

Bases del Acondicionamiento Físico para Fisioterapeutas

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., 2018, ISBN: 978-84-09-08384-8

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 ASIEN TO REGISTRAL 08 / 2018 / 957.



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
Capítulo 2: Principios fundamentales del acondicionamiento físico	12
1. Principio de Seguridad	12
2. Principios de Sobrecarga progresiva, Recuperación, Periodización y Variación.	13
3. Principio de Unidad Funcional	18
4. Principio de Especificidad	19
5. Principio de Individualización	19
6. Principio de Multilateralidad	21
7. Principio de Variedad en la práctica	21
8. Principio de Participación activa y consciente	22
9. Principio de Recuperación y Reversibilidad	22
Capítulo 3: Principios fisiológicos del acondicionamiento físico	25
3.1. Control neurológico del movimiento	25
3.2. Sistemas energéticos	29
3.3. Sistema muscular	30
3.4. Sistema cardiovascular y respiratorio	34
3.5. La fatiga neuromuscular	39
Capítulo 4: Principios biomecánicos del acondicionamiento físico	41
4.1. Modificaciones en la relación fuerza-tiempo	41
4.2. Modificaciones en la relación longitud-tensión	44
4.3. Modificaciones en la relación potencia-fuerza-velocidad	46
4.4. Otras áreas de la biomecánica	48
Capítulo 5: Entrenamiento de las cualidades físicas: Fuerza	50
Capítulo 6: Entrenamiento de las capacidades físicas: Resistencia	58
Capítulo 7: Entrenamiento de las cualidades física: Coordinación	61
Capítulo 8: Entrenamiento de las cualidades físicas: Flexibilidad	62
Capítulo 9: Entrenamiento de las cualidades físicas: Velocidad	66

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 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 entre las fuentes bibliográficas de dicha cultura destaca el Rig-Veda (Rgveda). Se trata de una serie de textos sagrados donde, entre otros muchos aspectos, se relataba la influencia divina en las enfermedades: cuando se hace mención a la salud, esta no está relacionada con la enfermedad ni con la recuperación de la enfermedad, sino que era una condición que reflejaba el placer o la disconformidad de los dioses con el hombre. En la Rgveda ya se hacen referencia a tres *humores* que determinan la salud.

En términos generales se cree que tiempo más tarde, allá por el 1000 a.C. surgió otra referencia histórica para las ciencias de la salud: el Atharvaveda. Se trata de 20 libros pertenecientes a múltiples autores que contienen una información mucho más detallada de los conocimientos sobre medicina, salud y enfermedad reinantes durante dicha época. No obstante, al igual que en el Rgveda, las enfermedades estaban asociadas con fuerzas supernaturales y al castigo por las malas acciones realizadas o por los pecados contra los dioses.

El último periodo de la cultura védica (1500-800 a.C.) es especialmente remarcable porque fue en esta época cuando la doctrina tridosa (o la doctrina trihautu: teoría trihumoral india) fue formulada y desarrollada. Esta doctrina trataba de explicar el significado de la vida, de la muerte, de la salud y de la enfermedad. Describía como los elementos agua, fuego, aire, tierra contribuían a la formación del cuerpo humano. Interactuado dentro del cuerpo existían partículas derivadas del viento, del sol y de la luna que se transformaban en aire, bilis y flema

(son las dosas o humores) y fueron identificadas como vayu, pitta y kapha. Susruta (médico que enseñó medicina y cirugía en la universidad de Benares 600 a.C.) consideró un cuarto humor: la sangre; capaz de generar interacciones entre los otros tres humores. Estos tres principales humores debían mantenerse en equilibrio dentro del cuerpo, cualquier desequilibrio podría ocasionar la enfermedad o la muerte.

De especial importancia para nuestra temática de estudio es que ya en esta época se consideró que dicho equilibrio en el funcionamiento 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 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 (Tipton, 2008), 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 sobre infinidad de 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 desde el punto de vista económico, 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 seguida para optimizar el rendimiento físico de un sujeto a través de la organización y el control del ejercicio físico.

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

Scientia potentia est (del latín; “el conocimiento es poder”); a través del conocimiento de las bases que rigen el acondicionamiento físico en el contexto sanitario, se podrán generar estrategias terapéuticas unánimes en equipos profesionales multidisciplinares que permitan trabajar de manera complementaria, cooperativa y coordinada entre las diferentes especialidades del sector sanitario.

Capítulo 2: Principios fundamentales del acondicionamiento físico

El diseño de un programa de ejercicio terapéutico debe respetar 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

Este principio básico del acondicionamiento físico contempla la participación tanto del fisioterapeuta como del paciente, de este modo:

El fisioterapeuta debe:

- Tener conocimiento de la patología, fisiología, psicología y la evidencia relacionada con la prescripción de ejercicio físico.
- Ser capaz de llevar una evaluación exhaustiva del paciente para identificar los factores que afectarán a la prescripción de ejercicio como son la edad, el estado de salud o la condición física.
- Ser capaz de evaluar el riesgo de un paciente que realiza un determinado ejercicio y adaptar el dicho ejercicio de manera apropiada para minimizar el riesgo.
- Ser capaz de enseñar al paciente cómo llevar a cabo un ejercicio, proporcionar estrategias para garantizar el aprendizaje motor.
- Tener conocimientos actualizados en soporte vital básico y otras prácticas y procedimientos en el área en la que el paciente se esté ejercitando.
- Proporcionar información al paciente de los signos y síntomas de alerta.
- Desarrollar la sesión de ejercicio terapéutico en un entorno adecuado.

Por su parte, el paciente debe:

- Vestirse con indumentaria adecuada.
- Participar de manera activa y consciente en el control de la intensidad subjetiva, así como en la identificación de los síntomas de alerta.
- Estar debidamente hidratado antes, durante y después de la sesión de ejercicio terapéutico.

2. Principios de Sobrecarga progresiva, Recuperación, Periodización y Variación.

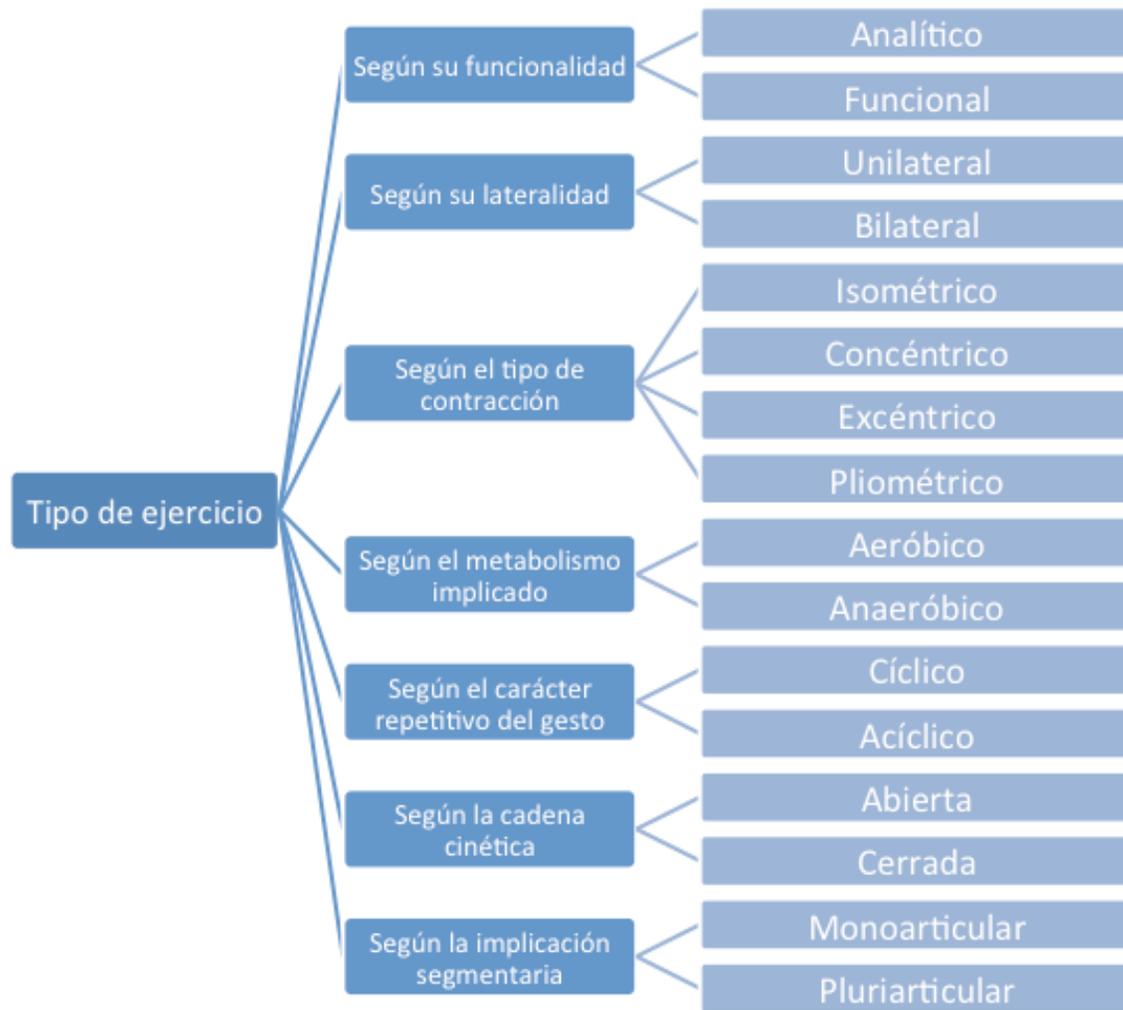
El organismo humano tiene la capacidad de crear adaptaciones biológicas y mecánicas ante estímulos físico cuya magnitud resulte superior a lo habitual y lo cotidiano.

