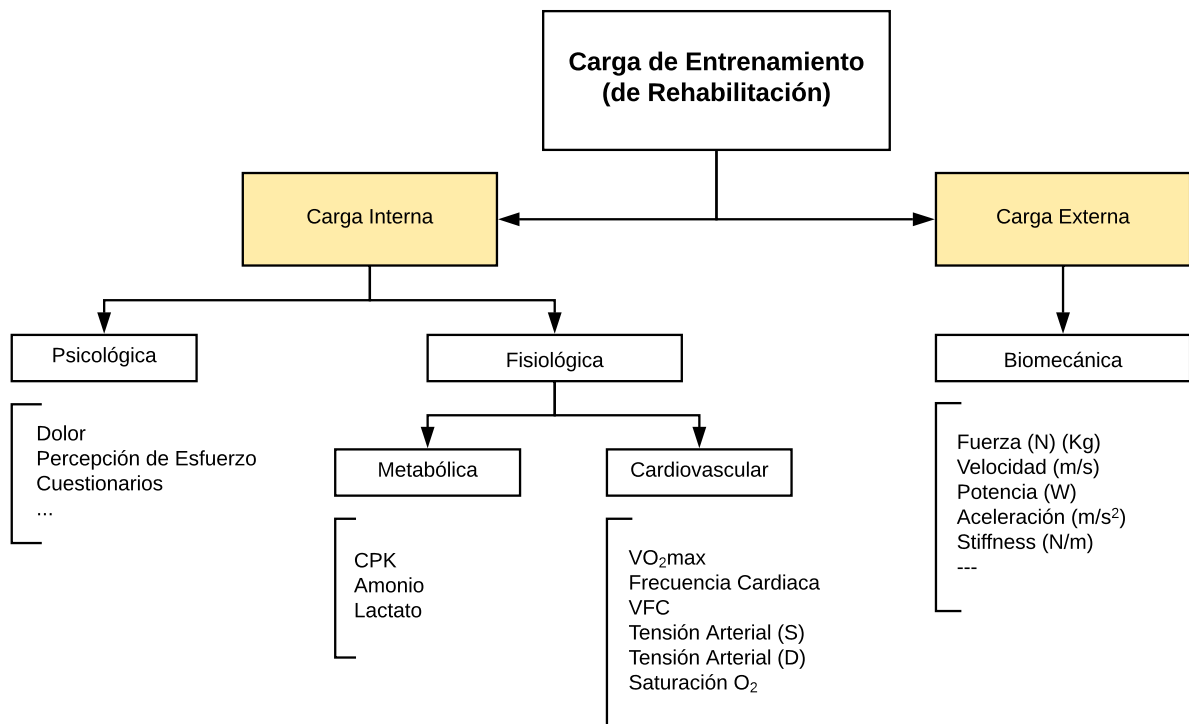
El desarrollo del principio de individualización conlleva la aplicación ajustada en tiempo y forma del entrenamiento hacia el estado fisiológico y funcional particular de cada paciente.

Debido a que, incluso en las cohortes de ensayos clínicos mejor seleccionadas, la alta heterogeneidad de los pacientes (en términos de función cardiopulmonar, estilo de vida, edad, tratamientos previos, comorbilidades concomitantes y, por supuesto, predisposición genética) es una característica natural de cualquier población, la prescripción de ejercicio genérica que falle al considerar tales parámetros resultará imprecisa y, en consecuencia, excesiva, insuficiente o insegura (15).

En este contexto, la **monitorización** de la carga de trabajo es considerada muy importante para determinar si el sujeto (paciente o deportista) se está adaptando al programa de entrenamiento (o de recuperación), minimizando así el riesgo de extralimitación funcional, sobreentrenamiento (fatiga que perdura de semanas a meses), , que conduzcan a la lesión o la enfermedad (16).

### 5.1. Tipos de carga de entrenamiento:

La monitorización del trabajo se puede llevar a cabo en términos de **carga externa o interna**. *Carga externa*: propuesta de trabajo completado por un sujeto, medida de manera independiente a su comportamiento fisiológico. *Carga interna*: carga de trabajo relativa al estrés fisiológico y psicológico. Ambos tipos de carga deben ser tenidos en cuenta para comprender la carga de trabajo total de un deportista. De este modo, la relación entre cargas externas e internas pueden ayudar a revelar la fatiga (16).



El principal objetivo de la monitorización de la carga es identificar el momento en que se establece una posible disociación entre la carga externa –previamente programada por el entrenador (o el rehabilitador)– y la verdadera repercusión fisiológica (carga interna) de una propuesta de entrenamiento.

Existen diversos métodos para la monitorización de la carga externa:

- Dispositivos: potenciómetros, plataformas de fuerza, plataformas de contacto, dinamometría isocinética e isoinercial, sistemas de posicionamiento (GPS), análisis de vídeo, acelerómetros.
- Variables de resultado: potencia (y derivados), fuerza (y derivados), velocidad (y derivados), aceleración, distancia total, altura de salto, tiempo de vuelo, tiempo de contacto, tasa de desarrollo de fuerza.

Por otra parte, la monitorización de la carga interna se lleva a cabo a través de:

- Dispositivos o métodos: escala de esfuerzo percibido durante un ejercicio, índice de esfuerzo percibido durante la sesión (RPE \* tiempo total de la sesión), pulsómetros, medidores de lactato en sangre, cuestionarios y diarios de entrenamiento, cuestionarios de sueño.
- Variables de resultado: percepción subjetiva de esfuerzo (del inglés; *rating of perceived exertion* o RPE), Frecuencia cardiaca, tasa frecuencia cardidaca /RPE, concentraciones de lactato, tasa lactato /RPE, recuperación de la frecuencia cardiaca post-ejercicio, variabilidad de la frecuencia cardiaca

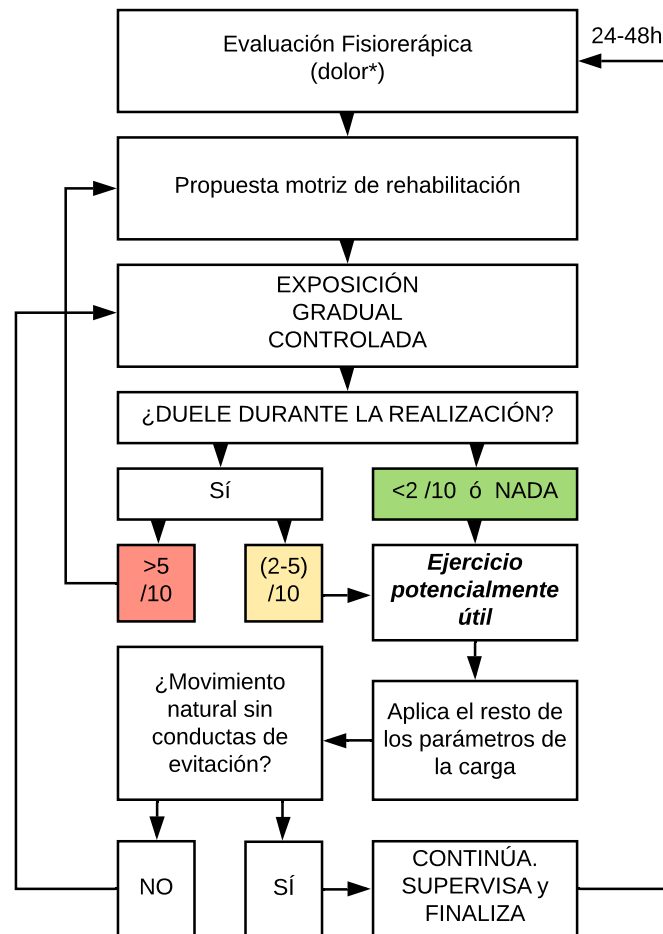
### Percepción subjetiva de esfuerzo (Rating Perceived Exertion o RPE):

Del ejercicio: se trata del empleo de escalas numéricas de sensación de esfuerzo percibido. Los rangos de dichas escalas pueden variar según el tipo de esfuerzo. De este modo, las escalas 1-10 (donde; 1 es una intensidad percibida como muy suave, donde 5 es un esfuerzo leve-moderado, y 10 corresponde con un esfuerzo máximo) son frecuentemente utilizadas en entrenamiento de fuerza, mientras que las escalas 6-20 (donde; 6 intensidad muy ligera) son escalas habitualmente utilizadas en entrenamiento de la cualidad resistencia.

De la sesión (= RPE de la sesión \* tiempo de la sesión). Este método se ha descrito como una herramienta fácil y válida para evaluar la carga interna (17).

👁 Lectura recomendada: *Guía práctica de monitorización de entrenamiento*. (18)

## 5.2. Algoritmo de individualización del ejercicio terapéutico:



Las propuestas motrices que el fisioterapeuta debe diseñar en cada sesión de rehabilitación parten del paradigma de la «**exposición gradual controlada**», así como del control de los parámetros de carga, de la supervisión y de la retroalimentación proporcionada por el paciente durante y posterior a la sesión de rehabilitación. Por ello, se puede afirmar que no existe ejercicio modélico invariable y que las afirmaciones tales como: “la sentadilla profunda es el mejor ejercicio” podemos catalogarlas de sesgadas, genéricas, imprecisas, y por ello, con alta probabilidad de no adaptarse a las necesidades particulares del sujeto en un momento determinado.

## 6. Principio de Multilateralidad

El principio de multilateralidad hace referencia al desarrollo armónico de todas las cualidades y capacidades del organismo.

En términos generales, se considera que la iniciación deportiva en la niñez debe tener un carácter multilateral para facilitar la consecución de un desarrollo psicomotor pleno que garanticen un rendimiento máximo en etapas maduras de la formación del deportista.

En el contexto de la rehabilitación, debido a que las afecciones del sistema locomotor conllevan una alteración del esquema motor (disminución o aumento de la *variabilidad motora* en afecciones musculoesqueléticas crónicas y agudas; respectivamente), en los estadios iniciales de un proceso rehabilitador, se considera necesario trabajar desde la multilateralidad (riqueza en la variedad de estímulos: variedad de rangos articulares, de planos de movimiento, de estrategias coordinativas, entre otros ) que resulten de base sobre la que trazar posteriormente el camino hacia la especificidad.

## 7. Principio de Variedad en la práctica

El organismo se adapta rápidamente a las nuevas demandas impuestas, de modo que siempre se requieren nuevos estímulos para generar adaptaciones. El principio de variedad sugiere que cambios menores (en volumen, intensidad, tipo de ejercicio o inclusión de jornadas de descanso, cambio de contexto, entre otros) a lo largo de un plan entrenamiento o de rehabilitación favorecen la consecución continuada de ganancias en el rendimiento.

Además, es fundamental conocer que la variedad en la práctica juega un papel fundamental en la generación de **adherencia al tratamiento** (o “grado en que el comportamiento de una persona se corresponde con las recomendaciones acordadas de un prestador de asistencia sanitaria”, según la OMS).

## 8. Principio de Participación activa y consciente

Para el cumplimiento del principio de participación activa y consciente, el paciente debe ser conocedor de los objetivos de entrenamiento/tratamiento, así como de los medios empleados para la consecución de dichos objetivos. El cumplimiento de este principio facilita la **adherencia, la motivación, la cooperación y trabajo autónomo** por parte del paciente.

Resulta favorecedor que el deportista o el paciente adopte un papel proactivo en el proceso de entrenamiento deportivo o la rehabilitación; respectivamente.

Para la consecución de este objetivo es necesario:

- Conocer las expectativas y pronóstico realistas del deportista o paciente.
- Concienciar al paciente de que el camino hacia la recuperación podría no ser lineal sino sinuoso, así como que tal proceso –en el caso de que perduren secuelas– podría conducir a una recuperación parcial, no total, sin que ninguna de estas circunstancias enturbien la motivación, la adherencia, la cooperación ni el trabajo autónomo por parte del paciente.
- Explicar antes de cada sesión de entrenamiento/tratamiento los objetivos a corto, medio y largo plazo, así como las características de tareas motrices elegidas para la rehabilitación.
- Tener en cuenta su disponibilidad, preferencias y afinidades para plantear una estrategia realista, sin perder de vista la disciplina.
- Proponer retos alcanzables.
- Realizar test y mediciones periódicas necesario y dar a conocer los resultados utilizando siempre un enfoque positivo y motivador, así como un lenguaje sencillo, de modo que el paciente pueda entender los resultados fácilmente.

Es importante resaltar la **limitación principal** de este principio se da en aquellas situaciones clínicas que cursen con deficiencias cognitivas. Tanto mayor sea la deficiencia cognitiva, tanto más complicado será conseguir este principio.

## 9. Principio de Recuperación

El entrenamiento o la rehabilitación basada en ejercicio deben contemplar **estrategias** que favorezcan la recuperación de los sistemas energéticos desgastados y la regeneración de los tejidos biológicos dañados por la ejercicio físico realizado. El principio de periodización del entrenamiento debe contemplar los periodos de recuperación adecuados para cada tipo de esfuerzo.

El **descanso** debe ser considerado como parte fundamental del entrenamiento. La magnitud temporal del intervalo entre dos estímulos consecutivos determina la variable frecuencia (o densidad) de entrenamiento, que –como anteriormente se mencionó- es

una variable fundamental en la prescripción de cualquier tipo de entrenamiento. Por ello es fundamental que las variables duración y frecuencia del descanso sean tenidas siempre presente en la programación de entrenamiento. Una excesiva magnitud de la variable tiempo de descanso (es decir, baja frecuencia de entrenamiento) desencadenarán desadaptaciones biológicas y funcionales (principio de reversibilidad).

Existen otras estrategias de recuperación. Como anteriormente se mencionó, **medidas de recuperación fisioterápicas** tales como la crioterapia (inmersiones de agua fría como estrategia más popular), la electroestimulación, técnicas específicas de masaje, técnicas específicas de contención y vendaje (medias compresivas), entre otras, así como medidas nutricionales y psicológicas podrían tener un papel facilitador muy importante en el proceso de recuperación (6-8).

Nutrición y la psicología en la recuperación del deportista o del paciente.

#### **Consenso CERT del 2016:**

Las descripciones de ensayos clínicos de intervenciones basadas en ejercicio terapéutico son frecuentemente inadecuadas o insuficientes en su descripción, lo cual podría conducir a conclusiones sesgadas respecto a la eficacia y seguridad de dichos programas de intervención terapéutica. No es un problema banal, sino todo lo contrario; a pesar de los múltiples beneficios del ejercicio terapéutico, tanto en metodología científica como en práctica clínica, si no se describen y se controlan todas las variables de la carga de entrenamiento y el contexto en el que se llevan a cabo, existe la posibilidad de llegar a la conclusión sesgada de que el ejercicio terapéutico “no mejora” la funcionalidad de los pacientes que reciben dicha intervención, tal y como recientemente se reportó en la guía de recomendación clínica de ejercicio terapéutico en pacientes con parálisis cerebral (19), por ejemplo.

El consenso CERT (siglas correspondientes en inglés a *Consensus on Exercise Reporting Template*), constituido por 17 ítems relativos a la descripción detallada de la carga de ejercicio (tipo de ejercicio, volumen, densidad, intensidad, progresión) así como el contexto en el que se aplica el ejercicio, está diseñado específicamente para reportar programas de ejercicio a través de aquellos diseños de estudio que pretendan evaluar su eficacia (y su seguridad) en protocolos de investigación (20).



## Capítulo 3: Principios fisiológicos del acondicionamiento físico

La **fisiología del ejercicio** es *“la ciencia que estudia las repuestas de los órganos, aparatos y sistemas que componen el organismo humano durante el ejercicio físico, los mecanismos de regulación e integración funcional que hacen posible la realización de ejercicio físico, y las adaptaciones tanto estructurales como funcionales que la realización continuada de ejercicio físico o entrenamiento ocasional”*(21).

Aunque el organismo funciona como un todo indisoluble, es conveniente abordar desde una perspectiva didáctica los diferentes sistemas implicados en el control del movimiento:

### 3.1. Control neurológico del movimiento

Las estructuras y tejidos biológicos involucrados en el control neural del movimiento son:

#### **a) La neurona y la conexión sináptica.**

La **neurona** es el componente principal del sistema nervioso encargado de recibir, procesar y transmitir la información a través de señales eléctricas y químicas gracias a la excitabilidad de su membrana plasmática neuronal. La neurona está compuesta por cuerpo neuronal (soma), dendritas y axón.

**Potencial de acción o impulso eléctrico:** es una onda de descarga eléctrica que viaja a lo largo de la membrana celular de una neurona alterando su distribución de carga eléctrica. La transmisión del impulso eléctrico es tanto más rápida cuanto mayor es el diámetro de la neurona y mayor es el contenido en **mielina** que recubre una neurona.

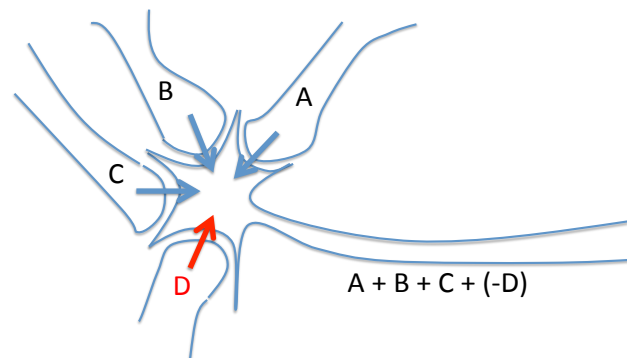
La transmisión del impulso es posible gracias a la **sinapsis o conexión sináptica** que es una unión especializada entre neurona-neurona, neurona-célula receptora, neurona-célula efectora glandular o neurona-célula efectora muscular (**placa motora**).

Esta transmisión se produce cuando el potencial de acción de una neurona presináptica genera una descarga química en los neurotransmisores que viajan a través del espacio intersináptico hacia la estructura postsináptica, generando en esta última una **excitación o una inhibición de su acción**.

La eficiencia en la transmisión del impulso nervioso es una cualidad dinámica; esto es, modificable; puede mejorar o empeorar con el entrenamiento o desentrenamiento, respectivamente.

El potencial de acción sigue "la regla del todo o nada" en su generación. La **tasa de descarga** o frecuencia con la que son generados los potenciales de acción depende de los efectos excitatorios o inhibitorios producidos en las sinapsis. La capacidad de producir fuerza depende de la tasa de descarga -entre otros muchos factores-, y también es modificable; es decir, puede mejorar con el entrenamiento y empeorar con el desentrenamiento.