Dichas adaptaciones pueden tener un carácter positivo (evolución favorable en el proceso final de rehabilitación) o negativas (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.

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

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

El *tipo de ejercicio* viene determinado de múltiples factores que deben ser considerados en el diseño de tareas motrices. Algunos de dichos factores vienen determinados en el siguiente gráfico. Todos ellos deben ser tenidos en cuenta el diseño de tareas motrices. El siguiente diagrama muestra algunos de las variables que definen el tipo de ejercicio:



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 invertido en ejecución de la tarea motriz. Ejemplos de esta variable son: número de repeticiones realizadas, número de series, tiempo total de entrenamiento, tiempo total de carrera, etc.

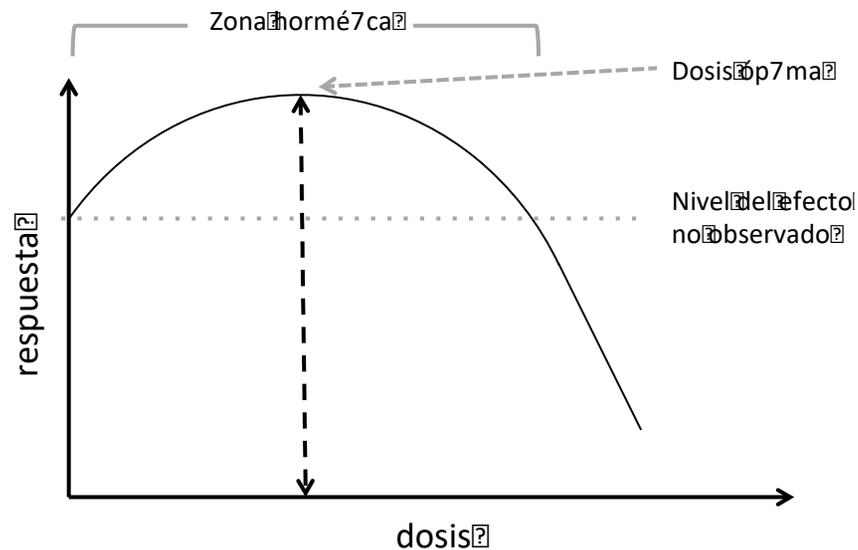
La *intensidad* de ejercicio es la magnitud del esfuerzo aplicado durante la realización de dicha tarea. En términos generales la intensidad puede ser catalogada como ligera, moderada o vigorosa. No obstante, esta variable de carga puede ser controlada tanto subjetivamente (percepción subjetiva de esfuerzo o RPE) como objetivamente (velocidad de ejecución, altura de salto).

La *frecuencia* de entrenamiento es el número de estímulos de entrenamiento por unidad de tiempo. Dentro de esta variable, el *tiempo de recuperación* entre estímulos de entrenamiento es un factor determinante en las respuestas fisiológicas al entrenamiento que debe ser tenido muy en cuenta en el diseño de propuestas de entrenamiento.

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:

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” (Mattson, 2008):

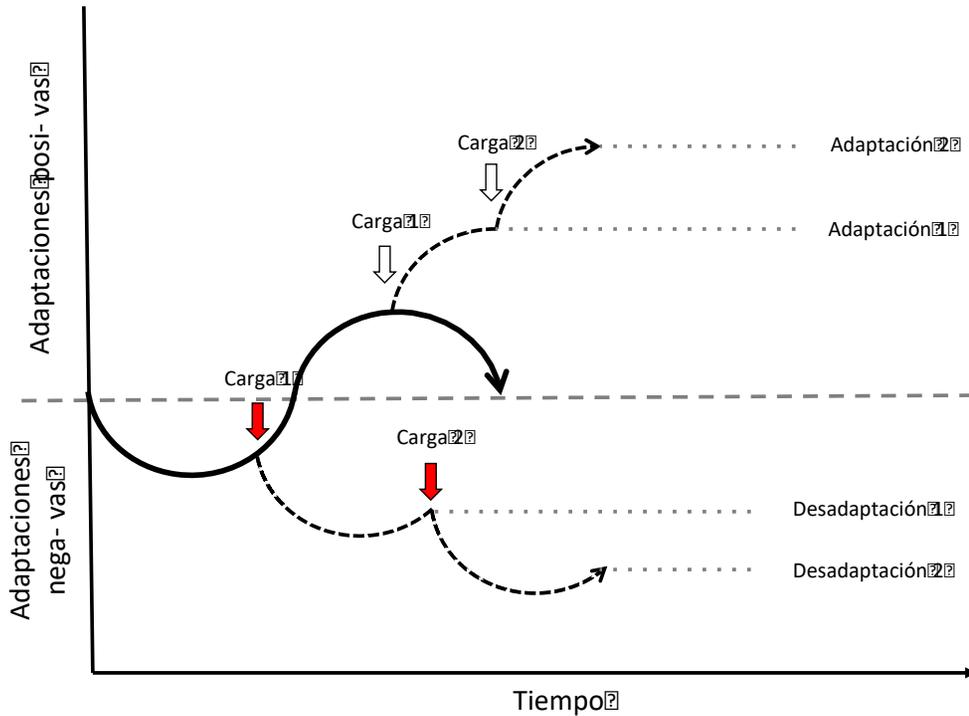


El objetivo del entrenamiento deportivo o el ejercicio terapéutico debe ser buscar la mínima carga que produzca máximas adaptaciones en el organismo. Este es el concepto de **carga óptima**.

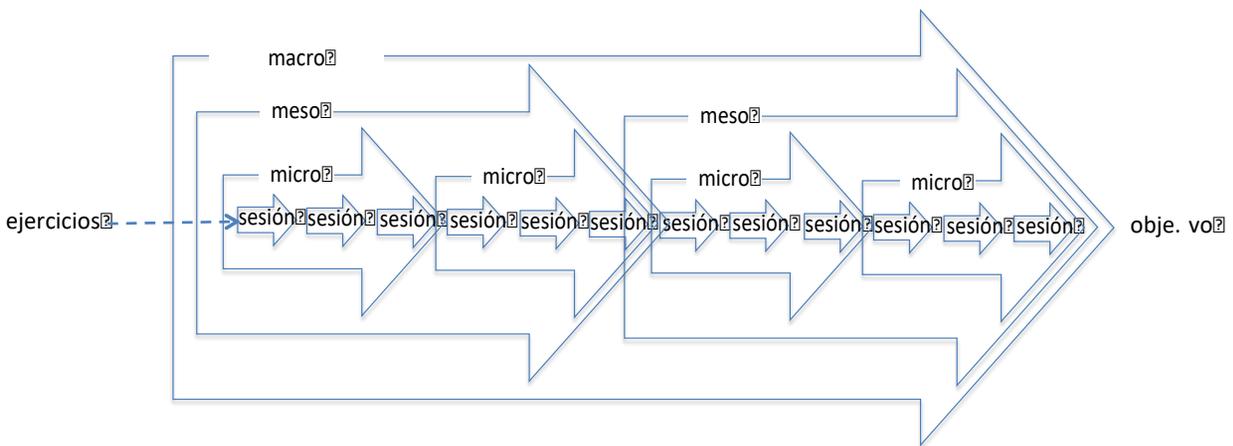
La exposición óptima y repetida (crónica) en tiempo a los desequilibrios homeostáticos conducen hacia adaptaciones fisiológicas positivas (supercompensación). Por definición, la prescripción efectiva de ejercicio físico requiere optimización e incremento progresivo en el estrés para conseguir adaptaciones biológicas continuadas (Hickson, Hagberg, Ehsani, & Holloszy, 1981).

El tiempo transcurrido entre la aplicación de una carga y 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 homeostasis biológica depende directamente de la variable tiempo. Este tiempo será mayor cuanto mayor sea la magnitud de la carga, es decir; del tipo de ejercicio, de la cantidad y frecuencia de ejercicio y de la intensidad de ejercicio.

Las medidas de recuperación fisioterápicas tales como la crioterapia, la electroestimulación, técnicas específicas de masaje, técnicas específicas de contención y vendaje, entre otras, así como medidas nutricionales y psicológicas podrían tener un papel facilitador muy importante en el proceso de recuperación (Dupuy, Douzi, Theurot, Bosquet, & Dugue, 2018; Hauswirth & Le Meur, 2011; Hohenauer, Taeymans, Baeyens, Clarys, & Clijsen, 2015).



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

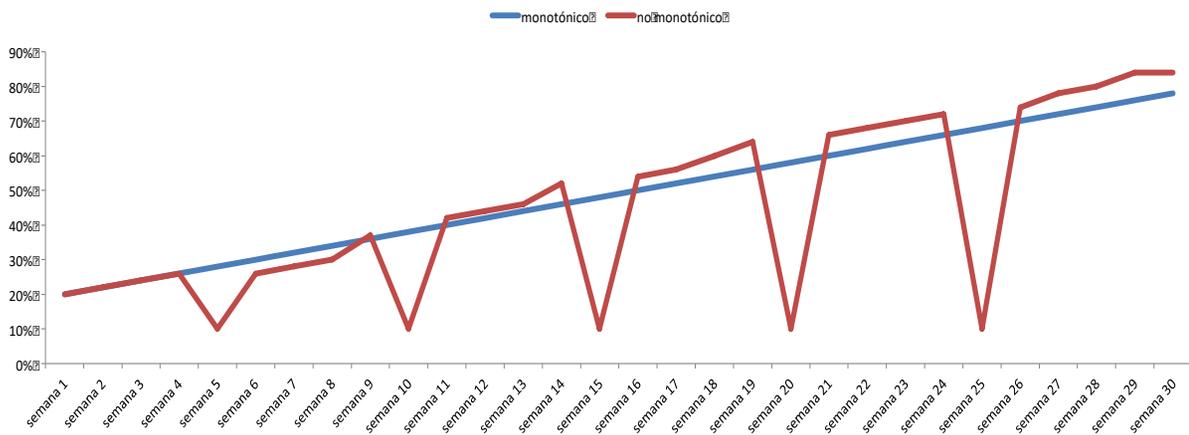
fisioterapeuta (deportivo) en su evaluación, razonamiento clínico, progresión de ejercicios y establecimiento de objetivos que garanticen el retorno del deportista a la alta competición”

(Mujika, Halson, Burke, Balague, & Farrow, 2018)

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 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.

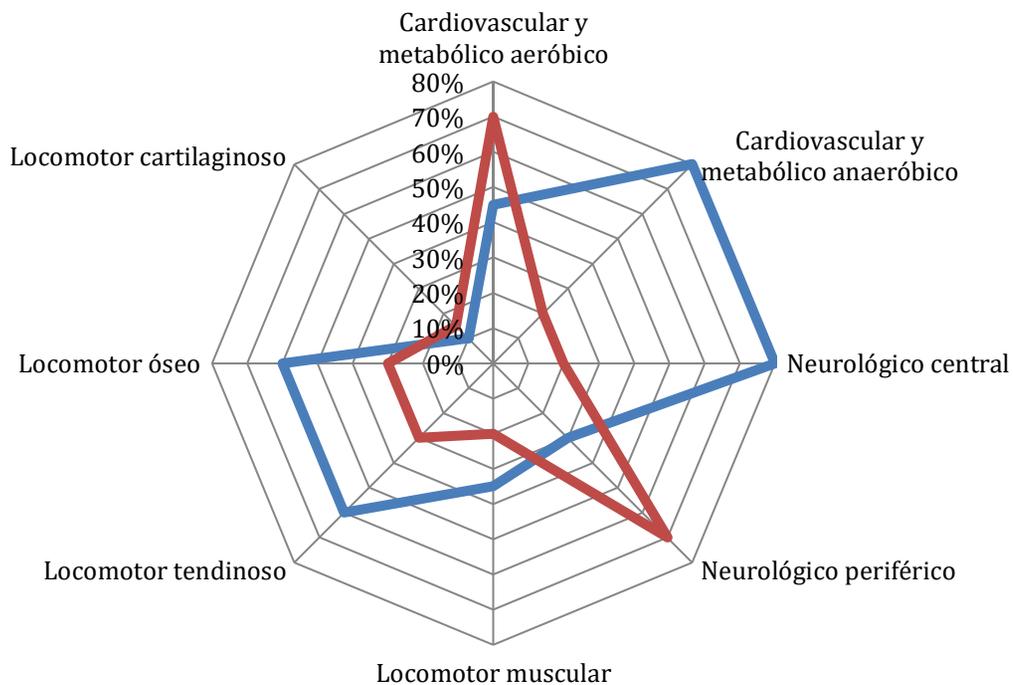


Existe una gran relación entre incrementos desproporcionados en la carga de entrenamiento y riesgo de lesión o recidiva. En la actualidad se recomienda que la cuotas de aumento de carga no superen el 15% (Blanch & Gabbett, 2016), (Gabbett et al., 2016).

*Lecturas recomendadas: (Blanch & Gabbett, 2016), (Gabbett et al., 2016), (Mujika et al., 2018)

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 en el entrenamiento.**

El entrenamiento concurrente es conocido como la interacción en el entrenamiento entre 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 (Berryman, Mujika, & Bosquet, 2018; Fyfe, Bishop, & Stepto, 2014). Asimismo, existen un gran debate en la concurrencia entre fuerza y flexibilidad.

4. Principio de Especificidad

El principio de especificidad, también conocido a nivel 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 desemboca en efectos de entrenamiento altamente específicos.

A modo de ejemplo, 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.

5. Principio de Individualización

El desarrollo del principio de individualización conlleva la aplicación ajustada del entrenamiento hacia el estado fisiológico del paciente o del deportista. Debido a que, incluso en

los en las cohortes de ensayos clínicos mejor seleccionadas, la heterogeneidad será considerable en términos de función cardiopulmonar, estilo de vida, edad, tratamientos previos, comorbilidades concomitantes y, por supuesto, predisposición genética. La aplicación de una prescripción de ejercicio genérica que falle al considerar tales parámetros resultará frecuentemente excesiva o insuficiente (Sasso et al., 2015).

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, (fatiga que perdura de semanas a meses), sobreentrenamiento, lesión o enfermedad (Halsón, 2014). Asimismo, el principal objetivo de la monitorización de la carga es identificar una posible disociación entre

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 (Halsón, 2014).

El principal objetivo de la monitorización de la carga es identificar 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: 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: 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 de una escala subjetiva de esfuerzo percibido cuyo rango es 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. Aunque puede resultar de interés para cualquier modalidad de entrenamiento, tiene especial interés para el control del entrenamiento de la fuerza. Suele ser utilizada con otros métodos para el control de la carga interna, tales como la frecuencia cardiaca o la concentración de la lactato en sangre.

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 (Tibana et al., 2018).

*Lectura recomendada: *The athlete monitoring cycle: a practical guide to interpreting and applying training monitoring data.* (Gabbett et al., 2017)

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 necesario crear primero una base multilateral en el proceso piramidal del rendimiento/rehabilitación hacia la especialización progresiva.

Se considera que la iniciación deportiva en la niñez debe tener un carácter multilateral para facilitar la consecución de un desarrollo psicomotor pleno en las etapas tempranas de su formación.

Desde una perspectiva simplista, una afección médica o quirúrgica puede ser considerada como un proceso de pérdida de recursos motores (esto es; limitación de rango articular, pérdida de fuerza, alteración de la coordinación y función neuromotoras, entre otros). Por este motivo, el ejercicio terapéutico debería basarse en facilitar la recuperación de todos los recursos motores posibles que, directa o indirectamente, resulten de utilidad para un paciente.

7. Principio de Variedad en la práctica

El principio de variedad sugiere que cambios menores (cambios en volumen, intensidad, tipo de ejercicio o inclusión de jornadas de descanso) en el entrenamiento favorecen la consecución de ganancias en el deporte.

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 de entrenamiento/tratamiento empleados para la consecución de dichos objetivos. El cumplimiento de este principio facilita la adherencia, motivación, cooperación y trabajo autónomo por parte del paciente.

El fundamental que el deportista o paciente adopte un papel proactivo en el proceso.

Para la consecución de este objetivo es necesario:

- Conocer las expectativas y pronóstico del deportista o paciente. Concienciar al paciente que el camino hacia la recuperación podría no ser lineal sino sinuoso.
- Explicar antes de cada sesión de entrenamiento/tratamiento los objetivos y tareas.
- Conocer su disponibilidad, preferencias y afinidades para plantear una estrategia realista y afín.
- Proponer retos alcanzables.
- Realizar test y mediciones periódicas y dar a conocer los resultados
- Comunicar de manera clara y adaptada al nivel de comprensión y madurez del paciente o deportista.

9. Principio de Recuperación y Reversibilidad

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 actividad física realizada. El principio de periodización del entrenamiento debe contemplar los periodos de recuperación.

El **descanso** debe ser considerado como parte fundamental del entrenamiento, de modo que la magnitud del intervalo determina la variable frecuencia de entrenamiento, que –como anteriormente se mencionó- es una variable determinante en la carga de entrenamiento. Por ello es fundamental que la magnitud y la temporalidad del descanso sean consideradas en cualquier programa de entrenamiento. Una excesiva magnitud de la variable descanso (baja frecuencia de entrenamiento) desencadena desadaptaciones biológicas y funcionales (principio de reversibilidad).