La integración de todas las señales de los diferentes axones, tanto las excitatorias como las inhibitorias, en la transmisión del impulso eléctrico recibe el nombre de **integración neural** y es la esencia del movimiento coordinado:



👁️ *Lectura adicional:* Principios neurofisiológicos de sumación espacial y sumación temporal.

## b) El cerebro humano:

- Telencéfalo
  - Corteza cerebral – lóbulos
    - Áreas sensitivas: somatosensitiva, visual, olfativa, auditiva, gustativa.
    - Áreas motoras. Localizadas en la porción anterior de ambos hemisferios cerebrales. Destacan:
      - **Corteza motora primaria (o M1)**. En la parte posterior de lóbulo frontal. Responsable del movimiento voluntario y recibe información sensorial proveniente de otros centros cerebrales para generar retroalimentación (aprendizaje y control del movimiento)
      - Área del lenguaje de Broca.
    - Áreas de asociación.
  - Ganglios Basales: Localización: Situados bajo la corteza cerebral. Función relacionada con los movimientos semi-automáticos (escribir, hablar, expresión facial inconsciente)
    - Globo pálido
    - Putamen
    - Núcleo caudado
  - **Sistema límbico**: (Localización: Límites difusos) y Amígdala: cara interna del lóbulo temporal. Función relacionada con los **estados emocionales. Importantes relaciones con los procesos de memorización y aprendizaje.**
  - Hipocampo: Parte interna de los lóbulos temporales. Función relacionada con la memoria y aprendizaje, cognición espacial, **miedo** y adaptación al miedo.
- Diencéfalo
  - Tálamo. **Núcleo de integración** que proviene de los sentidos. Respuestas **rápidas** de peligro del Sistema Nervioso Autónomo
  - Hipotálamo: Situado bajo el tálamo. Encargado de la regulación **homeostática** (temperatura, hormonal, respiración, etc.). Regulador hormonal: estrés, activación, sed, hambre...

- Tronco encéfalo: Conexión directa con médula. Mantenimiento de funciones vitales (respiración, frecuencia cardíaca,...). Compuerta del encéfalo.
  - Mesencéfalo
  - Protuberancia
  - Bulbo Raquídeo. Función: **Decusación pirámidal**.
- **Cerebelo**. Función: destaca la regulación y control de los movimientos coordinados, equilibrio y marcha. Cognición.
- Nervios craneales: conexión directa con diferentes partes del cuerpo sin pasar por la médula espinal. Son 12: Olfatorio, Óptico, Oculomotor, Patético, Trigémino, Abducens, Facial, Acústico-Vestibular, Glossofaríngeo, Neumogástrico, Espinal, Hipogloso.
- **Sistema Nervioso Autónomo (o Vegetativo)**: axones, ganglios y órganos que se encargan de la regulación de muchas funciones vitales totalmente automatizadas (digestión, respiración, pulso...), detección y control de órganos internos y vísceras. Tiene importantes relaciones con el tronco del encéfalo. Se divide en:
  - Sistema nervioso simpático: "preparar para la acción".
  - Sistema nervioso parasimpático: "preparar para la recuperación, ahorro, reparación".
  - Sistema entérico: funcionamiento del tracto digestivo.

### Concepto de neuroetiqueta

Una neuroetiqueta es un patrón de actividad en la matriz de neuronas del cerebro. Se trata de una asociación física e instantánea de neuronas que pueden desembocar en resultados tales como dolor, movimiento o emoción.

El dolor es una neuroetiqueta en la que están involucrados diferentes regiones y estructuras anatómicas del cerebro. La rehabilitación debe contemplar esta perspectiva.

**c) La médula espinal:** “compuerta de la periferia”. Comunica el encéfalo con el resto del cuerpo a través del cordón medular y los 31 pares de nervios raquídeos.

- Sustancia Gris (“H”; principalmente cuerpos neuronales)
  - Astas posteriores (somatosensitivas)
  - Astas anteriores (somatomotoras)
  - Zona intermedia (interneuronas)
  - En segmentos dorsales y lumbares: Asta lateral (visceral simpático)
  
- Sustancia Blanca (principalmente axones)
  - Cordón anterior (ascendente sensitivas y descendentes motoras)
  - Cordón lateral (ascendente sensitivas y descendentes motoras)
  - Cordón posterior (ascendentes sensitivas)

#### **Células de Renshaw**

Interneurona inhibitoria del asta anterior médula espinal. Se trata de un mecanismo de retroalimentación negativo a la actividad excitatoria proveniente de la motoneurona. Controla la excitabilidad de las neuronas motoras y puede ser considerado un mecanismo de protección muscular y tendinoso. Asimismo, este mecanismo actúa como regulador y suavizador de la señal al reducir la frecuencia de disparo de las neuronas sobreexcitadas.

Es también conocido como fenómeno de la *Inhibición Recurrente*.

Es bien sabido que el entrenamiento de fuerza disminuye la acción de este circuito de retroalimentación por lo que puede ser considerado como un factor contribuyente al aumento de fuerza provocado por el entrenamiento.

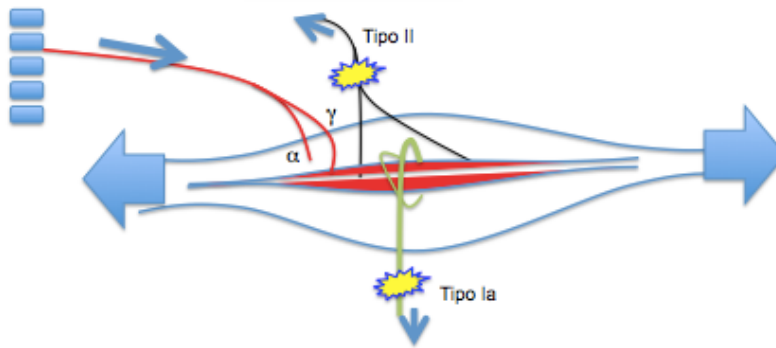
**d) Huso neuromuscular:** (rol en la propiocepción. Implicaciones terapéuticas)

## Reflejo miotático; huso n-m

### -TERMINACIONES SENSITIVAS

-Ia (primaria).- gran  $\phi$  y  $\vec{v}$  elevada.- zona central del huso.- sensible al estiramiento y a la velocidad con la que éste se produce.

-II (secundarias).- pequeño  $\phi$  y  $\vec{v}$  baja.- junto a zona central.- sensible al estiramiento en estado estacionario.



### e) Otros receptores sensoriales:

Mecanorreceptores, fotorreceptores, termorreceptores, quimiorreceptores son terminaciones nerviosas especializadas, adaptables y ubicadas en los diferentes órganos sensoriales y tejidos.

No existen receptores de dolor. La nocicepción (literalmente "captación de peligro") es un aviso al sistema nervioso central de carácter prioritario.

### **IMPORTANTE:** *Comprendiendo el dolor (22)*

-El dolor puede ayudar a proteger, es un sistema de alarma regido por el cerebro. Sin embargo, el dolor es una experiencia mucho más compleja.

-La intensidad del dolor no está relacionada directamente con la cantidad de daño tisular sufrido.

-El dolor también depende de un factor crítico: el contexto.

-El dolor es una interpretación cerebral altamente modelable.

-Facilitación periférica y Sensibilización central.

-El tratamiento del dolor debe estar fundamentado por ciencia contrastada. Factores clave:

- El paciente debe conocer el dolor para progresar (participación consciente)
- Exposición rítmica y graduada.
- Estrategias posibles: exposición modificada (imaginación, modificación del entorno)

## 3.2. Sistemas energéticos

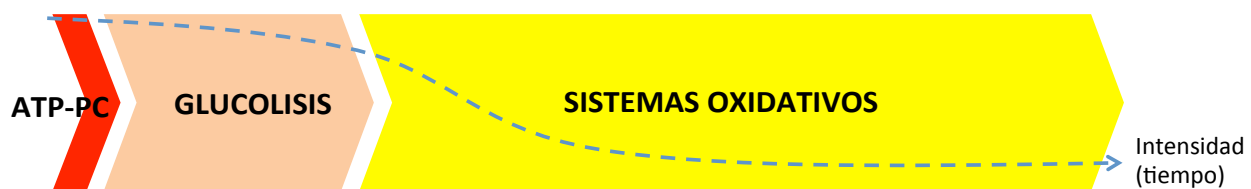
Sustratos energéticos: Adenosín trifosfato (ATP), hidratos de carbono, grasas y proteínas.

Mecanismos de síntesis de ATP:

- a) Vía anaeróbica aláctica: Sistemas ATP-fosfocreatina. Proporciona energía de manera inmediata por la hidrólisis de los enlaces energéticos del ATP y del ADP (adenosín difosfato). Proporciona energía al inicio de una actividad. Durante un esfuerzo máximo mantenido en el tiempo, este recurso puede proporcionar energía durante pocos segundos (hasta 10 segundos).
- b) Vía anaeróbica láctica: Corresponde con el metabolismo de la glucosa y el glucógeno a través de la **glucolisis** (en el citosol). Como característica fundamental: esta vía metabólica se asocia a la acidosis metabólica (ácido láctico y

lactato), con consecuencias fisiológicas asociadas a la fatiga y a la descoordinación neuromotora. Involucra las fibras rápidas (esfuerzos de alta intensidad y corta duración). Durante un esfuerzo máximo, este recurso puede proporcionar energía durante varios segundos hasta un minuto de duración.

- c) Vía aeróbica: En la mitocondria. Puede involucrar hidratos de carbono, grasas y, de manera puntual, las proteínas (esfuerzos >60'). Esta vía metabólica proporciona energía de manera más eficiente (más "limpia") que las dos anteriormente descritas. Su principal limitación es que esta vía energética tiene una tasa de producción energética inferior a las anteriores. Es protagonista en los esfuerzos de larga o muy larga duración (baja intensidad; fibras lentas), así como en la fase de recuperación y descanso post-ejercicio.



Aunque todas las vías energéticas actúan de manera simultánea, el protagonismo de cada una de ellas depende de múltiples factores tales como la intensidad de ejercicio, la duración de ejercicio y la cantidad y tipo de reservas energéticas existentes.

### 3.3. Sistema muscular

#### 3.3.1. La fibra muscular

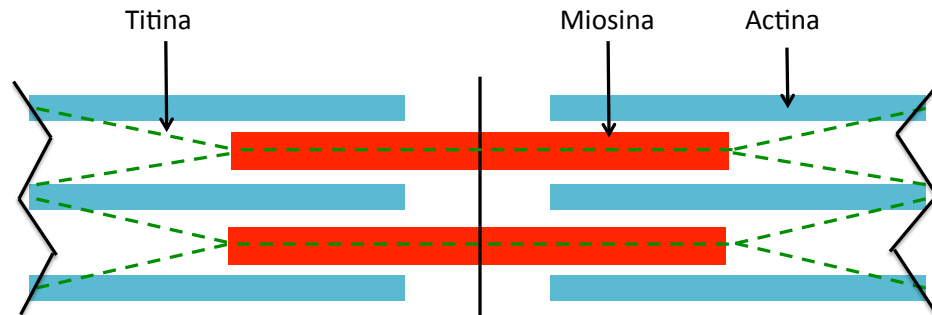
La fibra muscular o miocito, es la unidad mínima del tejido muscular con capacidad contráctil.

De su histología destaca: la membrana celular o sarcolema, el citoplasma o sarcoplasma, núcleo celular, retículo sarcoplasmático, mitocondrias y un entramado proteico de filamentos de actina, miosina y titina (miofibrilla). Actualmente la clasificación de las fibras musculares se hace en función del tipo de miosina que la célula contenga; esto influye directamente en la velocidad de su acortamiento. La



clasificación del tipo de fibra es: fibras tipo I o lentas, fibras tipo II o rápidas, y los diferentes subtipos. Asimismo, el contenido de mioglobina mayor en las fibras tipo II confiere un color más rojizo por lo que este tipo de fibras también es llamado fibras rojas. Por su parte, las fibras I son denominadas fibras blancas.

La organización estructural de la miofibrilla viene representada en la siguiente imagen (23):



El mecanismo de la contracción es resultado de la interacción entre actina y miosina en presencia del ión calcio y energía (ATP). Éste es el mecanismo biológico esencial en la producción de fuerza, por lo tanto, la fuerza producida es proporcional a la cantidad de interacciones entre actina y miosina; relativas a su vez a la cantidad de fibras musculares, esto es; a la masa muscular.

El sarcolema recubre toda la extensión de esta estructura y lanza incursiones o ramificaciones trabeculares hacia el interior de la célula (Túbulos T). Este sistema garantiza la expansión del potencial de acción hacia la totalidad de la fibra muscular. La despolarización del sarcolema provoca una liberación de calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ) que interacciona con la troponina, provocando así la interacción entre actina y miosina y cuyo resultado es la generación de un «puente cruzado» que, en presencia de energía, finalmente provoca el acortamiento de la miofibrilla.

### **Adaptaciones biológicas del tejido muscular:**

- Hipertrofia: crecimiento en el tamaño de las fibras musculares.
- Hiperplasia: es el crecimiento en el número de fibras musculares.
- Sarcopenia: pérdida de la masa muscular debidas a la inactividad, inmovilización, al envejecimiento o a la enfermedad. (Durante las 6 primeras horas de inmovilización la síntesis proteica comienza a disminuir).
- La distribución de fibras depende de la dotación genética.
- El entrenamiento provoca principalmente modificaciones en los subtipos de fibras, aumentos en la capilarización, eficiencia y incremento de las actividades enzimática, entre otros.

### **3.3.2. Teoría del Filamento Deslizante o Teoría de los Puentes Cruzados:**

- Sarcómera/o: es la unidad funcional y anatómica del músculo estriado. Puede haber miles de sarcómeras en un músculo. Los sarcómeros disponen de manera longitudinal y paralela en relación con las características anatómicas y funcionales de cada músculo.
- La interacción molecular y mecánica entre actina y miosina conforma la esencia de la contracción muscular. La proteína tropomiosina bloquea la interacción actina-miosina. En presencia de calcio y ATP, la tropomiosina cambia su posición y posibilita la interacción actina-miosina.
- El rol completo de la titina (proteína elástica) es a día de hoy todavía una incógnita.
- La velocidad y la longitud a la que la sarcómera opere son factores determinantes en la capacidad contráctil de un músculo (Relación fuerza-velocidad, longitud-tensión).

### **3.3.3. La unidad motora**

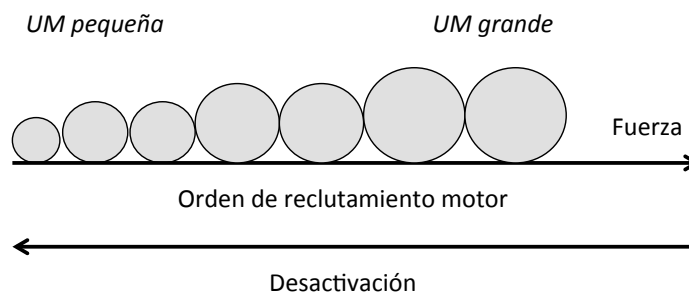
Una unidad motora es la unidad funcional configurada por una motoneurona y las fibras musculares inervadas por dicha motoneurona:

Unidad motora= motoneurona +  $n$  fibras musculares

Existen dos tipos de unidades motoras (UM):

- UM grandes: motoneuronas gruesas. Transmisión rápida del estímulo. Gran capacidad de generar fuerza. Movimientos gruesos. Umbral de excitación alto. Frecuentemente en fibras tipo II. Ejemplo: cuádriceps, dorsal ancho.
- UM pequeñas: motoneuronas finas. Transmisión lenta del estímulo. Poca capacidad de generar fuerza. Movimientos finos. Umbral de excitación bajo. Frecuentemente en fibras tipo I. Ejemplo: musculatura ocular.

Un grupo muscular puede tener varias unidades motoras, pudiendo variar desde una pocas hasta varios cientos. La estimulación de una motoneurona produce una contracción de todas las fibras musculares que componen esa unidad motora. Sin embargo, tradicionalmente se ha asumido que todas las unidades motoras no se solicitan de manera simultánea durante una contracción. El reclutamiento de unidades motoras o **reclutamiento motor** responde al enunciado del **principio del tamaño** (del inglés; *Size Principle*), también llamado Ley de Henneman (1965):



El principio del tamaño establece que, dado que las unidades motoras pequeñas tienen un umbral de excitación inferior que las unidades motoras grandes, durante la aplicación de fuerza muscular el orden de reclutamiento sigue un patrón estereotipado según el tamaño progresivo. Esta ley sigue siendo aceptada hoy en día, no obstante presenta **excepciones**, éstas son:

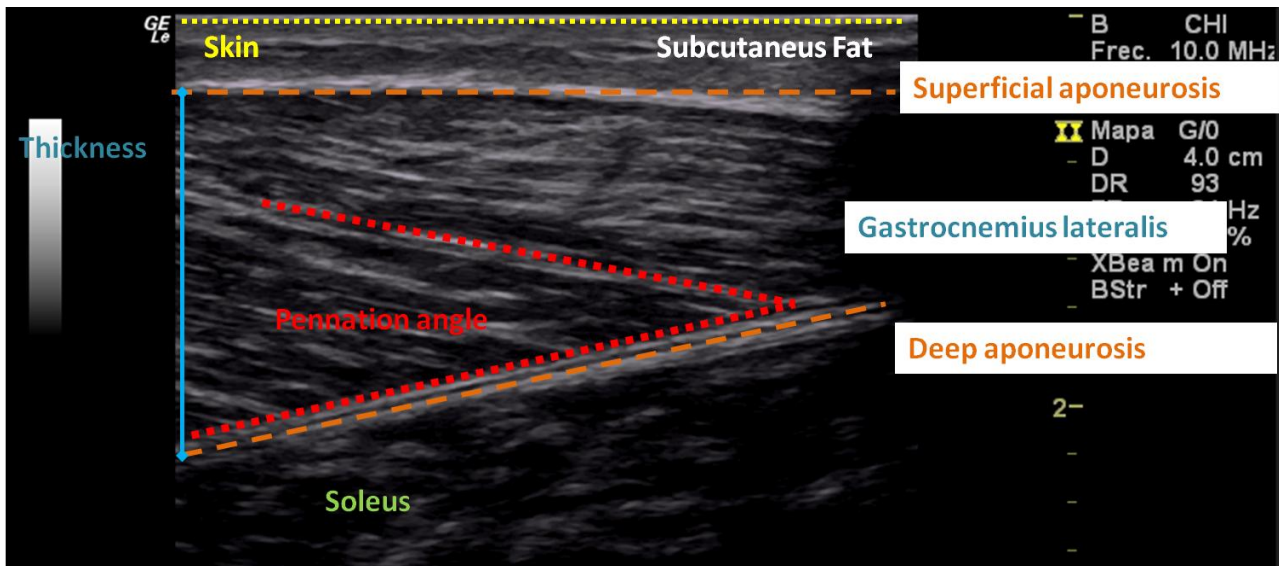
- Contracciones a alta velocidad, gestos balísticos o contracciones excéntricas; en las que se produce un reclutamiento mayoritario de grandes unidades motoras.

- Envejecimiento: la muerte progresiva de algunas motoneuronas altera el orden de reclutamiento (explicaría la pérdida de precisión en el control motor).
- **Patrón de activación rotatorio** durante la fatiga. En ausencia de fatiga el patrón rotatorio se produce entre UM similares. Sin embargo, la instauración progresiva de fatiga provocaría un patrón rotatorio entre UM muy diferentes para mantener los niveles de fuerza; esta situación incrementaría la descoordinación (el “ruido”) en el resultado motor. Éste es el **concepto de coordinación intramuscular**.
- En presencia de **dolor**; para mantener los niveles de fuerza.
- La electroestimulación produce contracciones sincrónicas no selectiva, sollicitación superficial.

### 3.3.4. *Arquitectura muscular*

Se define arquitectura muscular como la organización de las fibras musculares dentro de un músculo en relación al eje de generación de fuerza (24). Los parámetros que definen la arquitectura de un músculo son: penneación, grosor, sección transversal y longitud de fibra.

- a) Ángulo de penneación: ángulo formado entre la orientación de los fascículos y la aponeurosis. Durante una contracción, se produce rotación de la fibra y aumento del ángulo de penneación. Es una cualidad modificable.
- b) Grosor: distancia entre aponeurosis superficial y profunda. Mayor grosor; mayor fuerza. Dos mediciones diferentes del grosor muscular: (i) Área de sección transversal anatómica y (ii) Área de sección transversal fisiológica. Mayor sección transversal implica mayor capacidad contráctil. Es una cualidad altamente modificable.
- c) Longitud de los fascículos. La longitud de los fascículos está fuertemente relacionada con la velocidad de acortamiento de la fibra. Es una cualidad modificable.

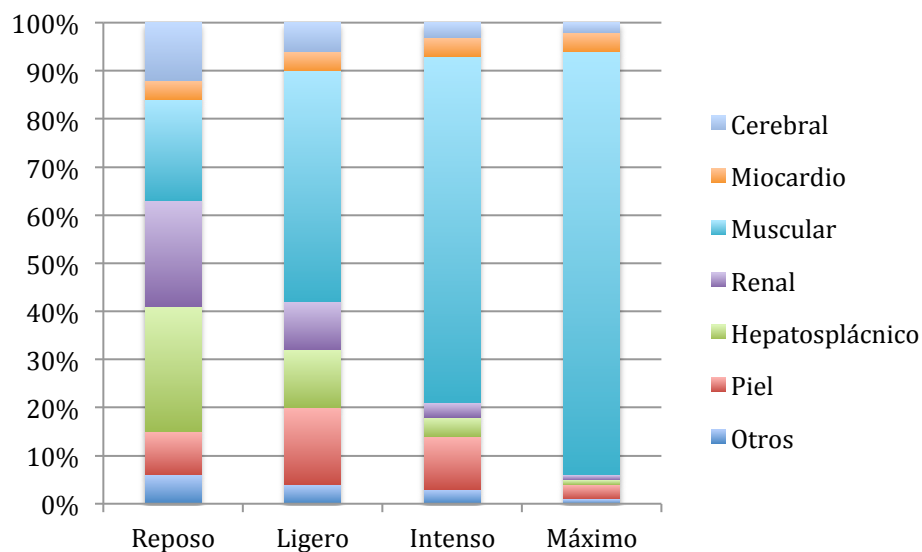


### 3.4. Sistema cardiovascular y respiratorio

El principal objetivo del sistema cardiovascular durante el ejercicio es garantizar el flujo sanguíneo en todo el organismo según las nuevas demandas metabólicas (en relación al reposo).

#### 3.4.1. Distribución sanguínea durante el ejercicio.

La distribución sanguínea en el organismo se adecúa a los requerimientos energéticos de los órganos y tejidos del organismo:



### 3.4.2. Consumo de oxígeno

El uso de los recursos energéticos depende del oxígeno disponible, produciendo durante la combustión dióxido de carbono y agua. La medición exhaustiva de los gases oxígeno y dióxido de carbono durante una actividad es de gran interés para comprender el metabolismo energético predominante durante una determinada actividad. Durante el ejercicio se incrementa el **consumo de oxígeno (VO<sub>2</sub>)**. Esto es: incrementa la cantidad de oxígeno utilizado por el organismo por unidad de tiempo. Esto se debe al incremento en los requerimientos funcionales de sus **factores determinantes centrales** (frecuencia cardiaca, volumen sistólico) y **periféricos** (diferencia arterio-venosa de oxígeno) de manera **casi lineal a la intensidad del ejercicio** (meseta de VO<sub>2</sub> estadios finales de un test incremental):

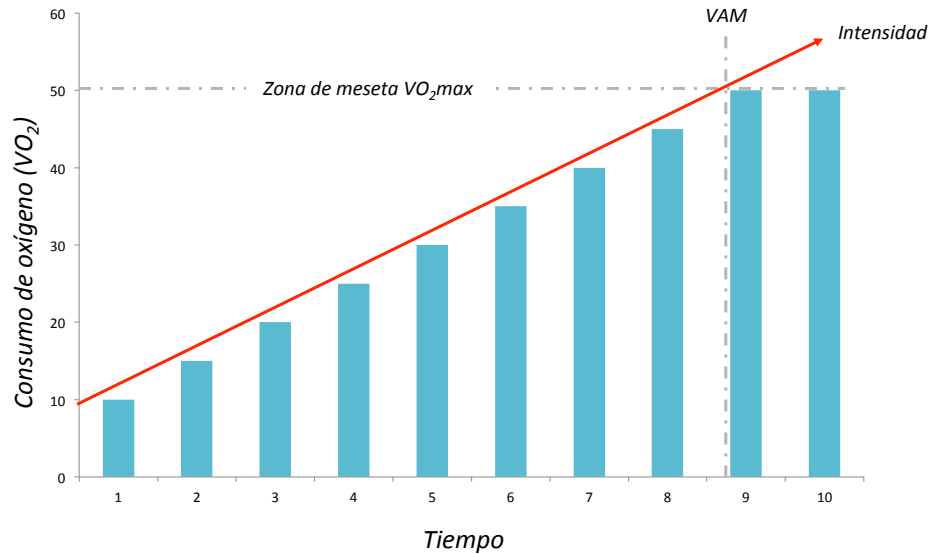
Gasto cardiaco (Q): Frecuencia Cardiaca \* Vol. Eyección Sistólico

VO<sub>2</sub> = Frecuencia Cardiaca \* Vol. Eyección Sistólico \* Diferencia a-v O<sub>2</sub>

- Factores centrales: función cardiaca, sistema respiratorio.
- Factores periféricos: masa mitocondrial, capacidad de transporte de oxígeno densidad capilar.

El **VO<sub>2</sub>max** o su homólogo **VO<sub>2</sub>pico** (consumo *máximo* o *pico* de oxígeno; en función de la metodología empleada en laboratorio para su determinación; respectivamente) hacen referencia a la cantidad máxima de oxígeno que el organismo es capaz de absorber, transportar y consumir por unidad de tiempo. Se trata de un **indicador de la intensidad del ejercicio** que hace referencia directa a la capacidad cardio-vascular y respiratoria del sujeto. Este concepto es útil para determinar la carga (intensidad) de ejercicio de manera individual tanto en el ámbito clínico como del rendimiento deportivo. Este valor se puede obtener a través de tests de laboratorio (determinación VO<sub>2</sub>max directa) o de campo (determinación VO<sub>2</sub>max indirecta).

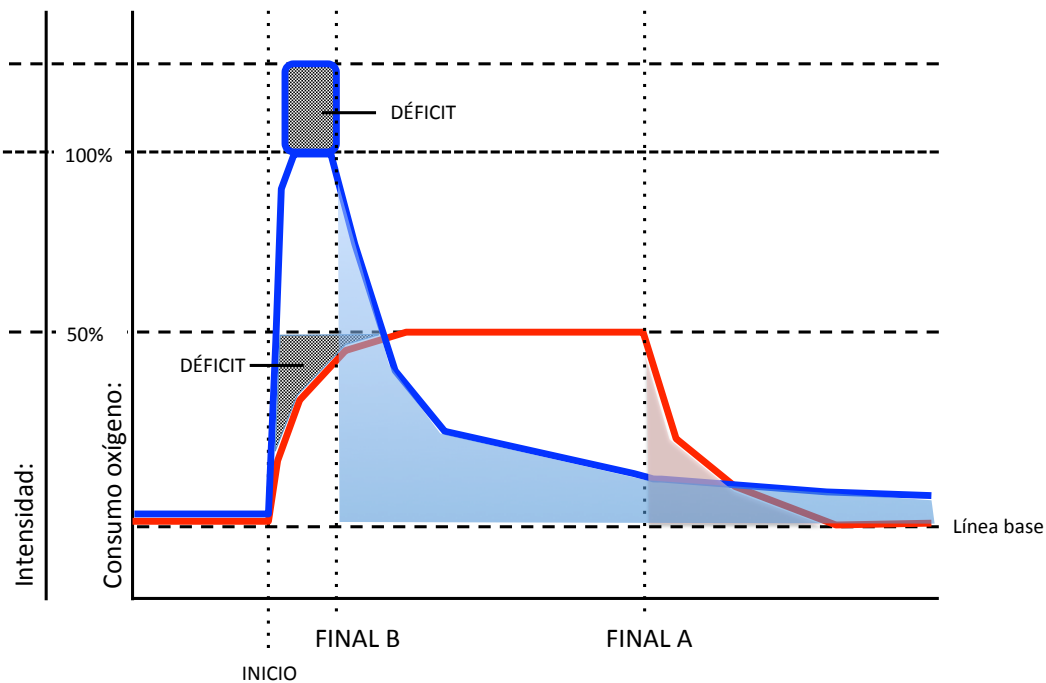
A continuación se expone una gráfica representativa de un test de intensidad progresiva para la determinación del consumo VO<sub>2</sub>max (determinación directa):



### Factores determinantes del VO<sub>2</sub> durante el ejercicio:

- 1) Regulación de la frecuencia cardiaca (lpm) debe estar en relación con la demanda de oxígeno y energética durante el ejercicio. Dicha regulación es llevada a cabo por diferentes mecanismos del sistema nervioso simpático y parasimpático. [Para más información, se recomienda la lectura de cualquier libro de fisiología del ejercicio; por ejemplo: Billat V. (2001) Fisiología y metodología del Entrenamiento].
- 2) Regulación del volumen de eyección sistólico depende del tiempo de eyección (sístole) y del tiempo de llenado y del ventrículo izquierdo (diástole), así como de la eficacia de vaciado. Dichos parámetros incrementan en sujetos entrenados. Tales adaptaciones se deben al fortalecimiento del miocardio (capacidad contráctil y estado de pretensión).
- 3) Diferencia arterio-venosa de oxígeno. Se trata de un indicador representativo de la capacidad que tienen los tejidos para extraer oxígeno de la sangre. La densidad mitocondrial es un factor determinante en este parámetro. Dicha densidad se incrementa de manera significativa con el entrenamiento de resistencia.

## ✓ Dinámica del VO<sub>2</sub> durante el ejercicio:



Este gráfico representa el comportamiento del consumo de oxígeno durante tareas de carácter aeróbico (línea roja – trazo A) y de carácter anaeróbico (línea azul – trazo B). La comprensión y estudio de dicho gráfico ayudará al lector a comprender:

- 1) Dinámica del consumo de oxígeno durante el ejercicio aeróbico (línea roja).
- 2) Dinámica del consumo de oxígeno durante el ejercicio anaeróbico (línea azul).
- 3) Concepto de déficit, deuda de oxígeno y estado estable.
  - El déficit de oxígeno (áreas grises): predominancia del metabolismo anaeróbico.
  - Estado de equilibrio estable (del inglés; *Steady State*) en el consumo de Oxígeno (niveles central y periférico).
  - Deuda de oxígeno durante la fase de recuperación post ejercicio: predominancia del metabolismo aeróbico.
  - Componentes rápido (1, 3 y 6 min. tras el cese) y lento (>6 min) de la curva de recuperación tras el cese de la actividad.
  - Durante la recuperación las constantes vitales siguen elevadas a pesar del cese del ejercicio. Esto se debe a que durante esta fase se produce un restablecimiento energético y reparación biológica en la que el consumo de oxígeno permanece incrementado en relación a la situación en reposo.



- La curva de recuperación es más pronunciada (mayor pendiente negativa) en el caso de los sujetos entrenados. Es un factor a tener en cuenta para ver la capacidad cardiovascular de determinados conjuntos poblacionales (afecciones cardio-respiratorias).

#### Tasas de disminución de interés clínico (ACSM) (25):

*“La dificultad de disminuir la frecuencia cardiaca al menos 12 ppm durante el primer minuto o 22 ppm al final del segundo minuto de la recuperación activa post-ejercicio está fuertemente asociada con un incremento del riesgo de mortalidad en pacientes diagnosticados o riesgo alto de Cardiopatía Isquémica” (25)*

Minuto 1: ↓ >12ppm; Minuto 2: ↓ >22ppm;  
Minuto 6: ↓ Tensión arterial sistólica (TAS) = valores pre-ejercicio.

\*TAS: Tensión Arterial Sistólica; ppm: pulsaciones por minuto

- 4) Dentro de la sesión de entrenamiento, la **fase de calentamiento** permite garantizar una progresión del estado basal de reposo a las necesidades específicas de la competición. Por ello, el calentamiento debe ser progresivo (creciente) en intensidad y especificidad.

#### Estructura esencial del calentamiento:

- 1) Activación cardiovascular general.
- 2) Movilidad articular global y específica
- 3) Activación neuromuscular específica progresiva.
- 4) Activación metabólica específica progresiva.

- 5) Asimismo, la parte final de la sesión o **vuelta a la calma** debe ser también progresiva (decreciente), en este caso para facilitar un acercamiento al estado basal. Aunque en muchas ocasiones es obviada, esta fase es de gran importancia: favorece el retorno progresivo al estado basal de todos los sistemas biológicos que determinan el movimiento. Se puede considerar la primera de las estrategias recuperadoras post-ejercicio. Para la consecución de esta parte de la sesión de entrenamiento es frecuente el empleo de ejercicios generales

relacionados con los llevados a cabo durante la parte principal (aunque no específicos) de carácter continuo invariable (ligero) o continuo variable (ligero hasta moderado).

#### 6) Efectos del entrenamiento aeróbico y anaeróbico.

*“La condición física cardiorrespiratoria, determinado por el consumo máximo de oxígeno, es considerada el predictor más fuerte de todas las causas de mortalidad y morbilidad” (26).*

### **3.4.3. Comportamiento de la tensión arterial durante el ejercicio.**

Adaptaciones agudas de la tensión arterial (TA) al ejercicio:

- Ejercicio de carácter aeróbico: En sujetos sanos, el incremento del gasto cardiaco ( $FC * VS$ ) produce un incremento coetáneo de la TAS con la intensidad del ejercicio hasta valores que pueden rondar los 200 mmHg (hasta 240 mmHg). Por su parte, la tensión arterial diastólica (TAD) se suele mantener estable rondando los 70-80 mmHg (> 115mmHg : signo de alerta)
- Ejercicio contrarresistencia (fuerza): En sujetos sanos, el incremento del gasto cardiaco ( $FC * VS$ ) produce un incremento coetáneo de la TAS con la intensidad del ejercicio hasta valores que pueden incluso alcanzar los 400 mmHg en algunos casos. Por su parte, la TAD se incrementa debido a la compresión de los vasos periféricos.

Las adaptaciones de carácter crónico tienden a disminuir los valores de tensión arterial tanto en reposo como durante el ejercicio. Estas adaptaciones se producen por mecanismo no del todo conocidos entre los que se encuentra el incremento de la capilarización, entre otros.

### 3.5. La fatiga neuromuscular

La fatiga neuromuscular es una pérdida inducida por el ejercicio en la capacidad de generar fuerza cuyos efectos son de carácter temporal y reversible. El factor tiempo es lo que principalmente diferencia la fatiga del sobreentrenamiento.

La fatiga puede considerarse como un mecanismo de defensa que obliga al cese de la actividad física cuando los niveles de estrés metabólico, neurológico y mecánico llegan a unos límites que pueden resultar peligrosos.

Desde un punto de vista funcional existen dos tipos de fatiga:

- a) **Fatiga periférica:** relacionadas con los cambios histológicos por debajo de la placa motora. Este tipo de fatiga está ligado a las alteraciones homeostáticas del músculo esquelético. La fatiga periférica puede ser explicada mediante diferentes teorías e hipótesis
  - Depleción de sustratos energéticos.
  - Alteraciones homeostáticas y del pH en el espacio intracelular (concentración plasmática de amonio, lactato e iones  $H^+$ ,  $K^+$ ).
  
- b) **Fatiga central:** relacionada con el funcionamiento del sistema nervioso central y la conducción del impulso nervioso (motor).
  - Síntesis y actividad de determinados neurotransmisores. Destacan:

Serotonina	Relacionada con la percepción de esfuerzo, regulación de los ritmos circadianos, somnolencia, falta de atención, humor, apetito.
Dopamina	Relacionado con alteraciones en el funcionamiento del sistema locomotor, emoción y aprendizaje motor
Acetilcolina	Relacionado con la velocidad de transmisión de los impulsos neurales.



## Capítulo 4: Principios biomecánicos del acondicionamiento físico

En su acepción más simple, la biomecánica podría ser definida como la ciencia que estudia las fuerzas (internas o externas al sistema neuromotor) que actúan sobre los organismos vivos.

Según Harman (1993), fuerza sería la capacidad para generar tensión bajo determinadas condiciones tales como la posición del cuerpo, el movimiento corporal en el que se aplica la fuerza, el tipo de contracción (concéntrica, excéntrica, isométrica o pliométrica) y la velocidad del movimiento (27). Estaríamos hablando de *fuerza aplicada* (28, 29) si, además de todas las condiciones descritas por Harman, se tiene en cuenta el contexto espacio-temporal en el que sucede la aplicación de fuerza.