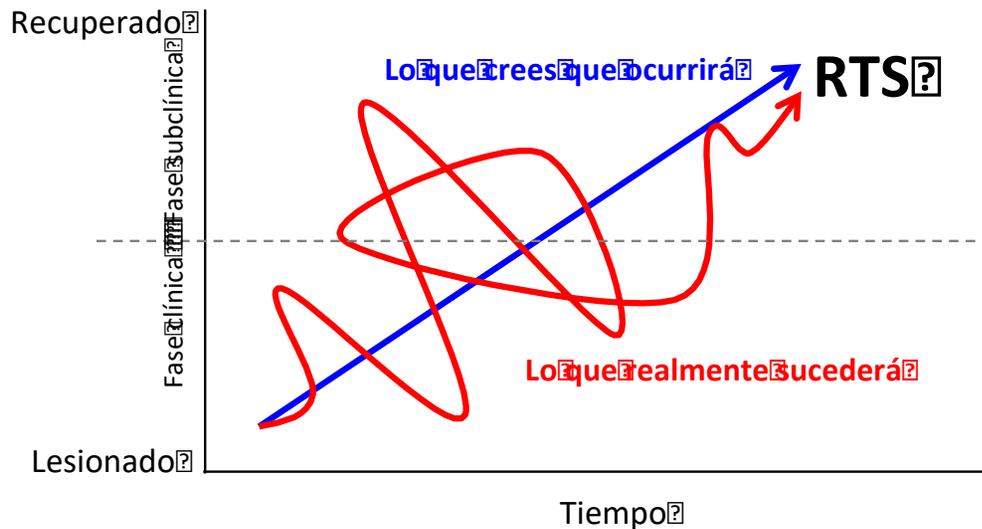
Existen otras estrategias de recuperación. Como anteriormente se mencionó, **medidas de recuperación fisioterápicas** tales como la crioterapia (inmersiones de agua fría como estrategia más popular), la electroestimulación, técnicas específicas de masaje, técnicas específicas de contención y vendaje (medias compresivas), entre otras, así como medidas nutricionales y psicológicas podrían tener un papel facilitador muy importante en el proceso de recuperación (Dupuy et al., 2018; Hausswirth & Le Meur, 2011; Hohenauer et al., 2015).

Técnicas basadas en aplicación de frío:

En la actualidad existen dos teorías contrapuestas en relación al uso de medidas de recuperación por inmersión en agua fría. Por un lado, existe una vertiente basada en disminuir la respuesta inflamatoria para favorecer el entrenamiento subsiguiente. Por otro lado, existen toda una corriente de pensamiento que defiende que la fatiga y la inflamación son necesarias para provocar adaptaciones a largo plazo.

* Principio de reversibilidad:

Adicionalmente, desde una perspectiva clínica es importante considerar por parte del paciente y el fisioterapeuta que las desadaptaciones pueden ser parte concomitante de los procesos de rehabilitación, de modo que en pocas ocasiones los tratamientos 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. Como se mencionó en el principio fundamental anterior, es fundamental concienciar al paciente de las dificultades que surgirán por el camino (Meakins, 2015):



Finalmente, cabe destacar el papel fundamental de la nutrición y la psicología en la recuperación del deportista o del paciente.

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 ocasiona”(López-Chicharro, 2008).

Aunque el organismo funciona como un todo indisoluble, desde una perspectiva didáctica es conveniente abordar 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:

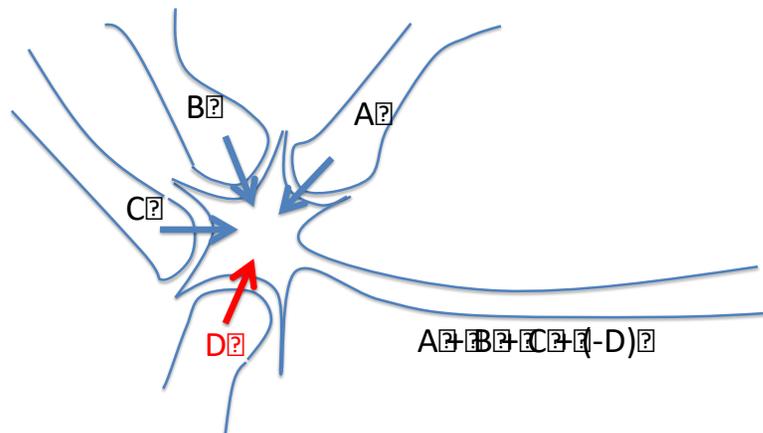
a) La neurona y la conexión sináptica.

La **neurona** es el componente principal del sistema nervioso encargado de recibir, procesar y transmitir la información a través de señales eléctricas y químicas a través de 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, 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 es una propiedad dinámica; 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**:



* *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.

➤ Diencefalo

- 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

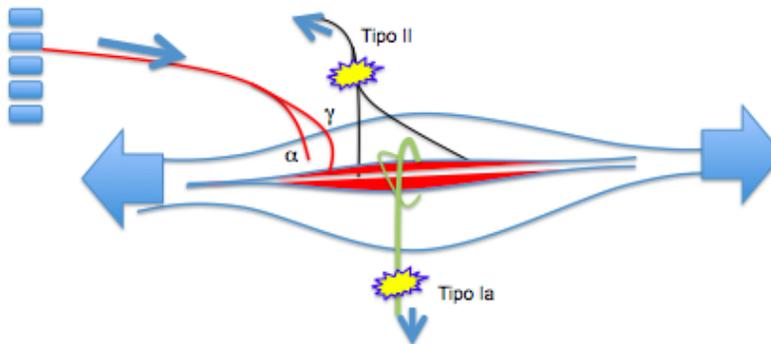
Interneurona inhibitoria del asta anterior médula espinal. Se trata de un mecanismo de retroalimentación negativo a la actividad excitatoria proveniente de la motoneurona. Controla la excitabilidad de las neuronas motoras y puede ser considerado un mecanismo de protección muscular y tendinoso. Asimismo, 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 ϕ y \dot{v} elevada.- zona central del huso.- sensible al estiramiento y a la velocidad con la que éste se produce.
- II (secundarias).- pequeño ϕ \dot{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 (Butler, 2010)

-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.

Determinación del Umbral Anaeróbico individual:

La determinación del **umbral anaeróbico** resulta de gran interés tanto en el ámbito de rendimiento deportivo como en el clínico-sanitario. La identificación del umbral anaeróbico individual puede servir para ajustar programas de entrenamiento o

rehabilitación a través de la identificación de cargas de trabajo individualizadas.

Existen diferentes procedimientos para la determinación del umbral anaeróbico individual, aunque de manera general se pueden dividir en tres grandes grupos: métodos basados en la dinámica de la concentración de lactato en sangre (invasivos. Considerados “gold standard”), los que observan la dinámica ventilatoria (relación entre CO₂ expirado y O₂ consumido por unidad de tiempo) y los métodos basados en el comportamiento de la frecuencia cardiaca (latidos/minuto, variabilidad de la frecuencia cardiaca, entre otros). Todos ellos durante test submáximos; generalmente de intensidad creciente (test incrementales).

- 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 que las dos anteriormente descritas. 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.

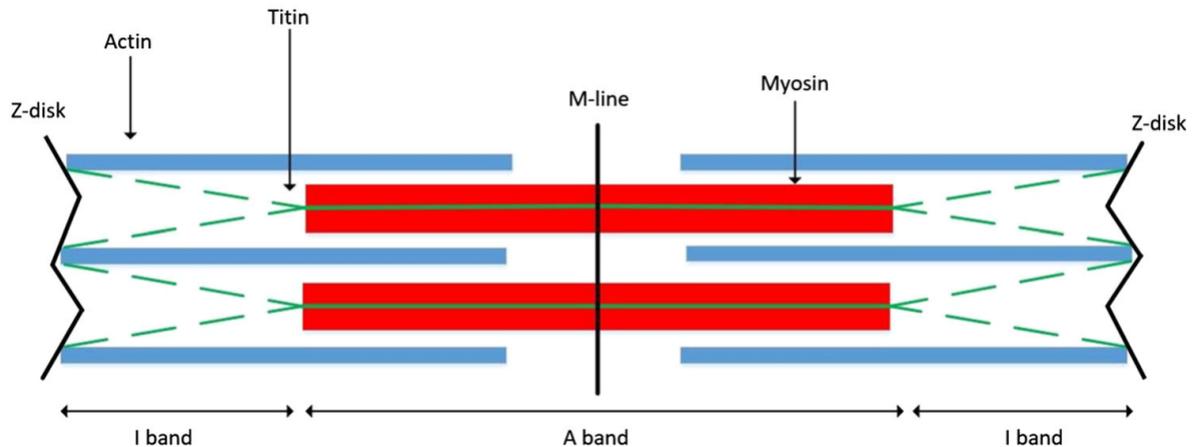
3.3. Sistema muscular

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. 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 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 al microscopio viene representada en la siguiente imagen (Douglas, Pearson, Ross, & McGuigan, 2017):



El mecanismo de la contracción es resultado de la interacción entre actina y miosina en presencia del ión calcio. Este 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; 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 (Ca^{++}) que interacciona con la actina y la miosina provocando el acortamiento de la fibra muscular.

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 de la sarcómera son factores determinantes en la capacidad contráctil de un músculo (Relación fuerza-velocidad, longitud-tensión).

3.3.3. La unidad motora

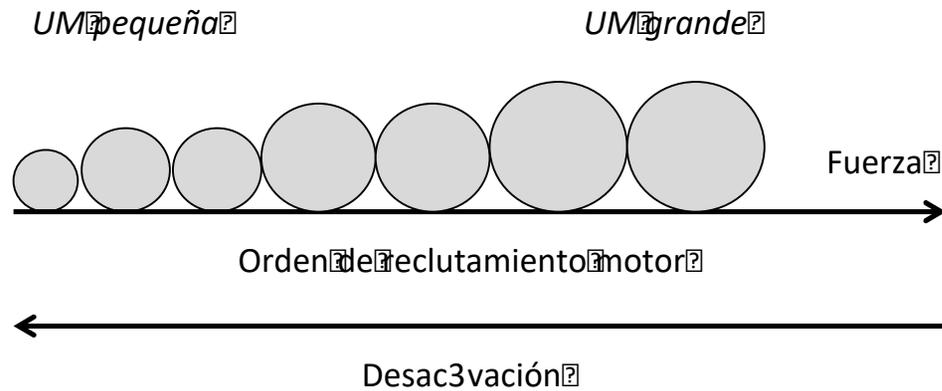
Una unidad motora es la unidad funcional configurada por una motoneurona y las fibras musculares inervadas por dicha motoneurona:

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** en las que no se cumple:

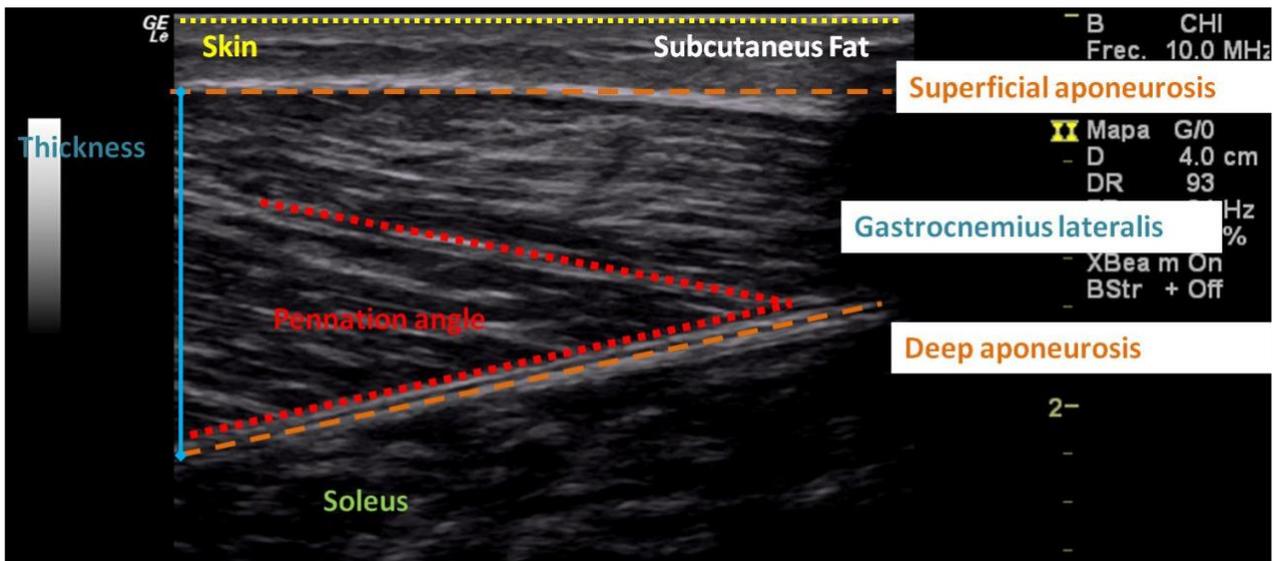
- Contracciones a alta velocidad, gestos balísticos o contracciones excéntricas se produce un reclutamiento mayoritario de grandes unidades motoras.
- Envejecimiento: muerte de motoneuronas que altera el orden de reclutamiento (explicaría la pérdida de precisión en el control motor)
- **Patrón de activación rotatorio** durante la fatiga. Cuando la fatiga es baja el patrón rotatorio se produce entre UM similares, sin embargo el incremento en los niveles 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. Este 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 (Lieber & Friden, 2000). 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.
- b) Grosor: distancia entre aponeurosis superficial y profunda. Mayor grosor; mayor fuerza. (ACSA vs PCSA).
- c) Área de sección transversal (anatómica y fisiológica). Mayor sección transversal; mayor fuerza.

- d) Longitud de los fascículos. La longitud de los fascículos está fuertemente relacionada con la velocidad de acortamiento de la fibra.



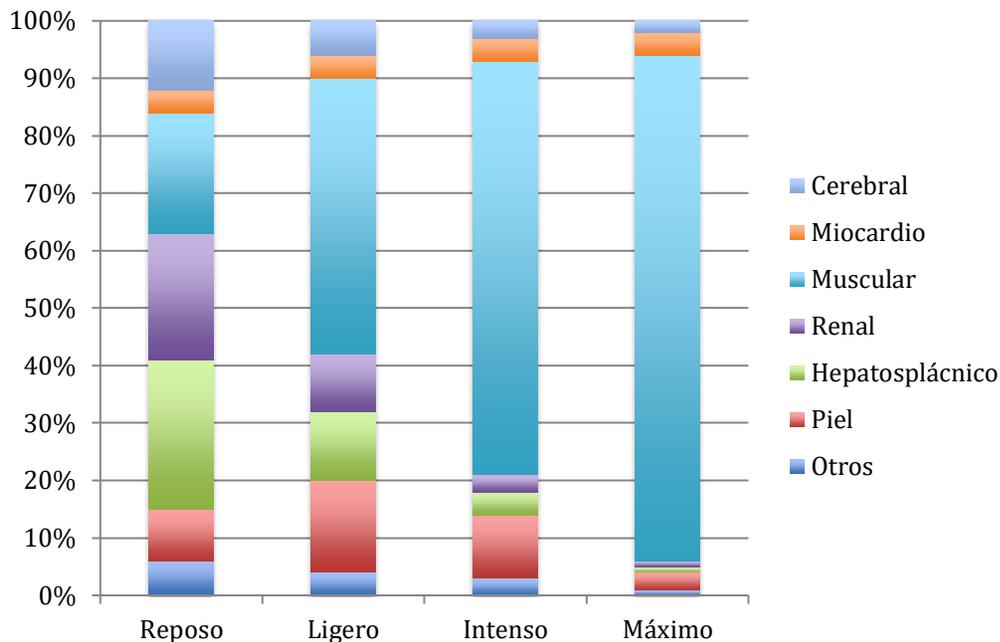
La atrofia muscular conlleva una disminución en los valores de todas las variables anteriormente descritas. De manera contraria, el entrenamiento produce adaptaciones positivas; esto es de incremento.

3.4. Sistema cardiovascular y respiratorio

El principal objetivo del sistema cardiovascular durante el ejercicio es adecuar el flujo sanguíneo a 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 (VO₂)**. 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 cardíaca, volumen sistólico) **y periféricos** (diferencia arterio-venosa de oxígeno) de manera **casi lineal a la intensidad del ejercicio** (meseta de VO₂ estadios finales de un test incremental):

Gasto cardíaco (Q): Frecuencia Cardíaca * Vol. Eyección Sistólico

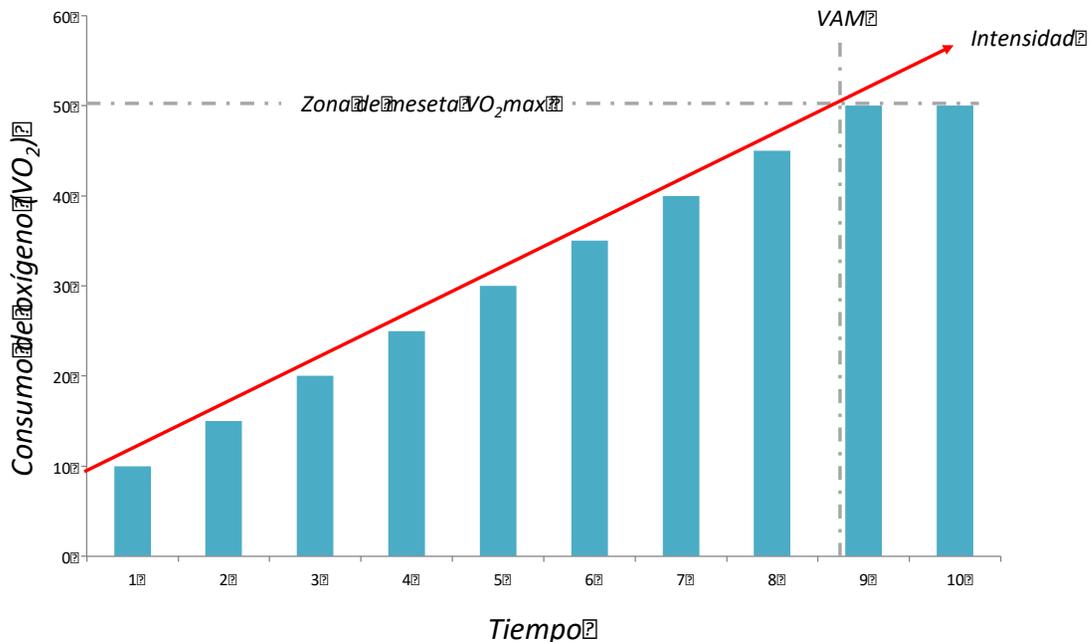
VO₂ = Frecuencia Cardíaca * Vol. Eyección Sistólico * Diferencia a-v O₂

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

El **VO₂max** o su homólogo **VO₂pico** (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_2max directa) o de campo (determinación VO_2max indirecta).