Dado que la *fuerza aplicada* está condicionada por multitud de factores intrínsecos a la persona en relación con el contexto (factores extrínsecos), se podría afirmar que las afecciones médicas o quirúrgicas del sistema locomotor (p.ej.: lesiones deportivas) revierten en la alteración de su funcionamiento óptimo, no solo de manera directa y local de la estructura lesionada, sino también de manera indirecta y global al resto del organismo (p.ej.: neurológicamente), provocando así una disfunción en la generación de fuerzas requeridas para satisfacer con éxito las demandas instantáneas del contexto cotidiano o deportivo o *fuerza aplicada*.

En nuestros días, la evaluación de las capacidades mecánicas de los deportistas es un área de gran interés para entrenadores, preparadores físicos, fisioterapeutas y rehabilitadores físico-deportivos que permitirá el empleo de métodos de evaluación sencillos, rápidos, baratos y fácilmente utilizables (en un entorno clínico o sobre el terreno de juego) para el estudio de las *capacidades mecánicas* del funcionamiento neuromuscular que den información valiosa tanto para la prevención de lesiones deportivas, como para la orientación, monitorización y control de los procesos de rehabilitación basándose en valores objetivables y cuantitativos que sean

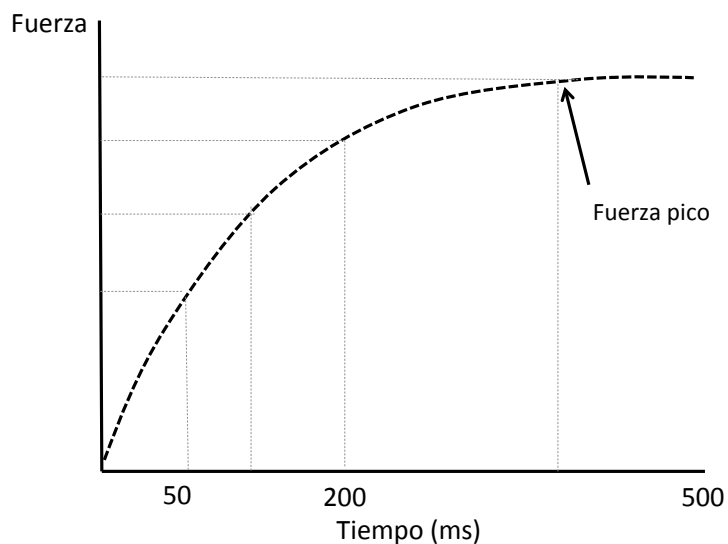
representativos el estado de forma física de un deportista (30).

El presente texto trata en explicar el rendimiento motor desde la menores variables mecánicas posibles, lo cual está en concordancia con la concepción de Alexander McNeil respectiva a los modelos matemáticos aplicados a los sistemas biológicos: *empleo de la sencillez conceptual para comprender con claridad el funcionamiento del conjunto* (31). Desde esta perspectiva serán expuestos los principales constructos biomecánicos representativos de las capacidades del funcionamiento neuromuscular así como de las alteraciones que desencadenarían las afecciones del aparato locomotor:

#### 4.1. Modificaciones en la relación fuerza-tiempo

La capacidad de producir fuerza es inherente al factor tiempo (28). Dicha relación se expresa de manera gráfica a través de la curva fuerza-tiempo (F-t) que, con las herramientas necesarias (p.ej.: plataforma de fuerza, célula de carga, dinamometría para la prensión manual, etc.), puede ser determinada para cualquier gesto cotidiano y deportivo.

En el siguiente gráfico se representa la capacidad de producir fuerza isométrica en función del tiempo:

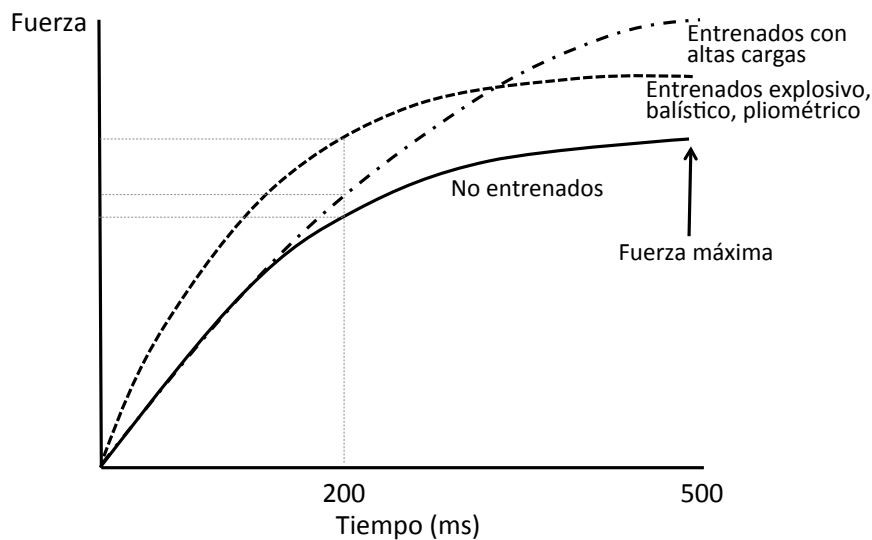


La capacidad de producir la máxima fuerza a través de una contracción voluntaria realizada en el menor tiempo posible, o **tasa de desarrollo de fuerza** (o **fuerza**

**explosiva**; término en inglés: *rate of force development* o *RFD*) es considerada mejor indicador del rendimiento motor funcional (deportivo y de las actividades de la vida diaria; o AVD's) que los valores de fuerza aislados independientes del tiempo (p.ej: los valores de fuerza máxima o los de la fuerza pico) (32). En este sentido, la RFD tiene importantes consecuencias funcionales determinantes para la fuerza que puede ser generada en la fase temprana de la contracción muscular (0-200ms) no solo en el rendimiento deportivo (33), sino también en aspectos relacionados con la prevención y manejo de lesiones (32, 34, 35). Para ampliar el conocimiento relativo a el concepto RFD se remite al lector a la referencia de Rodríguez-Rosell et al (2018) (36).

En general, se puede decir que desde el punto de vista de la salud y del rendimiento deportivo, las adaptaciones provocadas por el entrenamiento se manifiestan con un desplazamiento hacia arriba de la curva F-t. Esto es, producir más fuerza por unidad de tiempo; o lo que es igual a tener mayor fuerza *explosiva*. La literatura científica indica que el entrenamiento de fuerza de carácter explosivo es altamente efectivo en la consecución de notables ganancias en RFD, además de ser tolerable en amplios espectros de población, desde jóvenes no entrenados en fuerza y atletas altamente entrenados hasta ancianos frágiles sedentarios. Por otro lado, debería ser reconocido que el entrenamiento de fuerza con altas cargas (grandes pesos, poca explosividad; >75% de una repetición máxima), también parece efectivo en la consecución de sustanciales incrementos en los valores de RFD, particularmente en la fases más tardías de la relación F-t (32).

En sentido contrario, las desadaptaciones biológicas provocadas por el desentrenamiento, la convalecencia o el envejecimiento provocarían un desplazamiento hacia abajo de dicha curva.



### **Método para la evaluación de la fuerza isométrica en el ámbito clínico**

Existen dos formas de evaluar la fuerza isométrica con los dispositivos portátiles manuales (37) :

a) **Break test (BT)**: requiere que el examinador empuje perpendicularmente contra el segmento a valorar hasta superar la fuerza muscular máxima del paciente.

b) **Make test (MT)**: el examinador mantiene firme y estacionario el dinamómetro mientras que el sujeto ejerce la máxima fuerza contra el dinamómetro.

Algunos autores sostienen que, desde un punto de vista estadístico, MT parece ser ligeramente más fiable que el BT, sin embargo, consideran que el BT es más práctico y conveniente que el MT (38). En cualquier caso, es recomendable utilizar siempre el mismo procedimiento para poder hacer comparaciones reales de la evolución de los pacientes a lo largo del tratamiento.

## **4.2. Modificaciones en la relación longitud-tensión**

La magnitud de fuerza que un músculo puede generar depende, entre otros factores (tales como la velocidad y la estimulación neuromuscular), de la longitud a la

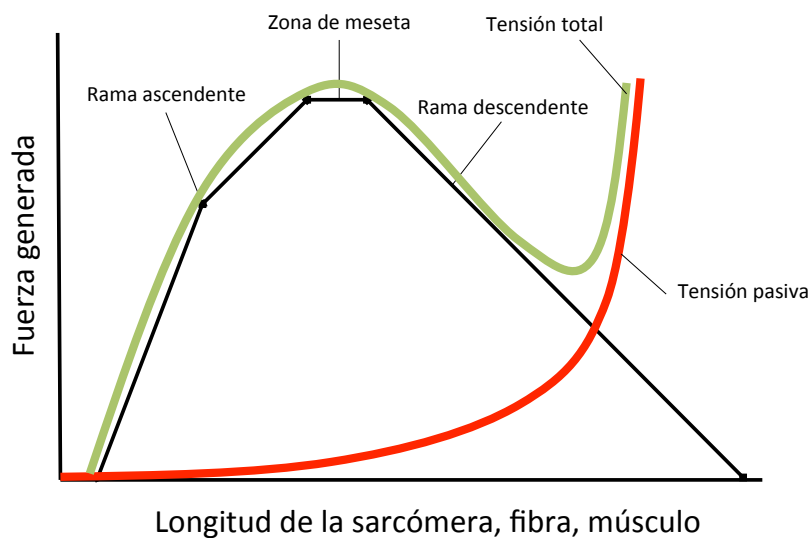


que ejerce fuerza. La relación longitud-tensión (L-t) juega un importante papel en la función del músculo esquelético así como de todo el sistema neuromuscular en su conjunto.

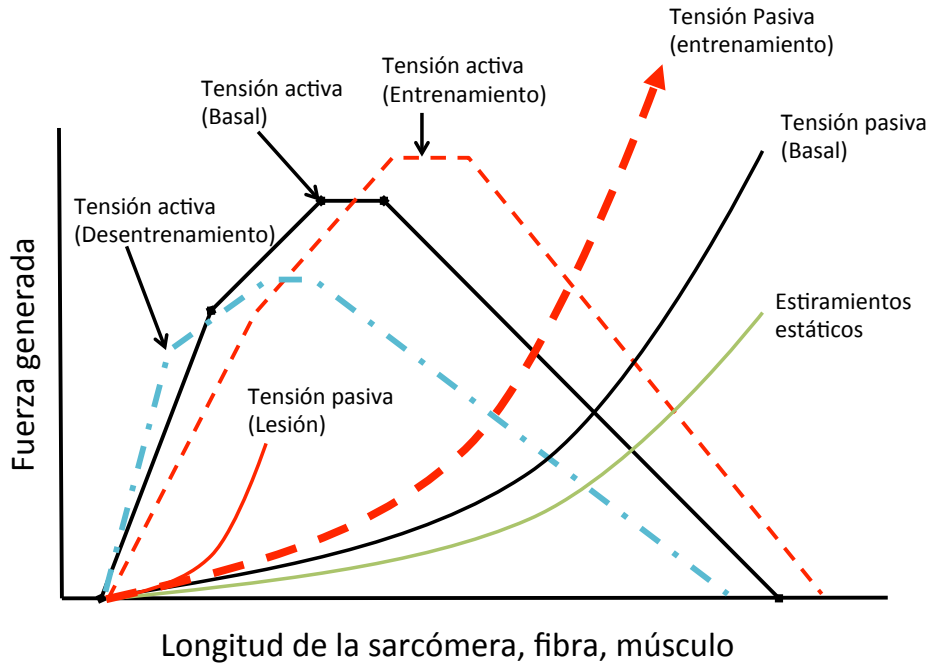
La representación gráfica clásica de esta relación (*curva L-t*) responde a la **teoría de los puentes cruzados** descrita por Huxley en 1957: *la contracción del músculo implica interacción entre los filamentos de las proteínas actina y miosina que, debido a su deslizamiento una respecto a la otra, inducen un acortamiento de las fibras musculares generando a su vez fuerza muscular*. De este modo, la curva típica L-t muestra la capacidad contráctil de un músculo en relación a su longitud o rango articular en condiciones de velocidad de contracción y estimulación muscular constantes (39).

En una curva L-t típica se pueden identificar una longitud de sarcómera donde la interacción entre actina y miosina es óptima y, así, su capacidad para producir fuerza es máxima. Esta región es conocida como **longitud óptima** ( $L_{opt}$ ) (40). Longitudes de fibra mayores y menores respectiva a esa  $L_{opt}$  conllevan menor interacción entre actina y miosina, lo que se traduce en una disminución de la capacidad contráctil.

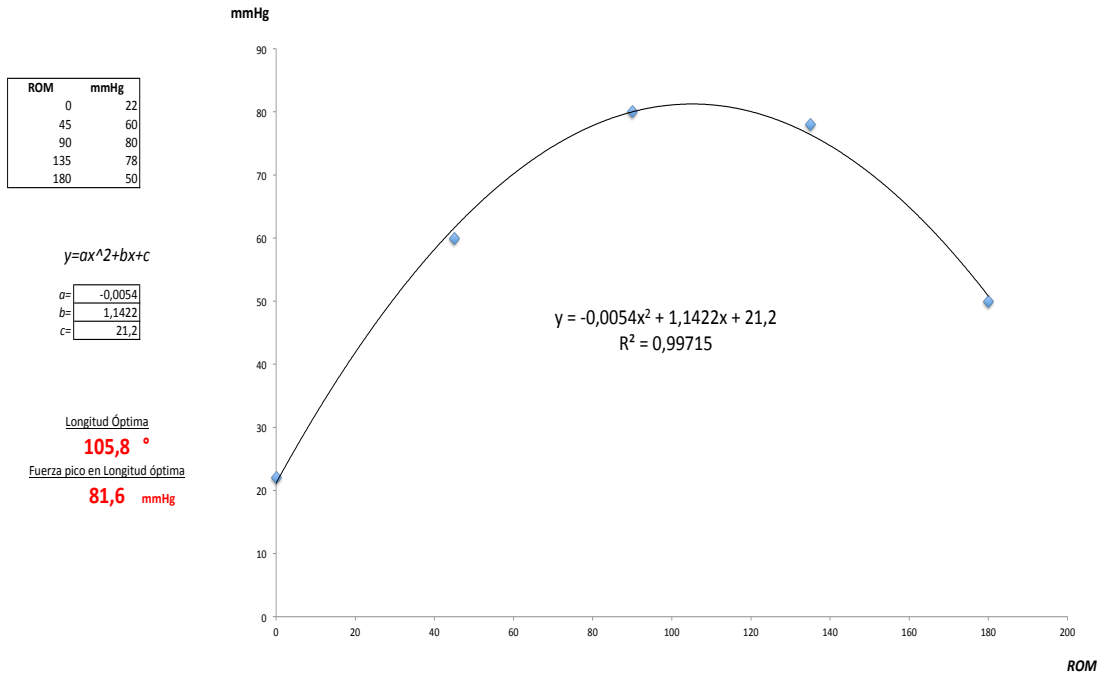
De manera adicional, es importante mencionar que la tensión total generada en un músculo es una resultante de la suma de dos componentes: la *tensión activa*; debida al comportamiento contráctil anteriormente mencionado, y la *tensión pasiva*; debida al comportamiento elástico de los tejidos miofascial y tendinoso. Debido a las propiedades elásticas de los tejidos biológicos, tanto la proteína titina en la sarcómera, como los tejidos fascial y tendinoso de todo el conjunto miotendinoso incrementan progresivamente la tensión acumulada contribuyendo, junto con la curva de tensión activa, a la tensión total generada durante una contracción muscular.



Al igual que el resto de relaciones biomecánicas que tratan de explicar el funcionamiento del sistema neuromuscular, la relación L-t es un constructo dinámico; esto es, susceptible de cambios por entrenamiento, inactividad, lesión o enfermedad. Las adaptaciones positivas provocadas por el correcto entrenamiento (línea discontinua de color rojo en la curva de tensión activa de la siguiente figura) provocarían un desplazamiento de la curva L-t activa hacia arriba y hacia la derecha por adición de sarcómeras en serie (41, 42). Por otro lado, el entrenamiento de fuerza provocaría un desplazamiento hacia la izquierda de la curva de tensión pasiva, contribuyendo en mayor medida a la curva de tensión total generada (41, 43).



Elaboración de la curva longitud-tensión y estimación de la longitud óptima (41).

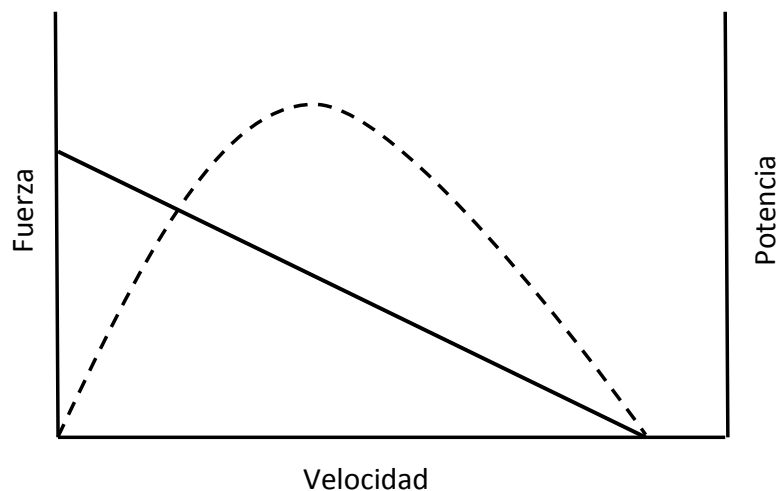


### 4.3. Modificaciones en la relación potencia-fuerza-velocidad

La relación fuerza-velocidad (F-v) representa una característica fundamental de las propiedades musculares que dicta su capacidad de producir fuerza en función del movimiento. Esto es, conforme la velocidad de una acción concéntrica incrementa, menor es la fuerza que se genera durante la contracción (44). Esta premisa es cierta para un músculo o grupo muscular activado a nivel constante y también se podría explicar por la teoría de los puentes cruzados de Huxley (45).

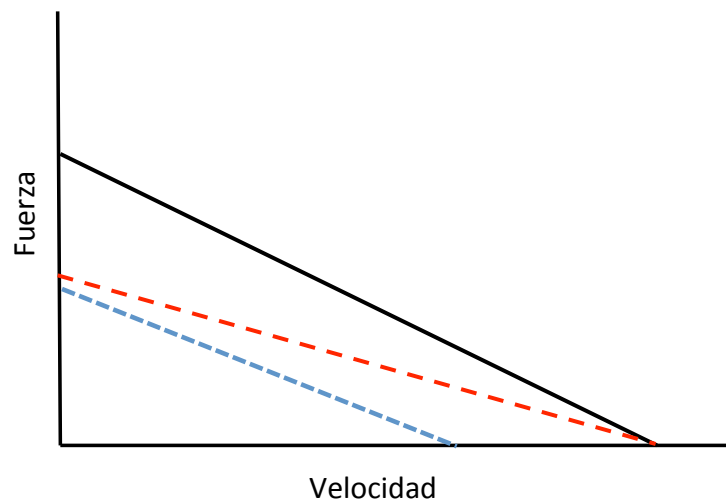
Por otro lado, la potencia muscular (P) es el resultado de combinación de la fuerza (F) y velocidad (v) producidas durante la contracción ( $P = F \cdot v$ ). La potencia muscular constituye un importante objeto de estudio de las ciencias que estudian las capacidades físicas funcionales tanto en el área del deporte, ejercicio y la actividad física, como en las áreas de la salud. En el ámbito sanitario, la potencia y la velocidad están postulándose como variables biomecánicas altamente sensibles (más que la fuerza isométrica) a los cambios funcionales ligados al deterioro intrínseco a diferentes situaciones clínicas (46, 47).

De manera gráfica, los movimientos pluriarticulares han sido representados a través de las relaciones lineal inversa F-v (e hiperbólica P-v):



Este constructo biomecánico F-v podría ser de gran utilidad como guía en el proceso recuperador del deportista lesionado. Mendiguchia et al. (2014) reportaron que los valores de potencia horizontal máxima durante el sprint fueron significativamente inferiores en sujetos que se reincorporaban a la práctica deportiva

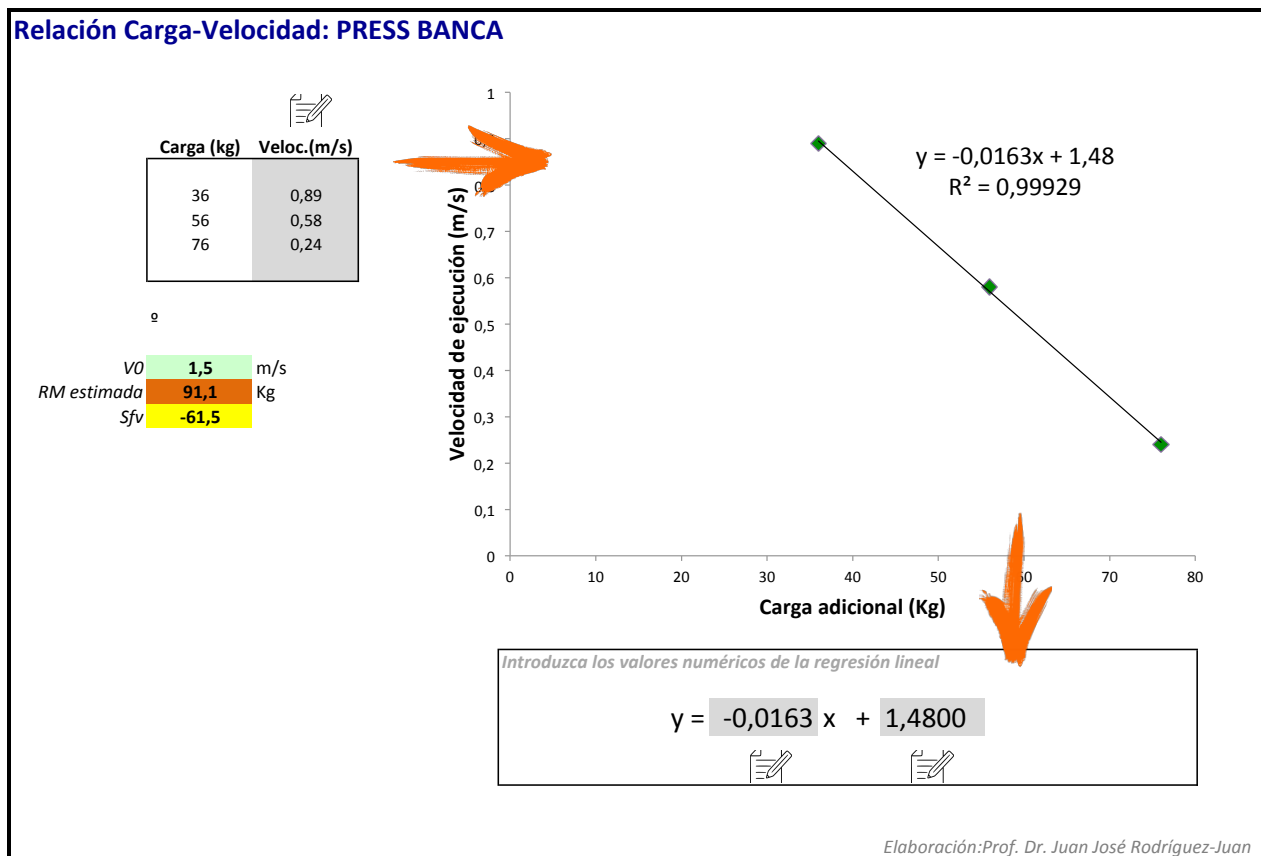
tras haber sufrido una lesión aguda de la musculatura isquiosural. Estos autores, argumentaron que los cambios en la pendiente de la relación lineal F-v (correspondientes con el perfil mecánico F-v) eran relativos a las modificaciones en las cualidades de fuerza aplicada (reducidas en el momento del RTS) y no tanto en las cualidades de velocidad (que no presentaron cambios en el momento RTS) (48, 49) en deportistas jóvenes (línea discontinua roja). Sin embargo, cabe destacar que otros autores (50) reportaron que el envejecimiento podría provocar modificaciones paulatinas tanto en las cualidades de fuerza como en las cualidades de velocidad, por lo que la relación F-v se vería alterada tal y como se representa a través de la línea discontinua azul del siguiente gráfico:



Comprender y medir estos cambios biomecánicos resulta de vital importancia para proporcionar estrategias útiles y específicas de cara a la normalización del funcionamiento del sistema neuromotor. Hasta hace poco tiempo eran requeridos materiales de laboratorio poco accesibles, sofisticados y caros (ej.: sistemas de captación del movimiento tridimensional, plataformas de fuerza, dinamometría isocinética, entre otros) para la determinación de este constructo biomecánico, sin embargo en nuestros días están surgiendo herramientas asequibles, prácticas, intuitivas y portables (ej.: sensor de velocidad lineal, tecnología smartphone, sensores inerciales, entre otros) que hacen posible estas evaluaciones en cualquier entorno, tanto en sujetos deportistas como en diversas poblaciones clínicas.

## \*Relación carga-velocidad

La relación carga-velocidad es un constructo biomecánico proveniente de la relación fuerza-velocidad. Este constructo demuestra que cada porcentaje de la RM (repetición máxima) conlleva una velocidad de ejecución asociada en una relación tan estrecha como la representada por una ecuación de regresión lineal casi perfecta.



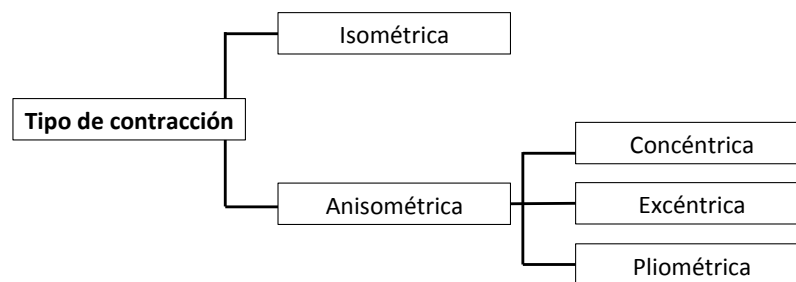
### 4.3. Otras áreas de la biomecánica

- Biomecánica de la técnica deportiva.
  - o Técnica de carrera.
  - o Técnica de los gestos de musculación.
  - o Técnica de los gestos deportivos.
- Biomecánica de los equipamientos deportivos.
  - o Calzado deportivo.
  - o Implementos deportivos.

## Capítulo 5: Entrenamiento de las cualidades físicas: Fuerza

La fuerza puede ser considerada como la cualidad física fundamental (51). La fuerza es el resultado de la capacidad contráctil. El entrenamiento de fuerza es una forma de ejercicio físico basada en la contracción muscular contra cargas externas.

Existen 4 tipos de contracción muscular esenciales:



La capacidad de generar fuerza depende de múltiples factores de carácter supraespinal (activación y excitabilidad cortical), espinal, relativos a la conducción neural eferente (motoneurona), así como de factores periféricos.

### 5.1. La contracción isométrica

La contracción isométrica, o contracción estática, es definida como aquella contracción muscular (incremento en la tensión muscular y actividad neural; **\*concepto de retraso electromecánico**) en el que no se produce ningún cambio en la longitud del grupo muscular implicado.

- ✓ Propiedades clínicas de la contracción isométrica:
  - Aunque es un campo incipiente de la investigación, recientes investigaciones han relacionado la contracción isométrica con un efecto hipoalgésico en tendinopatías (52-55).

- Mantenimiento de la función neuromotora en condiciones de inmovilidad.
  - Mantenimiento de la capacidad contráctil (interacción actina – miosina).
  - Mantenimiento de las funciones histológicas a nivel muscular.
  - Permeabilidad de las membranas celulares biológicas. Bombeo vascular.
- ✓ Limitaciones de la contracción isométrica:
- Inespecificidad respecto gestos cotidianos dinámicos y deportivos de carácter explosivo.
- ✓ Consideraciones clínicas del trabajo isométrico:
- Control del rango articular de trabajo – “Avanzadilla”.
  - Monitorización y control de la intensidad:
    - o Percepción subjetiva de esfuerzo (control de la carga interna).
    - o Percepción de dolor (no exacerbación de dolor).
    - o Dinamometría isométrica (control de la carga externa).
  - Criterios típicos de volumen: 3-5 series; hasta 45 segundos de contracción.
  - Recuperación: hasta 3 minutos entre series isométricas.

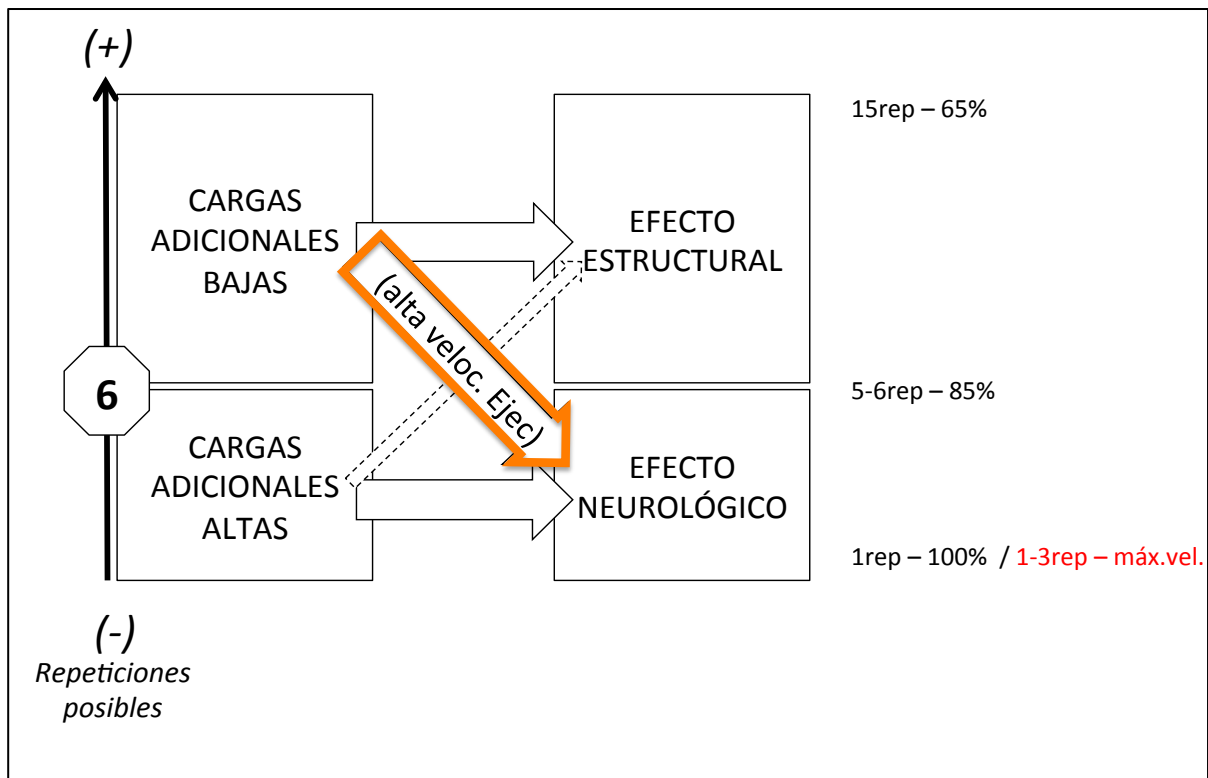
## 5.2. La contracción concéntrica

La contracción concéntrica puede ser definida como aquella contracción muscular que provoca un acortamiento del fascículo y un desplazamiento del rango articular.

- ✓ Dentro de las propiedades clínicas de la contracción concéntrica destacan:
- Constituye el siguiente paso en el avance hacia la consecución de la especificidad.
  - Es un medio para el restablecimiento progresivo del rango de movimiento (activo).
  - Así como también es un medio para el restablecimiento progresivo de la función neuromotora dinámica (mayores niveles de fuerza y velocidad durante un gesto).
- ✓ Consideraciones metodológicas del trabajo concéntrico:



- Las diagonales y técnicas propioceptivas de facilitación del movimiento (tales como la FNP) podrían suponer una primera estrategia clínica para facilitar el movimiento basado en la contracción concéntrica.
- Los componentes de fuerza y velocidad de la función contráctil (relación fuerza-velocidad) deben ser incorporados progresivamente durante el proceso rehabilitador.
- La determinación de una Repetición Máxima NO está aconsejada en el ámbito clínico.
- Existe una potente relación lineal positiva entre la carga externa impuesta (en Kg) y la percepción subjetiva de esfuerzo (representativa de la carga interna). Este criterio puede servir de gran utilidad para el control de la carga durante todo el proceso rehabilitador.
- Las consideraciones metodológicas elementales para la prescripción de entrenamiento de fuerza en un entorno clínico vienen representadas en el siguiente esquema:



- a) El fisioterapeuta deberá tratar de controlar la intensidad del ejercicio en todo momento. Aunque existen diferentes métodos para el control de la intensidad del ejercicio durante un ejercicio de musculación (p.ej.: la velocidad de ejecución o el cálculo directo o indirecto de la Repetición Máxima-RM), en un entorno clínico resulta especialmente práctico y fiable basarse en el esfuerzo percibido (escala RPE de esfuerzo percibido) para controlar dicha intensidad teniendo en cuenta de manera adicional los siguientes criterios:

**¡IMPORTANTE!** Criterios de control de la carga durante un ejercicio de musculación en el ámbito de la rehabilitación:


- No exacerbación del dolor.
- No sincinesias ni movimientos compensatorios.
- No temblor.

- b) Se recomienda encarecidamente NO agotar las “repeticiones posibles” de una serie con una determinada carga añadida. Finalizar una serie de repeticiones hasta la última posible se conoce como “entrenamiento hasta el fallo muscular”. Aunque en el pasado este aspecto ha sido objeto de grandes debates, en la actualidad existe evidencia suficiente para poder afirmar que el entrenamiento hasta el fallo no es una buena estrategia para tratar de conseguir el estímulo óptimo que maximice el rendimiento deportivo, llegando a ser mucho menos recomendable en el entorno de la rehabilitación clínica (56-58). El método de Repeticiones en Reserva (RER) (similar al llamado por otros autores como “carácter del esfuerzo” (28, 29)) debe ser complemento a cualquier variable de intensidad (velocidad, potencia, carga añadida, porcentaje de 1RM) y es un parámetro fundamental para evitar el entrenamiento hasta el fallo muscular.

### **¡IMPORTANTE!**

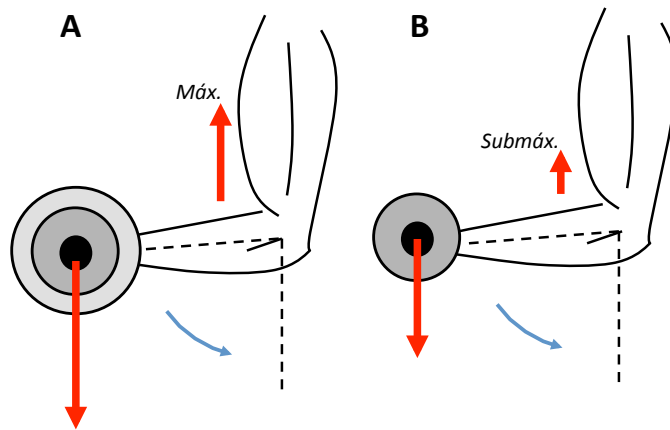
**Evita que tu paciente llegue al fallo muscular durante un ejercicio de fuerza.**

- c) El tiempo de recuperación entre series de ejercicios es un parámetro fundamental en la definición de la carga de entrenamiento. Debido a que el propósito fundamental de un programa de rehabilitación es el restablecimiento de la función neuromotora perdida, es conveniente emplear tiempos de recuperación elevados (>2 – 3 min) para evitar la instauración de fatiga fisiológica (central o periférica) que desencadene compensaciones motrices (o exacerbación del dolor) que afecte la calidad del movimiento. Este criterio es especialmente relevante cuanto mayor sea la precocidad del tratamiento aplicado.

 *Lectura adicional sugerida:* Mínima dosis de entrenamiento efectiva que se requiere para incrementar la fuerza en sujetos entrenados; #ref (59).

### **5.3. La contracción excéntrica**

La contracción excéntrica tiene lugar cuando la resistencia externa es superior a la fuerza generada realizada por el músculo. Esto implica que las contracciones excéntricas implican una elongación activa del tejido muscular en contra de una carga externa. Como se muestra a continuación, la acción excéntrica puede manifestarse tanto en condiciones de esfuerzos máximos (A) como en esfuerzos submáximos (B):



En condiciones de esfuerzos excéntricos de carácter máximo (A), es bien sabido que el sistema neuromuscular es capaz de producir mayores fuerzas relativas en comparación con las acciones musculares isométricas o concéntricas máximas.