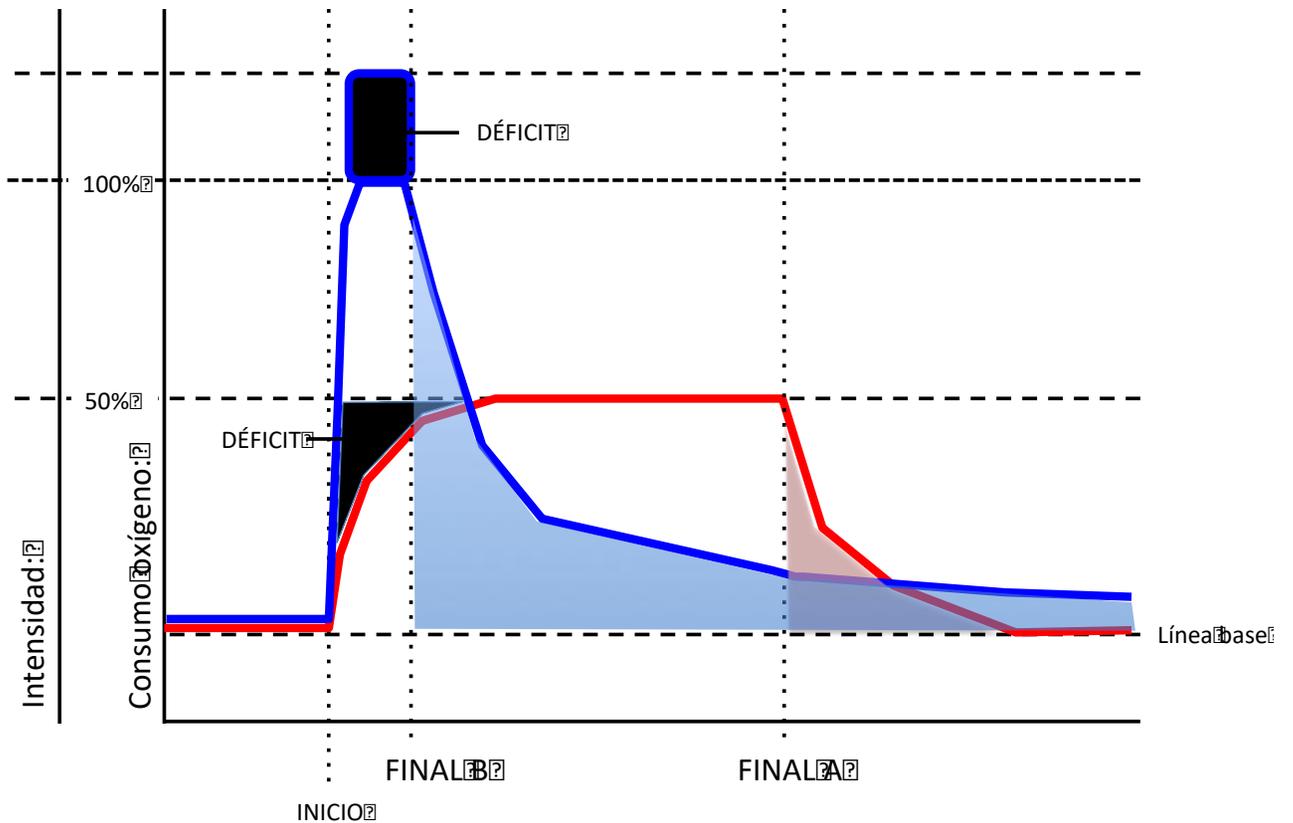
A continuación se expone una gráfica representativa de un test de intensidad progresiva para la determinación del consumo VO_2max (determinación directa):



Factores determinantes del VO_2 durante el ejercicio:

- 1) Regulación de la frecuencia cardíaca (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. Dichas 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_2 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 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).

4) Componentes rápido y lento de la recuperación.

Tasas de disminución de interés clínico (ACSM) (In Riebe, 2018):

“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 postejercicio está fuertemente asociada con un incremento del riesgo de mortalidad en pacientes diagnosticados o riesgo alto de Cardiopatía Isquémica” (In Riebe, 2018)

Minuto 1: ↓ >12ppm; Minuto 2: ↓ >22ppm; Minuto 6: ↓ TAS = valores preejercicio

- 5) 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 en intensidad y especificidad.
- 6) Asimismo, la parte final de la sesión o **vuelta a la calma** debe ser también progresiva, en este caso para facilitar un acercamiento al estado basal. Aunque en muchas ocasiones es obviada, esta fase se convierte en la primera de las estrategias recuperadoras post-ejercicio.
- 7) Efectos del entrenamiento aeróbico y anaeróbico.

“El fitness cardiorrespiratorio (determinado por el consumo máximo de oxígeno) es considerado el predictor más fuerte de todas las causas de mortalidad y morbilidad”

(Lee et al., 2011)

3.4.3. Comportamiento de la tensión arterial durante el ejercicio.

Adaptaciones agudas 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 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.

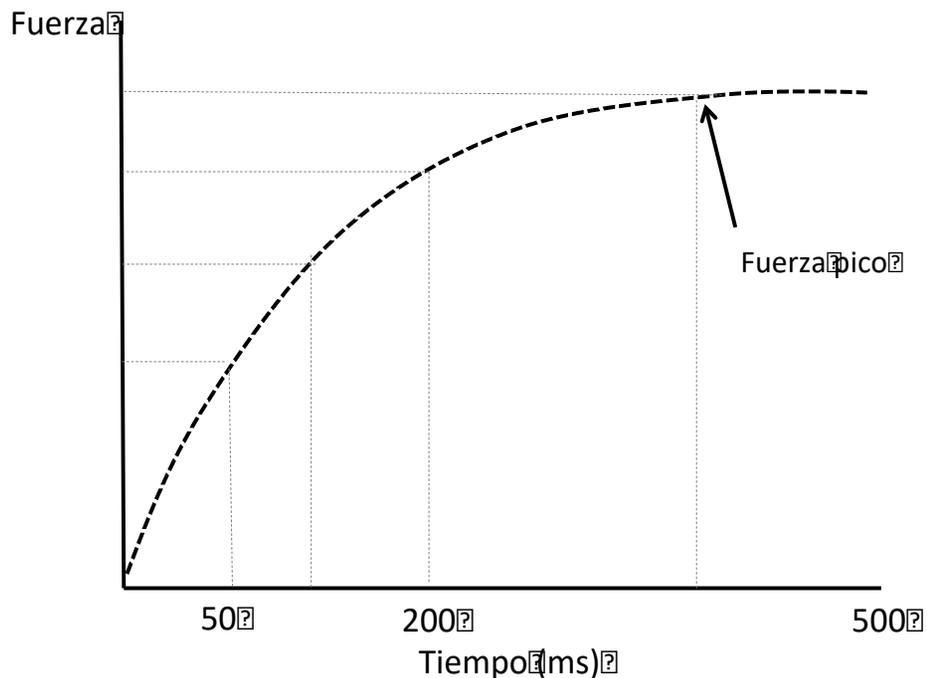
Según Harman (1993), fuerza sería la capacidad para generar tensión bajo determinadas condiciones definidas por la posición del cuerpo, el movimiento corporal en el que se aplica la fuerza, el tipo de contracción (concéntrica, excéntrica, isométrica o pliométrica) y la velocidad del movimiento (Harman, 1993). Esta definición coincide con el concepto de *fuerza aplicada*, descrito por González-Badillo (Gonzalez Badillo & Gorostiaga, 1995; Gonzalez Badillo & Ribas, 2002) si además 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 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, provocando una disfunción en la generación de fuerzas requeridas para satisfacer con éxito las demandas instantáneas del contexto deportivo o *fuerza aplicada*.

En nuestros días, la comprensión y 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 (Buchheit et al., 2014).