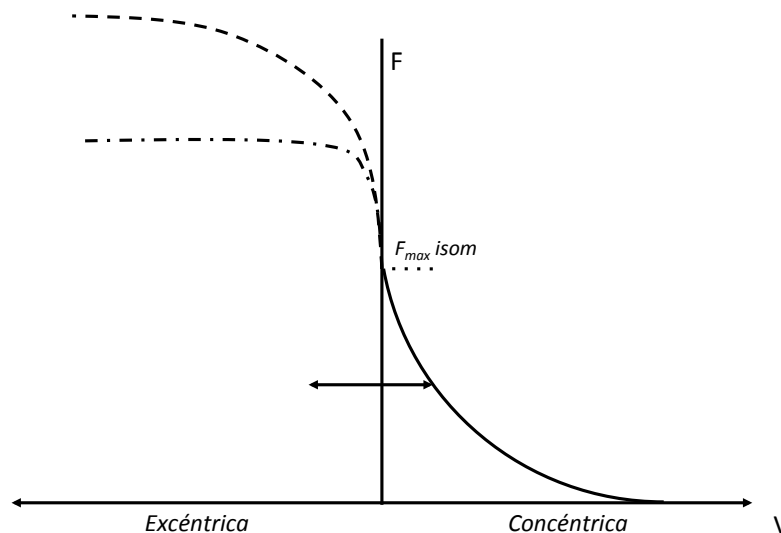
Las características fundamentales de este tipo de contracción son:

- La tensión (o fuerza) máxima generada durante una contracción excéntrica es mayor (<40%) que la producida durante una contracción concéntrica o isométrica.
- El coste metabólico de la contracción excéntrica es menor en comparación con otros tipos de manifestaciones contráctiles.
- Reclutamiento motor durante el excéntrico responde al *Principio del Tamaño*.
- La activación muscular voluntaria es menor durante el excéntrico (determinada por electromiografía de superficie, por estímulos eléctricos superimpuestos, y por la tasa de descarga registrada en la motoneurona (en concéntrico- mayor en ROMs cortos y menor en amplios ROMs; en comparación con el excéntrico- uniforme durante todo el ROM)).
- Excitabilidad e inhibición corticales-espinal (determinados por Estimulación Transcraneal Magnética - TMS) es menor en excéntrico que en otros tipos de contracción.
- Mayor inhibición espinal (determinada por la evaluación del reflejo-H). Rol de las células de Renshaw – Inhibición Recurrente.
- La sensibilidad cortical es mayor durante excéntrico (se especula que es un mecanismo para compensar la inhibición espinal). Diferentes áreas corticales podrían ser activadas durante la contracción excéntrica.

- El cambio en longitud de los fascículos no es diferente durante la contracción concéntrica y la excéntrica  
Ref#(60).

Es importante tener en cuenta que este tipo de trabajo (en el caso de un carácter del esfuerzo alto) ha sido relacionado con una reducción del rendimiento motor, con la alteración del sistema sensitivo-perceptivo-motriz (propiocepción), con modificaciones funcionales; tales como la marcha o la economía de carrera, así como con consecuencias estructurales y metabólicas negativas que podrían durar entre 48h a 10 días de duración post-ejercicio (61), tanto mayores cuanto mayor sea el carácter del esfuerzo.

El trabajo excéntrico presenta incógnitas respecto a la máxima capacidad de generar fuerza en relación a la velocidad de contracción excéntrica. Esto podría tener importantes repercusión clínicas en relativas a la monitorización y control de la carga de entrenamiento basada en excéntrico:



- ✓ Utilidad clínica de la contracción excéntrica.
  - Tratamiento de tendinopatías (según fase de la tendinopatía).
  - Prevención y tratamiento de lesiones musculares.
  - Preparatorio para el trabajo pliométrico.

- Las adaptaciones positivas en la relación L-t tras el entrenamiento parecen no estar vinculadas de manera exclusiva al trabajo excéntrico sino al rango articular en el que se trabaje (42, 62).
- ✓ Consideraciones metodológicas en la aplicación de excéntricos.
  - En la actualidad son muy populares son los dispositivos *isoinerciales*: poleas cónicas, sistemas "yo-yo", etc. En condiciones de laboratorio destacan los dispositivos *isocinéticos (modo excéntrico)*.
  - Es importante considerar que el comportamiento neuromotor (activación cortical, tasa de descarga, reclutamiento motor, comportamiento fascicular, entre otros) durante el excéntrico puede ser totalmente diferente en función del dispositivo utilizado (60).
  - El trabajo excéntrico puro (sin fase concéntrica) aplicado a gestos convencionales de musculación requiere asistencia completa durante la fase concéntrica.
  - Cualquier gesto convencional de musculación conlleva una fase excéntrica cuyos beneficios potenciales cumplen las expectativas del trabajo excéntrico en el ámbito de la rehabilitación.
  - Se recomienda encarecidamente aplicar los principios de progresión y seguridad, así como respetar una recuperación entre sesiones superior a las 48 horas cuando el carácter del esfuerzo durante el trabajo excéntrico sea alto (63).
  - Se recomienda considerar el aprendizaje motor del gesto previo al trabajo excéntrico principal.
  - Se recomienda tener en cuenta las consideraciones metodológicas del entrenamiento neurológico con altas cargas concéntricas cuando el carácter del esfuerzo excéntrico ha sido moderado-alto.
- ✓ Tipos de trabajo excéntrico:
  - Acentuación de la carga excéntrica: estrategia de entrenamiento en la que la carga excéntrica es superior a la carga concéntrica mientras se mantiene la mecánica natural del ejercicio de musculación. Para ello, se requieren dispositivos sofisticados que, sin perturbar el movimiento, liberan la carga justo en la transición del movimiento concéntrico al excéntrico, sobrecargando así la fase excéntrica. Estrategias alternativas más asequibles

pueden ser empleadas para acentuar la carga excéntrica, tales como: (i) recibir ayudas de uno o varios compañeros de entrenamiento que implementan la carga en la fase excéntrica y la liberan en la fase concéntrica o (ii) realizar la fase concéntrica bilateralmente y la fase excéntrica unilateralmente

- Volantes de inercia: utilización de la inercia generada en un dispositivo inercial durante una acción concéntrica previa. Es necesario destacar que, aunque este tipo de entrenamiento es muy popular en los últimos tiempos y además se le pueden atribuir numerosos beneficios potenciales, en la actualidad existe cierta controversia en aquellos meta-análisis que han comparado directamente los efectos del entrenamiento inercial respecto al tradicional, por lo que es complicado establecer conclusiones respecto a la efectividad de este método. Además, resulta complicado monitorizar y ajustar la carga de entrenamiento a las necesidades del deportista. Sin embargo, como aspecto positivo, cabe destacar que puede ser un medio de entrenamiento interesante para aquellos sujetos no familiarizados con estos dispositivos que además presentan niveles de fuerza no muy elevados (64). Destacan por su popularidad los dispositivos “yo-yo” y las poléas cónicas.
- Submáximo-lento (o énfasis de *tempo* excéntrico): se trata emplear un ejercicio de musculación tradicional enfatizando la fase excéntrica a través de un incremento de la duración de la fase excéntrica respecto a la concéntrica complementaria.

#### 5.4. La contracción pliométrica

El movimiento pliométrico (del griego; *plyethein*=aumentar, *metrique*=medida) es la combinación de una contracción excéntrica seguida de una contracción concéntrica en el menor tiempo posible. Aunque los mecanismos no son del todo conocidos, se conoce que durante la contracción pliométrica se genera mayores niveles de fuerza en comparación con otras manifestaciones contráctiles.

La acción pliométrica es la esencia en una gran parte de las posibilidades motrices de la vida cotidiana (subir y bajar escaleras, caminar, corregir un desequilibrio, entre otros) o del contexto deportivo (carrera, sprint, cambios de dirección, lanzamientos, saques y remates en tenis y voleibol, etc.).

- ✓ Utilidad clínica de la contracción pliométrica
  - Modalidad contráctil altamente específica.
  - Prepara al organismo para movimientos rápidos donde se requieren grandes cantidades de fuerza.
  - Estrategia de entrenamiento propioceptivo: husos neuromusculares.
- ✓ Metodología del entrenamiento pliométrica:
  - Tipos de acciones pliométricas: lanzamientos, saltos, tracciones.
  - Multitud de variables que definen la carga pliométrica: número de acciones motrices (lanzamientos, saltos, apoyos) magnitud de la fase negativa (, magnitud de la fase positiva.
  - Puesto que el gesto pliométrico es un gesto agresivo para el sistema locomotor, es especialmente importante aplicar de manera correcta el principio básico del acondicionamiento físico de *Progresión de las cargas*.

Fases del trabajo pliométrico :

  1. Acondicionamiento y coordinación – Aprendizaje del gesto pliométrico.
  2. Fuerza pliométrica – Musculación convencional.
  3. Absorción excéntrica – Énfasis en fase excéntrica.
  4. Potencia pliométrica – Pliométrico.
  - Se recomienda tener en cuenta las consideraciones metodológicas del entrenamiento neurológico con altas cargas concéntricas.
  - Medios: Terapia manual (Reactive Neuromuscular Training – RNT) (65), Terapia FNP – Estabilización Rítmica, gestos de musculación, saltos, lanzamientos, carrera, sprint.



## Capítulo 6: Entrenamiento de las capacidades físicas: Resistencia

La resistencia es la capacidad de soportar un esfuerzo en relación al tiempo. Se dice que una persona es más resistente que otra cuando es capaz de mantener más tiempo la ejecución de una determinada tarea motriz.

### 6.1. Utilidad clínica del entrenamiento de resistencia:

- En situaciones clínicas, la correspondencia la región de "meseta" en el consumo de oxígeno (=  $VO_2$  max) durante un test de intensidad incremental es difícil de determinar. De este modo surge el término "consumo de oxígeno pico" ( $VO_2$  pico), que es el máximo valor de consumo de oxígeno alcanzado durante un test cardiopulmonar.

Aunque en la actualidad existe un amplio debate en referencia a la utilidad clínica de valores máximos o valores pico (66, 67), los valores de  $VO_2$  pico también tienen un altísimo interés clínico.

- A pesar de la importancia reconocida del ejercicio aeróbico en un entorno clínico, la "carga de entrenamiento aeróbico" (intensidad, duración y frecuencia) no está especificada y permanece poco clara para poblaciones especiales.
- A diferencia de épocas pasadas cuando el ejercicio ligero era considerado la única opción en la terapia basada en ejercicio físico, en los últimos años el ejercicio "vigoroso" (ACSM) se está postulando como una forma de entrenamiento ligada a mayores beneficios en diversas poblaciones clínicas (68).

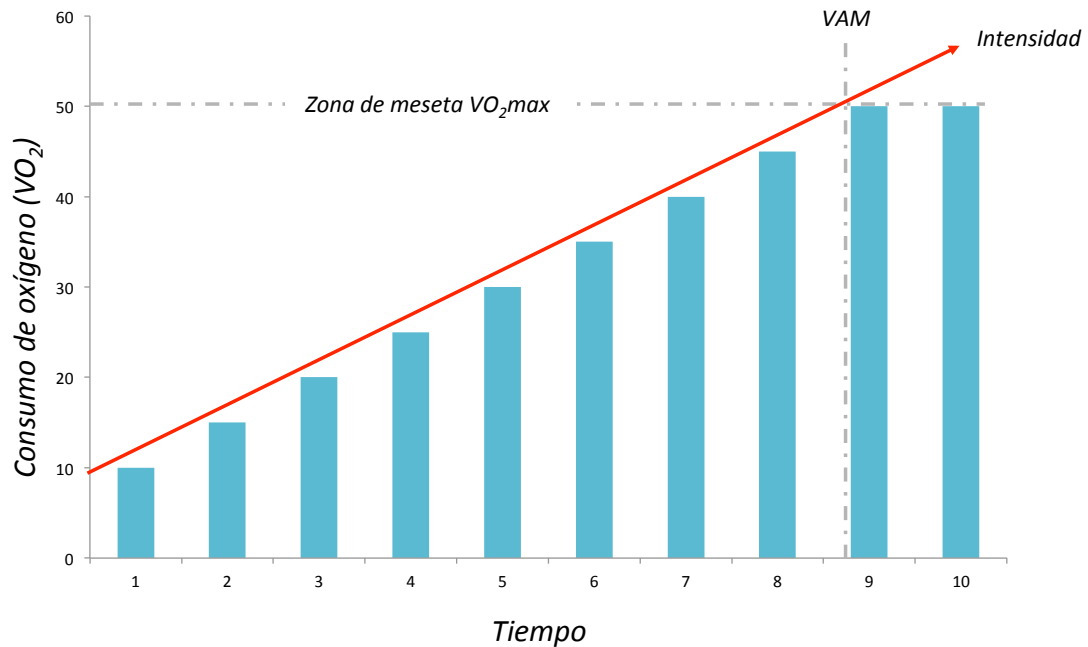
## 6.2. Monitorización y control del entrenamiento de resistencia:

### 6.2.1. Consumo máximo de oxígeno

La determinación del  $\dot{V}O_{2max}$  así como las intensidad de ejercicio asociadas a dicho valor (y las fracciones porcentuales de dicho valor) constituyen una referencia sólida para la monitorización y el control del entrenamiento de resistencia.

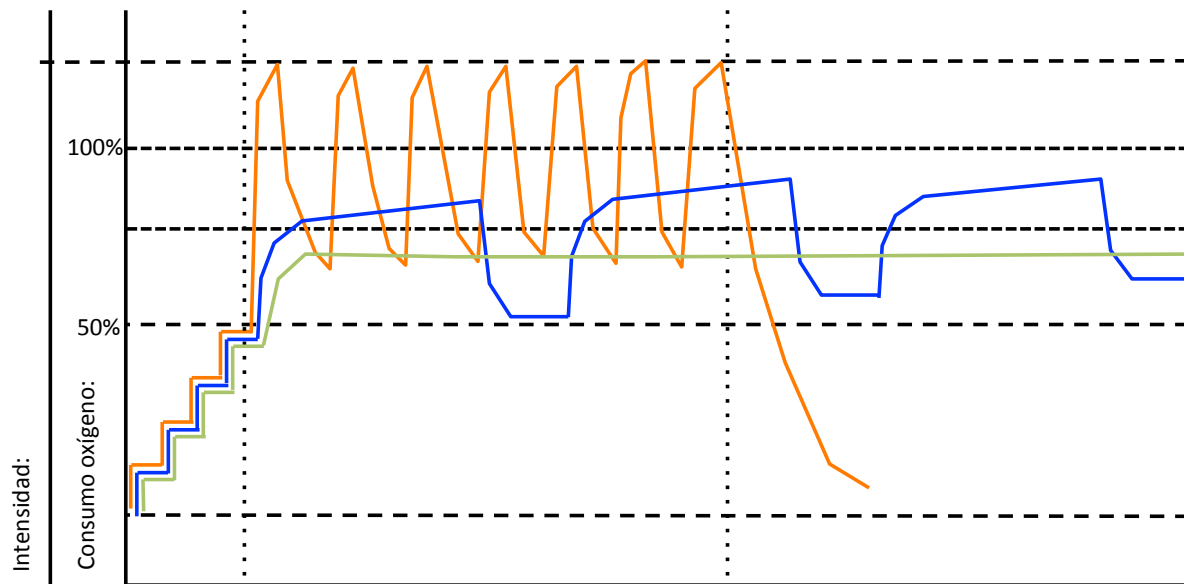
La evaluación de la función cardiorrespiratoria se lleva a cabo directamente en condiciones de laboratorio (protocolos estandarizados sobre cicloergómetro o tapiz rodante) o indirectamente sobre el terreno (protocolos de carrera, bicicleta o natación) donde se somete al deportista a un test controlado (habitualmente de tipo incremental) para la determinación del consumo máximo de oxígeno (directamente- análisis de gases, o indirectamente- Frecuencia cardíaca, registro de la velocidad aeróbica máxima, entre otros).

Durante este tipo de test incrementales se monitoriza la respuesta central (frecuencia cardíaca y volumen sistólico) y periférica (diferencia arteriovenosa, tensión arterial, saturación de oxígeno en sangre) del sistema cardiovascular y respiratorio durante el ejercicio hasta la extenuación. Durante el test, las variables fisiológicas de la frecuencia cardíaca y consumo de oxígeno tienen un comportamiento lineal hasta un momento en el que alcanzan una meseta, a pesar de seguir incrementando la intensidad del test (Ver sección 3.4.).



Tras la realización de este tipo de test se obtienen de manera muy precisa los umbrales (aeróbicos y anaeróbicos) de trabajo individuales, así como la respuesta cardiovascular objetiva (FC, saturación de oxígeno, tensión arterial, entre otras) del sujeto evaluado a diferentes intensidades.

En el siguiente gráfico se pueden observar de manera esquemática la dinámica del consumo de oxígeno durante entrenamientos *típicos* en función de la velocidad aeróbica máxima (VAM) y del consumo de oxígeno para deportistas de fondo:



Estrategias generales de entrenamiento:

- Continuo (60-85% VVO<sub>2</sub>max) – Eficiencia aeróbica.
  - Interválico Corto (>95% VVO<sub>2</sub>max) – Incremento del consumo de oxígeno.
  - Interválico Largo (75-90% VVO<sub>2</sub>max) – Eficiencia aeróbica-anaeróbica.
- \*% VVO<sub>2</sub>max; porcentaje de la velocidad (intensidad) asociada al consumo máximo de oxígeno.*

👁 Lectura adicional recomendada: ref#(69): predicción del consumo máximo de oxígeno a través de la percepción subjetiva de esfuerzo.

### 6.2.2. Frecuencia cardiaca

Debido a su mayor accesibilidad, ante las limitaciones que impiden realizar un control de exhaustivo para la determinación del consumo de oxígeno, la **monitorización del estado del sistema nervioso autónomo a través de la frecuencia cardiaca (FC)**, ha sido la variable más extendida en el control del entrenamiento de resistencia tanto en poblaciones clínicas como en deportivas. En gran medida, esto se debe a que las medidas de la FC requieren equipamientos que no son excesivamente caros, eficientes en su uso y en la fácil obtención de resultados instantáneos. Por todo ello, la monitorización de la FC pueden ser aplicados rutinariamente de manera ininterrumpida y simultánea a múltiples atletas.

No obstante, aunque el la monitorización de la FC no se puede considerar como un índice de referencia definitivo y único. Esto probablemente se debe al déficit de consistencia metodológica hallado en la literatura científica existente (70). Se recomienda el empleo de dispositivos que hayan demostrado ser precisos (p.ej: *Fitbit* no es preciso en sujetos con fibrosis quística (71)), junto con otras formas de monitorización.

\*Problemática adicional del control del ejercicio por la monitorización de la frecuencia cardiaca en el ámbito de la rehabilitación: uso de medicación, condición física, sexo, edad, afección médica, etc. convierten la variable de la frecuencia cardiaca en una herramienta en ocasiones poco fiable *per se* para el control del entrenamiento con un fin clínico.