La originalidad de la perspectiva del presente texto se basa 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: *sencillez conceptual para comprender con claridad el funcionamiento del conjunto* (Alexander, 2003). 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. En este sentido, González-Badillo y Gorostiaga expusieron en 1995 que “*toda manifestación de fuerza muscular se produce de acuerdo con unas características determinadas, que evolucionan en el tiempo de forma diferente, pero que pasan por las mismas fases hasta llegar a su máxima expresión*” (Gonzalez Badillo & Gorostiaga, 1995). 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 presión manual, etc.), puede ser determinada para cualquier gesto cotidiano y deportivo

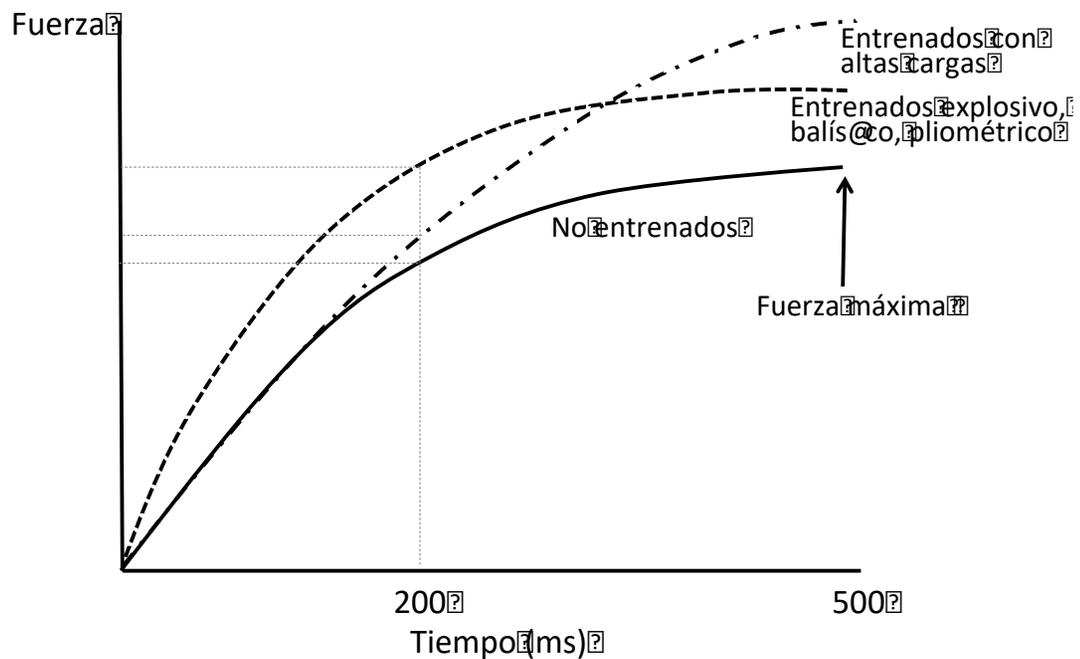


La capacidad de producir la máxima fuerza a través de una contracción voluntaria realizada en el menor tiempo posible, o **tasa de desarrollo de fuerza (o fuerza explosiva;** término en inglés: *rate of force development* o *RFD*) es considerada mejor indicador del rendimiento motor funcional (deportivo 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) (Maffiuletti et al., 2016). 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 (Aagaard, Simonsen, Andersen, Magnusson, & Dyhre-Poulsen, 2002), sino también en aspectos relacionados con la prevención y manejo de lesiones (Maffiuletti et al., 2016; Maffiuletti, Bizzini, Widler, & Munzinger, 2010; Tillin, Jimenez-Reyes, Pain, & Folland, 2010).

LECTURA ADICIONAL: Physiological and methodological aspects of rate of force development assessment in human skeletal muscle (Rodriguez-Rosell, Pareja-Blanco, Aagaard, & Gonzalez-Badillo, 2018).

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 (Maffiuletti et al., 2016).

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 (Bohannon, 1999) :

- 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 (Schmidt, Iverson, Brown, & Thompson, 2013).

En cualquier caso, recomendamos siempre utilizar 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

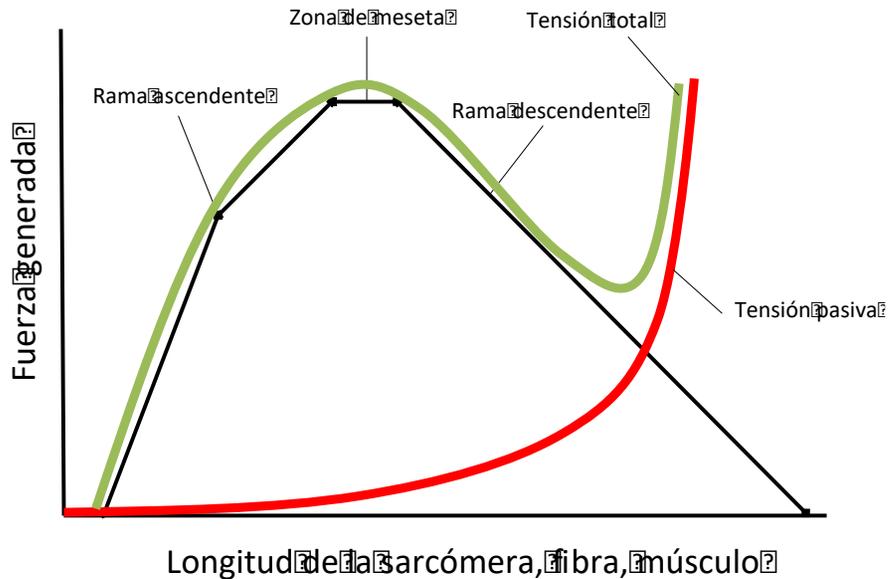
La magnitud de fuerza que un músculo puede generar depende, entre otros factores (tales como la velocidad y la estimulación neuromuscular), de la longitud a la que ejerce fuerza. La relación longitud-tensión (L-t) juega un importante papel en la función del músculo esquelético así como de todo el sistema 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 (Huxley, 1957).

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}) (Gordon, Huxley, & Julian, 1966). 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.

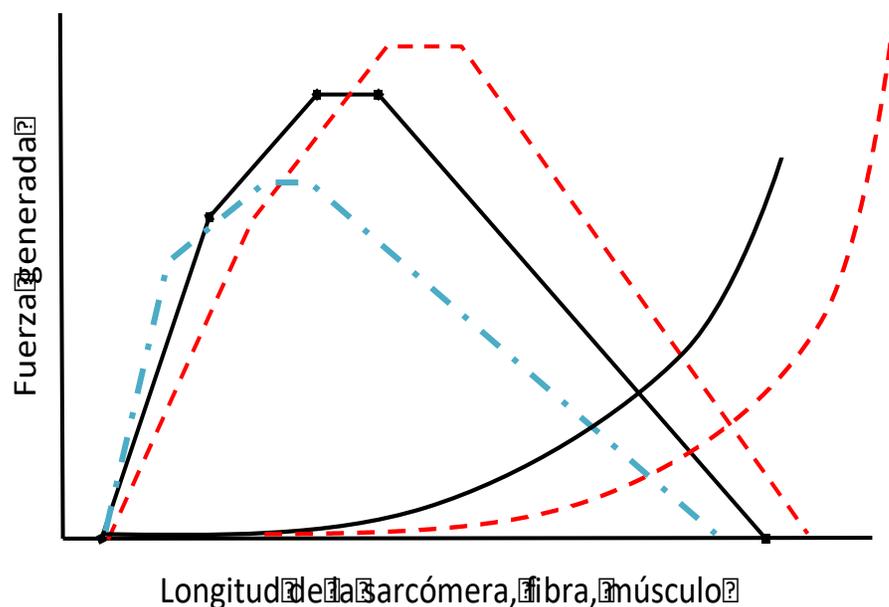
De manera adicional, la tensión total generada en un músculo es un resultante de la suma de dos componentes: la *tensión activa*; debida al comportamiento contráctil anteriormente mencionado, y la *tensión pasiva*; debida al comportamiento elástico de los tejidos miofascial y tendinoso. Debido a las 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.