Clasificación de la intensidad del ejercicio aeróbico basado en respuestas fisiológicas y percepciones de esfuerzo (Adaptado de la ACSM):

	<b>%VO2max</b>	<b>%FC pico</b>	<b>RPE 6 - 20</b>
<b>Ligero</b>	37 - 45	57 - 63	9 - 11
<b>Moderado</b>	46 - 63	64 - 76	12 - 13
<b>Vigoroso</b>	64 - 90	77 - 95	14 - 17
<b>Máximo</b>	> 91	> 95	> 18

👁 Lectura adicional recomendada: ref#(72); monitorización de la frecuencia cardiaca: aplicaciones y limitaciones.

### 6.2.3. Otras variables de interés clínico

- Tensión arterial
- Saturación de oxígeno



## Capítulo 7: Entrenamiento de las cualidades física: Coordinación

La coordinación es la capacidad del organismo de concatenar acciones motrices de manera eficiente para la consecución de un objetivo motor. Desde los inicios del siglo XX, la coordinación del movimiento humano ha sido arduo objeto de estudio entre las áreas de conocimiento que abordan el aprendizaje y el control del movimiento.

La coordinación permite conseguir movimientos ordenados y dirigidos hacia la consecución eficiente de un determinado gesto considerado como referencia; técnica deportiva (ámbito deportivo) o movimiento "normal" (ámbito clínico).

En la neurofisiología moderna se considera que el cuerpo humano "no entiende de músculos, sino de movimientos", que son soluciones individuales realizadas en un contexto variable, para la consecución eficiente (consciente o inconsciente) de un objetivo motor. Esto es, una *Interacción individuo-actividad-ambiente* que implica procesos perceptivos, cognitivos y motores en el control del movimiento coordinado.

Toda afección médica o quirúrgica conlleva una alteración del funcionamiento del sistema nervioso que, en esencia (p.ej.: alteración de la actividad cortical excitatoria/inhibitoria inter-hemisférica, o la «descoordinación» intra- e inter-muscular) y en efecto (*output* motor: variabilidad motora de objetivo), puede ser considerada una alteración de las capacidades coordinativas del organismo en diferentes niveles, diferentes sistemas. De este modo, la rehabilitación de la función neuromotora se puede entender como un ejercicio ordenado y sistematizado para el restablecimiento de dichas capacidades.

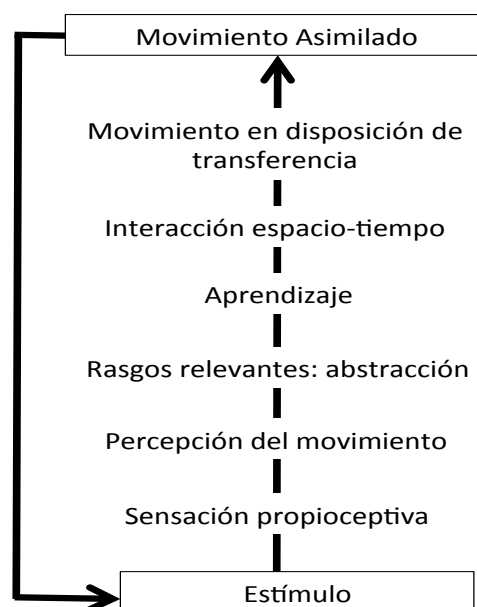
En el ámbito clínico, toda afección médica o quirúrgica podría interpretarse como una pérdida total o parcial de los recursos perceptivos, cognitivos y motrices que determinan el movimiento "normal". Con la asunción de esta premisa, el objetivo de todo proceso rehabilitador se convierte en restaurar en medida de lo posible tales recursos perceptivos, cognitivos y motrices que garanticen la ejecución de un gesto "normal" que resulte de utilidad para el paciente.

“La única forma de saber qué movimiento es “normal” para un paciente [consciente] es preguntarle si se siente normal ejecutándolo; esto es, preguntarle y observar si dicho movimiento (i) puede ejecutarlo (ii) sin dolor, (iii) sin temor, (iv) de manera inconsciente y (v) sin esfuerzo añadido”.

(Adam Meakins)

La rehabilitación, al igual que la neurorrehabilitación, de modo general, tendrá el objetivo de mantener las capacidades y habilidades motrices existentes, el restablecimiento de las capacidades y habilidades perdidas y el aprendizaje de nuevas destrezas (esto es, movimientos y funciones coordinadas) (73). Desde este punto de vista, resultan fundamentales los procesos de **aprendizaje perceptivo-cognitivo-motor** mediante los que se adquieren, se consolidan y se integran en el contexto soluciones motrices coordinada. En términos generales, el proceso de aprendizaje motor debe organizarse: de lo lento a lo rápido, de lo simple a lo complejo, de lo local-analítico a lo global-funcional, de lo consciente-centrado en la actividad a lo automático-centrado en el contexto, de rangos de movilidad restringida a todo el rango funcional, de intensidad leve a alta intensidad.

Proceso de asimilación del movimiento (modificado de Aguirre-Zabaleta; (74)):





## Capítulo 8: Entrenamiento de las cualidades físicas: Flexibilidad

La flexibilidad es el rango articular (ROM) de una articulación o conjunto de articulaciones.

Tradicionalmente, esta cualidad física ha sido considerada como un elemento fundamental tanto en el ámbito del rendimiento deportivo como en la prevención y tratamiento de lesiones en el aparato locomotor. Sin embargo, tales asunciones generales no han sido acompañadas de evidencia científica a lo largo de los años.

A priori, la flexibilidad puede considerarse una cualidad física elemental en aquellos deportes basados en "estética" (ej. gimnasia rítmica o deportiva). Desde un punto de vista lógico, un gimnasta debe alcanzar unos rangos articulares extremos que determinarán la excelencia en la ejecución práctica. No obstante, incluso en dichas situaciones, el incremento del ROM pasivo no significa necesariamente un incremento del ROM funcional. Dichas disciplinas exigen una combinación óptima entre flexibilidad y fuerza.

En deportes "no basados en la estética", mayor flexibilidad no suele ser sinónimo de éxito deportivo. No obstante, las limitaciones del rango articular en ciertas articulaciones podrían condicionar un sobreuso de otras (p.ej. relación entre déficit de flexión dorsal de tobillo y tendinopatía rotuliana). En cualquier caso, la evidencia científica no ha podido establecer una relación causal entre incremento del ROM y prevención de lesiones. La probabilidad de sufrir una lesión parece estar determinada por muchos otros factores adicionales y no solo por el déficit en el rango de movimiento de una articulación.

### 8.1. Tipos esenciales de estiramiento:

- Activos / Pasivos; dependiendo de si se realiza el estiramiento utilizando su propia tensión muscular para mover un miembro hasta una posición extrema o si usa la gravedad, la inercia una máquina o un compañero.

- Estáticos / Dinámicos; dependiendo si el límite del ROM es mantenido o es cambiado con movimientos lentos o rápidos a lo largo del tiempo de estiramiento.

## 8.2. Adaptaciones por entrenamiento:

El uso de estiramientos estáticos antes de la práctica deportiva, aunque es una práctica muy común, en los últimos tiempos ha sido fuertemente cuestionada en ámbito de la prevención de lesiones.

En nuestros días parece comúnmente aceptado que tras la realización de un estiramiento estático prolongado (>60") se produce una reducción de la máxima fuerza contráctil y de la potencia muscular (fuerza explosiva) por mecanismos no del todo conocidos. Entre las teorías explicativas de dicho **cambios (agudos)** se encuentran:

- Teoría neural: es la más plausible. Evidenciada por disminuciones en la actividad electromiográfica (EMG) que no ayudan a discernir si las causas son pre- o post-sinápticas (placa motora). Trajano et al. (2017) dilucidaron que "la pérdida de fuerza inducidas por el estiramiento podrían ser explicadas por una reducción en el comando motor desde el sistema nervioso central al músculo (75).
- Teorías mecánicas: tratan de justificar que las pérdidas de fuerza podrían ser consecuencia de una disminución de la rigidez no patológica (*stiffness*) de la unidad miotendinosa; en especial, por un incremento en la distensibilidad (*compliance*) del tendón.

En relación a los **cambios crónicos de ROM** tras un protocolo de estiramientos (>3 semanas). Tradicionalmente se ha considerado que los cambios de rango articular podrían ser explicados por diferentes teorías:

- Teoría sensorial: Incremento de la tolerancia a la sensación molesta asociada a la tensión de estiramiento.
- Teoría mecánica: Disminución de la resistencia al movimiento pasivo por:
  - Una disminución de la rigidez (*stiffness*) tisular y articular.
  - Modificaciones en la arquitectura muscular: incremento en la longitud de las fibras musculares.

De acuerdo con la revisión sistemática de Freitas et al. (2017): el estiramiento estático influye levemente sobre el incremento de la tolerancia a la tensión pasiva, mientras que no parece tener efectos sobre las propiedades miotendinosas y articulares (*stiffness*).

### **Consideraciones terapéuticas:**

El incremento del ROM constituye un objetivo terapéutico en multitud de situaciones clínicas.

La fisioterapia contiene gran variedad de técnicas para la recuperación del ROM perdido, no solo el estiramiento pasivo.

No se puede afirmar que los estiramientos tengan el poder de prevenir lesiones de carácter músculo-esquelético.

Los estiramientos disminuyen la capacidad contráctil y la fuerza explosiva. Consideraciones para el calentamiento.

Debido al posible daño tisular post-ejercicio, los estiramientos NO deben aplicarse de manera intensa tras una sesión de entrenamiento o una competición. En todo caso, si se realizan, deben ser llevados a cabo de manera muy suave y nunca superar los 30 segundos. Consideraciones para la vuelta a la calma.

Los estiramientos intensos no deben aplicarse en grupos musculares que sufren en fenómeno DOMS ("agujetas").

### **8.3. Recuperación del ROM como objetivo terapéutico:**

Desde la perspectiva de la rehabilitación de un paciente que ha perdido ROM por una afección médica o quirúrgica creemos que el objetivo orientado al restablecimiento del ROM perdido podría plantearse:

1º) Recuperando progresivamente los rangos pasivos de movimiento perdidos: mediante las técnicas pasivas, activas o activo asistidas, provenientes de la terapia manual u otras técnicas especializadas.

2º) **Principalmente**, recuperando los rangos funcionales perdidos (Sección 4.2. Relación biomecánica longitud-tensión): entrenamiento de restablecimiento del rango articular basado en la **fuerza** (con incremento paulatino del ROM).

👁Lectura recomendada: ref#(76).

#### 8.4. Monitorización y control de los cambios en el ROM:

No existe un test general que proporcione valores representativos de la flexibilidad del cuerpo humano visto como un conjunto.

Los test suelen ser **específicos de cada región anatómica** (articulaciones, músculos y tejido conectivo), de modo que el rango de movimiento de una o varias articulaciones no suele proporcionar una información acerca del estado de otras articulaciones. Existen test que evalúan conjuntos articulares (ej.: el *sit-and-reach test*) no exento de limitaciones metodológicas.

Las pruebas más precisas para evaluar la flexibilidad se llevan a cabo con **goniometría** y los resultados son proporcionados en grados (º). El manejo del goniómetro es crítico en la realización de mediciones válidas y fiables, y requiere un profundo conocimiento anatómico de huesos, músculos y articulaciones, así como el seguimiento de protocolos de medición estrictos adaptados a cada región anatómica.

“La estimación visual puede proporcionar una idea del rango articular, sin embargo es una forma imprecisa en las medidas del ROM”

ACSM (25)

👁Lectura recomendada: 2010\_McHugh\_To stretch or not to stretch- the role of stretching in injury prevention and performance

## Capítulo 9: Entrenamiento de las cualidades físicas: Velocidad

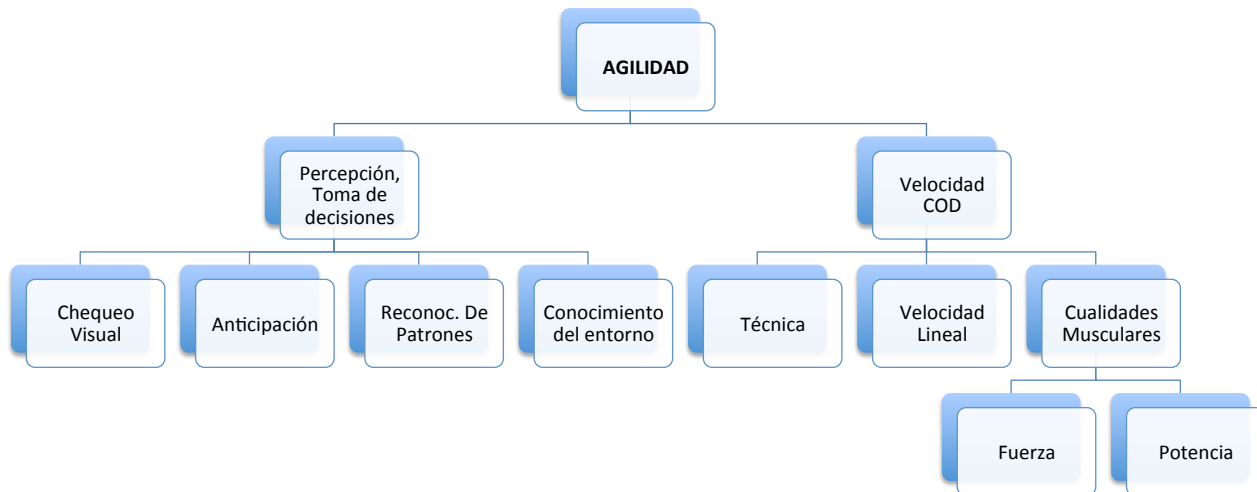
De acuerdo con la perspectiva newtoniana, la velocidad puede ser considerada como una cualidad física compleja derivada de la aplicación rápida de fuerza: “El cambio de reposo o de movimiento de un cuerpo es directamente proporcional a la fuerza motriz impresa y ocurre según la línea recta a lo largo de la cual aquella fuerza se aplica” (2ª ley de la termodinámica).

La aplicación de fuerza condicionará un desplazamiento (aceleración) del cuerpo humano ( $F=m \cdot a$ ). En este sentido, si la fuerza o sucesión de fuerzas se aplica en una misma dirección, el movimiento resultante será lineal. Estaríamos refiriéndonos a un sprint, un salto vertical u horizontal. Cuanto mayor sea la fuerza aplicada, mayor será la aceleración y por lo tanto, la **velocidad lineal**.

Si la aplicación de fuerzas sucesivas se realiza en diferentes direcciones, el movimiento resultante no será lineal; estaríamos refiriéndonos a aceleraciones sucesivas que cambian la dirección del movimiento (COD; del inglés: *Change of direction*). Este razonamiento nos conduce a lo que tradicionalmente se ha considerado como una cualidad física básica derivada de la velocidad: la **agilidad**, y resulta determinante en el rendimiento deportivo.

👁 Lectura adicional recomendada: cambios de dirección en el deporte: ref#(77)

En el siguiente gráfico (modificado de Young et al. (2002) (78) podemos ver los factores que determinan la efectividad en los cambios de dirección, todos ellos son factores a tener en cuenta en el diseño de tareas motrices con un fin rehabilitador en pacientes deportistas cuyas disciplinas deportivas donde los cambios de dirección resulten determinantes para lograr el éxito (ej.: todos los deportes colectivos, esquí, deportes de raqueta).



Modificado de Young et al. (2002) (78)

De este modo nos podemos encontrar con cuatro tipologías de deportista con necesidades de entrenamiento totalmente diferentes :

- a) Rápido de movimientos, Rápido de cognición: mantener
- b) Rápido de movimientos, Lento de cognición: mejorar toma de decisiones
- c) Lento de movimientos, Rápido de cognición: mejorar velocidad COD
- d) Lento de movimientos, Lento de cognición: trabajar todo.

Tiempo de reacción: simple y discriminativo (Consideraciones clínicas)

### 9.1. Velocidad en rehabilitación:

Es bien sabido que la velocidad es un factor clave del éxito deportivo en muchos gestos y disciplinas deportivos. Como rehabilitadores de la función motora perdida, esto debería estar muy presente en el ámbito de la rehabilitación un gesto deportivo (principio fundamental de *especificidad* del acondicionamiento físico). Esto quiere decir que el fisioterapeuta debería entender la naturaleza técnica del gesto que debe rehabilitar, de manera que, si debe rehabilitar; por ejemplo, una luxación de hombro de jugador de balonmano, deberá entender que los requerimientos funcionales de la articulación de dicho deportista contemplan que la articulación glenohumeral debe alcanzar altísimas velocidades angulares (ej.: 9000°/s durante un lanzamiento) durante determinados gestos en el contexto deportivo. La rehabilitación de dicho gesto debe

contemplar -de manera progresiva- la implicación de gestos motrices cada rápidos hasta someter al sistema neuromotor a funcionales previas a la aparición de la lesión.

Asimismo, la rehabilitación de actividades cotidianas deberían contemplar el factor velocidad de ejecución. A modo de ejemplo, es bien sabido que el gesto cotidiano de **levantarse de una silla** es una acción que podríamos considerar de carácter explosivo que debe ser realizada a velocidades considerablemente altas. La pérdida de velocidad durante esta tarea motriz cotidiana es un indicador muy potente del declive funcional asociado al envejecimiento (47, 79).

Del mismo modo, muchos test del ámbito sanitario tratan de registrar el tiempo invertido el cumplimiento de una determinada tarea motriz realizada en un espacio determinado (velocidad= espacio/tiempo). De este modo, la **velocidad de la marcha** constituyen una referencia muy representativa de la funcionalidad en la vida cotidiana. La lentitud en el movimiento que cursa con el envejecimiento o con la gravedad de diversas afecciones médicas o quirúrgicas es un **fenómeno biológico universal** y está asociado al rendimiento integrado de numerosos sistemas orgánico que rigen el funcionamiento del cuerpo humano (80). La disminución en la velocidad de la marcha está relacionada con el empeoramiento de la salud incluyendo tasa de ingreso hospitalario caídas, discapacidad y mortalidad (81), incluso puede ser considerada un indicador de predicción de hospitalización y mortalidad en importantes poblaciones clínicas, como es el caso de la EPOC, o Enfermedad pulmonar obstructiva crónica, que afecta a casi el 10% de la población adulta española (82). La evaluación de la marcha forma parte de otras baterías de test tales como la evaluación de la fragilidad en ancianos.

Existe una amplia variedad de protocolos de para la evaluación de la marcha:

- a) Según ritmo requerido para la ejecución del test: solicitando al paciente que (i) camine a un ritmo "normal" elegido por él/ella, o (ii) a máxima velocidad posible hasta completar distancia.
- b) Según tipo de inicio: estático o lanzado
- c) Según distancia: 4-500m; siendo más frecuente evaluar velocidad de marcha con pruebas de 4-15m.

👁 Lectura recomendada: ref#(83) Necesidad de emplear test rápidos para testar las capacidades reales de poblaciones clínicas especiales (niños).

## 9.2. Procedimientos generales para el entrenamiento de la velocidad

- Incremento de la fuerza máxima ( $F_0$ ): métodos basados en sobrecargas (Ej.: musculación, arrastres, paracaídas)
- Incremento de la fuerza rápida ( $V_0$ ): altas velocidades de ejecución (Ej.: medios de facilitación)
- Eficiencia pliométrica: Métodos basados en el ciclo de estiramiento acortamiento (Ej. Saltos y multisaltos, chalecos lastrados, entre otros).
- Eficiencia coordinativa: métodos basados en la coordinación de la habilidad motriz rápida (Ej. Cadencia en sprint, coordinación COD).

## 9.3. Monitorización y control de la velocidad y COD

- Test de velocidad de ejecución en actividades cotidianas:
  - Test de velocidad de marcha: ref#(81)
  - Test de levantarse de una silla: ref#(47)
- Test de sprint. Perfil F-v en sprint y su uso en la rehabilitación y prevención de lesiones musculares (48, 84)
- Test de cambios de dirección - COD (Agilidad): ref#(85)



## Referencias Bibliográficas

1. Tipton CM. Susruta of India, an unrecognized contributor to the history of exercise physiology. *Journal of applied physiology*. 2008;104(6):1553-6.
2. Organización Mundial de la Salud O. Recomendaciones mundiales sobre actividad física para la salud. Suiza2010 [
3. Grimby G, Frandin K. On the use of a six-level scale for physical activity. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*. 2018;28(3):819-25.
4. Mattson MP. Hormesis defined. *Ageing Res Rev*. 2008;7(1):1-7.
5. Hickson RC, Hagberg JM, Ehsani AA, Holloszy JO. Time course of the adaptive responses of aerobic power and heart rate to training. *Medicine and science in sports and exercise*. 1981;13(1):17-20.
6. Hausswirth C, Le Meur Y. Physiological and nutritional aspects of post-exercise recovery: specific recommendations for female athletes. *Sports medicine*. 2011;41(10):861-82.
7. Dupuy O, Douzi W, Theurot D, Bosquet L, Dugue B. An Evidence-Based Approach for Choosing Post-exercise Recovery Techniques to Reduce Markers of Muscle Damage, Soreness, Fatigue, and Inflammation: A Systematic Review With Meta-Analysis. *Front Physiol*. 2018;9:403.
8. Hohenauer E, Taeymans J, Baeyens JP, Clarys P, Clijsen R. The Effect of Post-Exercise Cryotherapy on Recovery Characteristics: A Systematic Review and Meta-Analysis. *PloS one*. 2015;10(9):e0139028.
9. Mujika I, Halson S, Burke LM, Balague G, Farrow D. An Integrated, Multifactorial Approach to Periodization for Optimal Performance in Individual and Team Sports. *International journal of sports physiology and performance*. 2018;13(5):538-61.
10. Meakins A. Road to recovery graph. *British journal of sports medicine*. 2015;49(8):494.
11. Blanch P, Gabbett TJ. Has the athlete trained enough to return to play safely? The acute:chronic workload ratio permits clinicians to quantify a player's risk of subsequent injury. *British journal of sports medicine*. 2016;50(8):471-5.
12. Gabbett TJ, Kennelly S, Sheehan J, Hawkins R, Milsom J, King E, et al. If overuse injury is a 'training load error', should undertraining be viewed the same way? *British journal of sports medicine*. 2016;50(17):1017-8.
13. Fyfe JJ, Bishop DJ, Stepto NK. Interference between concurrent resistance and endurance exercise: molecular bases and the role of individual training variables. *Sports medicine*. 2014;44(6):743-62.
14. Berryman N, Mujika I, Bosquet L. Concurrent Training for Sports Performance: The Two Sides of the Medal. *International journal of sports physiology and performance*. 2018:1-22.
15. Sasso JP, Eves ND, Christensen JF, Koelwyn GJ, Scott J, Jones LW. A framework for prescription in exercise-oncology research. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*. 2015;6(2):115-24.

16. Halson SL. Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sports medicine*. 2014;44 Suppl 2:S139-47.
17. Tibana RA, de Sousa NMF, Cunha GV, Prestes J, Fett C, Gabbett TJ, et al. Validity of Session Rating Perceived Exertion Method for Quantifying Internal Training Load during High-Intensity Functional Training. *Sports (Basel)*. 2018;6(3).
18. Gabbett TJ, Nassis GP, Oetter E, Pretorius J, Johnston N, Medina D, et al. The athlete monitoring cycle: a practical guide to interpreting and applying training monitoring data. *British journal of sports medicine*. 2017;51(20):1451-2.
19. Ryan JM, Cassidy EE, Noorduyn SG, O'Connell NE. Exercise interventions for cerebral palsy. *Cochrane Database Syst Rev*. 2017;6:CD011660.
20. Slade SC, Dionne CE, Underwood M, Buchbinder R. Consensus on Exercise Reporting Template (CERT): Explanation and Elaboration Statement. *British journal of sports medicine*. 2016;50(23):1428-37.
21. López-Chicharro J, Fernández-Vaquero, A. *Physiology of exercise*. Madrid, España: Editorial Médica Panamericana; 2008.
22. Butler DS, Moseley G.L. . *Explaining pain*2010.
23. Douglas J, Pearson S, Ross A, McGuigan M. Eccentric Exercise: Physiological Characteristics and Acute Responses. *Sports medicine*. 2017;47(4):663-75.
24. Lieber RL, Friden J. Functional and clinical significance of skeletal muscle architecture. *Muscle & nerve*. 2000;23(11):1647-66.
25. In Riebe D, In Ehrman, J. K., In Liguori, G., & In Magal, M. . *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription*. 10th ed. Kluwer W, editor. Philadelphia2018.
26. Lee DC, Sui X, Ortega FB, Kim YS, Church TS, Winnett RA, et al. Comparisons of leisure-time physical activity and cardiorespiratory fitness as predictors of all-cause mortality in men and women. *British journal of sports medicine*. 2011;45(6):504-10.
27. Harman E. Strength and power: A definition of terms. *Nat Strength Cond J Sport Sci*. 1993;7:55-64.
28. Gonzalez Badillo JJ, Gorostiaga EM. *Fundamentos del entrenamiento de la fuerza: aplicación al alto rendimiento deportivo*. Barcelona: INDE; 1995. 321 p.
29. Gonzalez Badillo JJ, Ribas J. *Bases de la programación del entrenamiento de fuerza*. Barcelona: INDE; 2002. 371 p.
30. Buchheit M, Samozino P, Glynn JA, Michael BS, Al Haddad H, Mendez-Villanueva A, et al. Mechanical determinants of acceleration and maximal sprinting speed in highly trained young soccer players. *Journal of sports sciences*. 2014;32(20):1906-13.
31. Alexander RM. Modelling approaches in biomechanics. *Philosophical transactions of the Royal Society of London Series B, Biological sciences*. 2003;358(1437):1429-35.
32. Maffiuletti NA, Aagaard P, Blazevich AJ, Folland J, Tillin N, Duchateau J. Rate of force development: physiological and methodological considerations. *European journal of applied physiology*. 2016;116(6):1091-116.
33. Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson P, Dyhre-Poulsen P. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *Journal of applied physiology*. 2002;93(4):1318-26.

34. Tillin NA, Jimenez-Reyes P, Pain MT, Folland JP. Neuromuscular performance of explosive power athletes versus untrained individuals. *Medicine and science in sports and exercise*. 2010;42(4):781-90.
35. Maffiuletti NA, Bizzini M, Widler K, Munzinger U. Asymmetry in quadriceps rate of force development as a functional outcome measure in TKA. *Clinical orthopaedics and related research*. 2010;468(1):191-8.
36. Rodriguez-Rosell D, Pareja-Blanco F, Aagaard P, Gonzalez-Badillo JJ. Physiological and methodological aspects of rate of force development assessment in human skeletal muscle. *Clinical physiology and functional imaging*. 2018;38(5):743-62.
37. Bohannon RW. Intertester reliability of hand-held dynamometry: a concise summary of published research. *Perceptual and motor skills*. 1999;88(3 Pt 1):899-902.
38. Schmidt J, Iverson J, Brown S, Thompson PA. Comparative reliability of the make and break tests for hip abduction assessment. *Physiother Theory Pract*. 2013;29(8):648-57.
39. Huxley AF. Muscle structure and theories of contraction. *Prog Biophys Biophys Chem*. 1957;7:255-318.
40. Gordon AM, Huxley AF, Julian FJ. The variation in isometric tension with sarcomere length in vertebrate muscle fibres. *J Physiol*. 1966;184(1):170-92.
41. Brughelli M, Cronin J. Altering the length-tension relationship with eccentric exercise : implications for performance and injury. *Sports medicine*. 2007;37(9):807-26.
42. Guex K, Millet GP. Conceptual framework for strengthening exercises to prevent hamstring strains. *Sports medicine*. 2013;43(12):1207-15.
43. Whitehead NP, Weerakkody NS, Gregory JE, Morgan DL, Proske U. Changes in passive tension of muscle in humans and animals after eccentric exercise. *J Physiol*. 2001;533(Pt 2):593-604.
44. Hill AV. The heat of shirtenign and the dynamic constant of muscle. *Proc R Soc Lond B Biol Sci*. 1938;126B:136-95.
45. Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. Developing maximal neuromuscular power: Part 1-- biological basis of maximal power production. *Sports medicine*. 2011;41(1):17-38.
46. Martinez-Garcia MDM, Rodriguez-Juan JJ, Ruiz-Cardenas JD. Influence of sex gap on muscle strength and functional mobility in patients with cystic fibrosis. *Applied physiology, nutrition, and metabolism = Physiologie appliquee, nutrition et metabolisme*. 2019.
47. Ruiz-Cardenas JD, Rodriguez-Juan JJ, Smart RR, Jakobi JM, Jones GR. Validity and reliability of an iPhone App to assess time, velocity and leg power during a sit-to-stand functional performance test. *Gait & posture*. 2018;59:261-6.
48. Mendiguchia J, Samozino P, Martinez-Ruiz E, Brughelli M, Schmikli S, Morin JB, et al. Progression of mechanical properties during on-field sprint running after returning to sports from a hamstring muscle injury in soccer players. *International journal of sports medicine*. 2014;35(8):690-5.
49. Mendiguchia J, Edouard P, Samozino P, Brughelli M, Cross M, Ross A, et al. Field monitoring of sprinting power-force-velocity profile before, during and after hamstring injury: two case reports. *Journal of sports sciences*. 2016;34(6):535-41.
50. Toji H, Kaneko M. Effects of aging on force, velocity, and power in the elbow flexors of males. *Journal of physiological anthropology*. 2007;26(6):587-92.
51. Cometti G. *Los métodos modernos de musculación*. Segunda ed. Barcelona: Paidotribo; 1999.

52. Rio E, Kidgell D, Moseley GL, Gaida J, Docking S, Purdam C, et al. Tendon neuroplastic training: changing the way we think about tendon rehabilitation: a narrative review. *British journal of sports medicine*. 2016;50(4):209-15.
53. Rio E, Kidgell D, Purdam C, Gaida J, Moseley GL, Pearce AJ, et al. Isometric exercise induces analgesia and reduces inhibition in patellar tendinopathy. *British journal of sports medicine*. 2015;49(19):1277-83.
54. Rio E, van Ark M, Docking S, Moseley GL, Kidgell D, Gaida JE, et al. Isometric Contractions Are More Analgesic Than Isotonic Contractions for Patellar Tendon Pain: An In-Season Randomized Clinical Trial. *Clinical journal of sport medicine : official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*. 2016.
55. van Ark M, Cook JL, Docking SI, Zwerver J, Gaida JE, van den Akker-Scheek I, et al. Do isometric and isotonic exercise programs reduce pain in athletes with patellar tendinopathy in-season? A randomised clinical trial. *Journal of science and medicine in sport / Sports Medicine Australia*. 2015.
56. Izquierdo M, Ibanez J, Gonzalez-Badillo JJ, Hakkinen K, Ratamess NA, Kraemer WJ, et al. Differential effects of strength training leading to failure versus not to failure on hormonal responses, strength, and muscle power gains. *Journal of applied physiology*. 2006;100(5):1647-56.
57. Pareja-Blanco F, Rodriguez-Rosell D, Sanchez-Medina L, Sanchis-Moysi J, Dorado C, Mora-Custodio R, et al. Effects of velocity loss during resistance training on athletic performance, strength gains and muscle adaptations. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*. 2017;27(7):724-35.
58. Sampson JA, Groeller H. Is repetition failure critical for the development of muscle hypertrophy and strength? *Scandinavian journal of medicine & science in sports*. 2016;26(4):375-83.
59. Androulakis-Korakakis P, Fisher JP, Steele J. The Minimum Effective Training Dose Required to Increase 1RM Strength in Resistance-Trained Men: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports medicine*. 2019.
60. Duchateau J, Enoka RM. Neural control of lengthening contractions. *The Journal of experimental biology*. 2016;219(Pt 2):197-204.
61. Douglas J, Pearson S, Ross A, McGuigan M. Eccentric Exercise: Physiological Characteristics and Acute Responses. *Sports medicine*. 2016.
62. Guex K, Degache F, Gremion G, Millet GP. Effect of hip flexion angle on hamstring optimum length after a single set of concentric contractions. *Journal of sports sciences*. 2013;31(14):1545-52.
63. Magnusson SP, Langberg H, Kjaer M. The pathogenesis of tendinopathy: balancing the response to loading. *Nat Rev Rheumatol*. 2010;6(5):262-8.
64. Suchomel TJ, Wagle, J. P., Douglas, J., Taber, C. B., Harden, M., Haff, G. G., & Stone, M. H. Implementing Eccentric Resistance Training—Part 1: A Brief Review of Existing Methods. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*. 2019;4(2):38.
65. Guido JA, Jr., Stemm J. Reactive Neuromuscular Training: A Multi-level Approach to Rehabilitation of the Unstable Shoulder. *N Am J Sports Phys Ther*. 2007;2(2):97-103.
66. Green S, Askew C. Vo2peak is an acceptable estimate of cardiorespiratory fitness but not Vo2max. *Journal of applied physiology*. 2018;125(1):229-32.
67. Azevedo P, Bhammar DM, Babb TG, Bowen TS, Witte KK, Rossiter HB, et al. Commentaries on Viewpoint: Vo2peak is an acceptable estimate of cardiorespiratory fitness but not Vo2max. *Journal of applied physiology*. 2018;125(1):233-40.

68. Mitchell BL, Lock MJ, Davison K, Parfitt G, Buckley JP, Eston RG. What is the effect of aerobic exercise intensity on cardiorespiratory fitness in those undergoing cardiac rehabilitation? A systematic review with meta-analysis. *British journal of sports medicine*. 2018.
69. Evans HJ, Ferrar KE, Smith AE, Parfitt G, Eston RG. A systematic review of methods to predict maximal oxygen uptake from submaximal, open circuit spirometry in healthy adults. *Journal of science and medicine in sport / Sports Medicine Australia*. 2015;18(2):183-8.
70. Buchheit M. Monitoring training status with HR measures: do all roads lead to Rome? *Front Physiol*. 2014;5:73.
71. Gaynor M, Sawyer A, Jenkins S, Wood J. Variable agreement between wearable heart rate monitors during exercise in cystic fibrosis. *ERJ Open Res*. 2019;5(4).
72. Achten J, Jeukendrup AE. Heart rate monitoring: applications and limitations. *Sports medicine*. 2003;33(7):517-38.
73. Cano-de-la-Cuerda R, Molero-Sanchez A, Carratala-Tejada M, Alguacil-Diego IM, Molina-Rueda F, Miangolarra-Page JC, et al. Theories and control models and motor learning: clinical applications in neuro-rehabilitation. *Neurologia*. 2015;30(1):32-41.
74. Aguirre-Zabaleta J. Reflexiones sobre aprendizaje motor. *Apuntes*. 1999;58:41-7.
75. Trajano GS, Nosaka K, Blazevich AJ. Neurophysiological Mechanisms Underpinning Stretch-Induced Force Loss. *Sports medicine*. 2017;47(8):1531-41.
76. Meakins A. Strength stretching <http://www.thesports.physio2018> [Available from: <https://thesports.physio/2018/02/12/strength-stretching/>].
77. Brughelli M, Cronin J, Levin G, Chaouachi A. Understanding change of direction ability in sport: a review of resistance training studies. *Sports medicine*. 2008;38(12):1045-63.
78. Young WB, James R, Montgomery I. Is muscle power related to running speed with changes of direction? *The Journal of sports medicine and physical fitness*. 2002;42(3):282-8.
79. Glenn JM, Gray M, Vincenzo J, Paulson S, Powers M. An Evaluation of Functional Sit-to-Stand Power in Cohorts of Healthy Adults Aged 18-97 Years. *J Aging Phys Act*. 2017;25(2):305-10.
80. Peel NM, Kuys SS, Klein K. Gait speed as a measure in geriatric assessment in clinical settings: a systematic review. *The journals of gerontology Series A, Biological sciences and medical sciences*. 2013;68(1):39-46.
81. Graham JE, Ostir GV, Fisher SR, Ottenbacher KJ. Assessing walking speed in clinical research: a systematic review. *J Eval Clin Pract*. 2008;14(4):552-62.
82. Karpman C, Benzo R. Gait speed as a measure of functional status in COPD patients. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2014;9:1315-20.
83. Kent L, O'Neill B, Davison G, Nevill A, Murray J, Reid A, et al. Cycle ergometer tests in children with cystic fibrosis: reliability and feasibility. *Pediatr Pulmonol*. 2012;47(12):1226-34.
84. Samozino P, Rabita G, Dorel S, Slawinski J, Peyrot N, Saez de Villarreal E, et al. A simple method for measuring power, force, velocity properties, and mechanical effectiveness in sprint running. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*. 2016;26(6):648-58.
85. Nimphius SC, S.J.; Bezodis, N. E.; Lockie, R. G. . Change of Direction and Agility Tests: Challenging Our Current Measures of Performance. *Strength Cond J*. 2018;40(1):26-38.