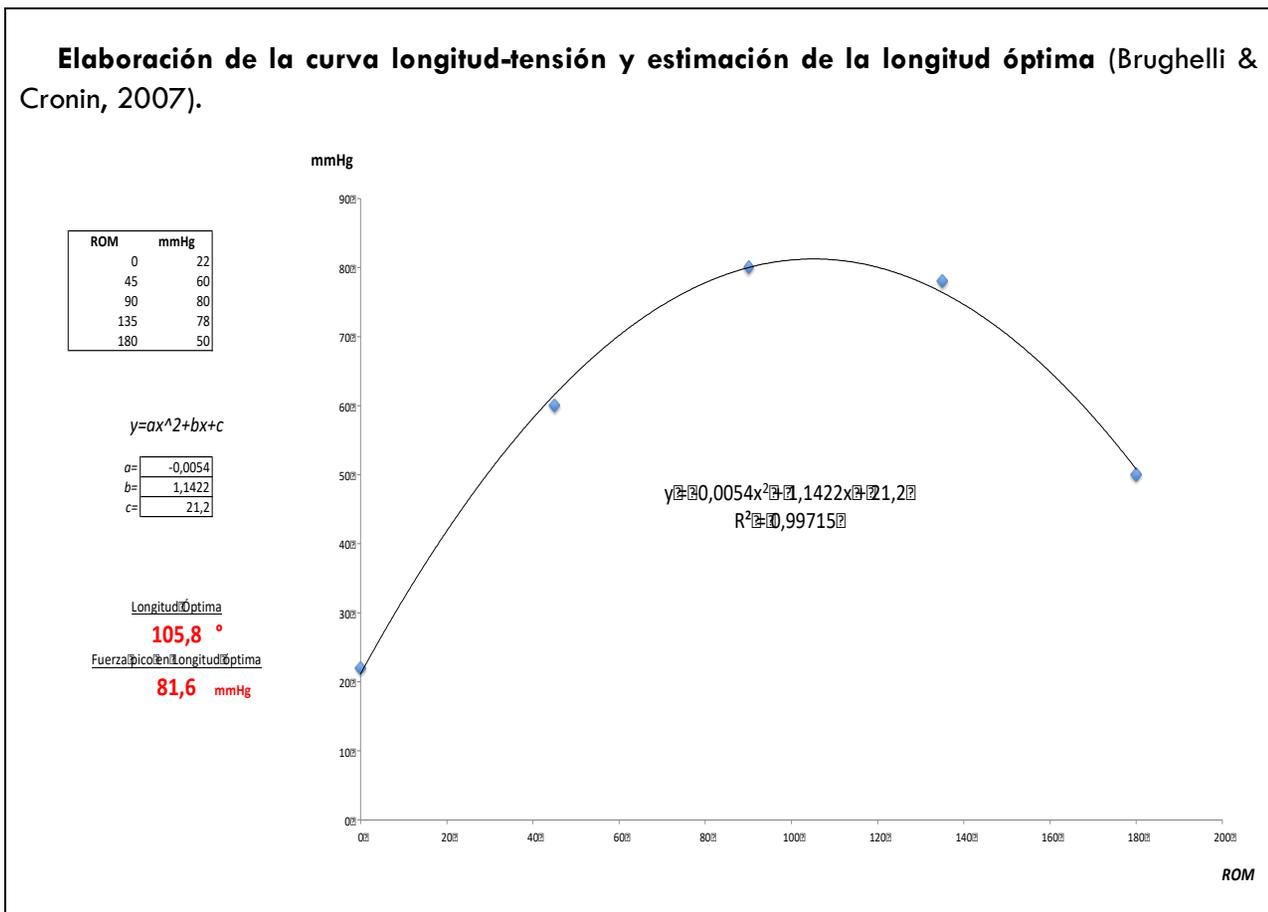
Al igual que el resto de relaciones biomecánicas que tratan de explicar el funcionamiento del sistema neuromuscular, la relación L-t es un constructo dinámico susceptible de cambios por entrenamiento, inactividad, lesión o enfermedad.

Las adaptaciones positivas provocadas por el correcto entrenamiento (línea discontinua roja en figura X) provocarían un desplazamiento de la curva L-t activa hacia arriba y hacia la derecha por adición de sarcómeras en serie (Brughelli & Cronin, 2007; Guex & Millet, 2013),



Por otro lado, el entrenamiento provocaría un desplazamiento hacia la derecha de la curva de tensión pasiva, desplazando así hacia la derecha (mayor amplitud articular) y hacia arriba

(mayor tolerancia a los esfuerzos) del punto de ruptura (Whitehead, Weerakkody, Gregory, Morgan, & Proske, 2001).



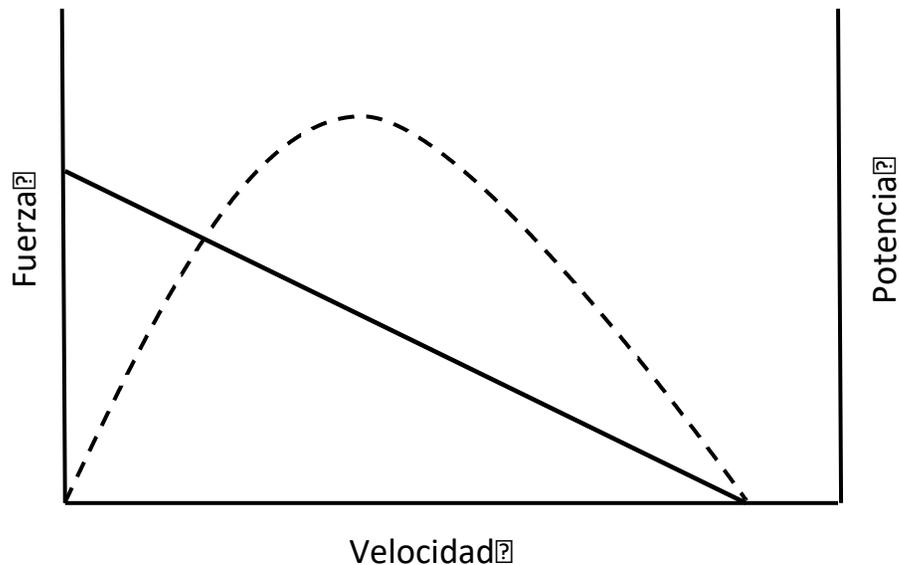
4.3. Modificaciones en la relación potencia-fuerza-velocidad

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 (Hill, 1938). 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 (Cormie, McGuigan, & Newton, 2011).

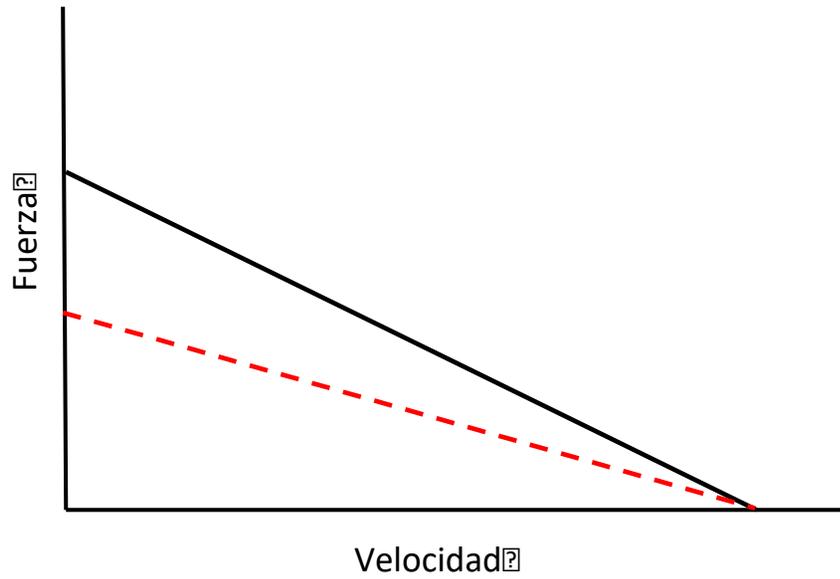
Por otro lado, la potencia muscular (P) es el resultado de combinación de la fuerza (F) y velocidad (v) producidas durante la contracción ($P = F \cdot v$). Debido a que la potencia es un producto de la fuerza y la velocidad, mayores niveles de potencia son alcanzados cuando una contracción se realiza a máxima velocidad.

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.

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 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) (Jaskolska, Goossens, Veenstra, Jaskólski, & Skinner, 1999; Morin et al., 2011) eran relativos a las modificaciones en las cualidades de fuerza aplicada (reducidas en el momento del RTS) fueron mayores que las cualidades de velocidad (que no presentaron cambios en el momento RTS) (Mendiguchia et al., 2016; Mendiguchia et al., 2014).



4.4. Otras áreas de la biomecánica

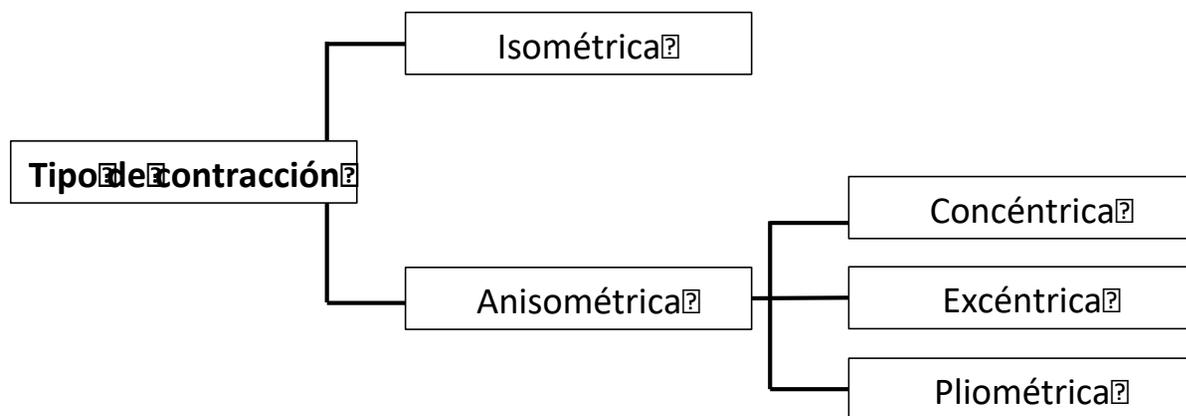
- Biomecánica de la técnica deportiva.
 - Técnica de carrera
 - Técnica de los gestos de musculación
 - Técnica de los gestos deportivos

- Biomecánica de los equipamientos deportivos.
 - Calzado deportivo
 - Implementos deportivos

Capítulo 5: Entrenamiento de las cualidades físicas: Fuerza

La fuerza puede ser considerada como la cualidad física fundamental (Cometti, 1999). 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 y factores periféricos.

5.1. La contracción isométrica

La contracción isométrica o contracción estática es definida como la contracción muscular (incremento en la tensión muscular y actividad neural; ***concepto de retraso electromecánico**) sin cambio en la longitud del grupo muscular implicado.

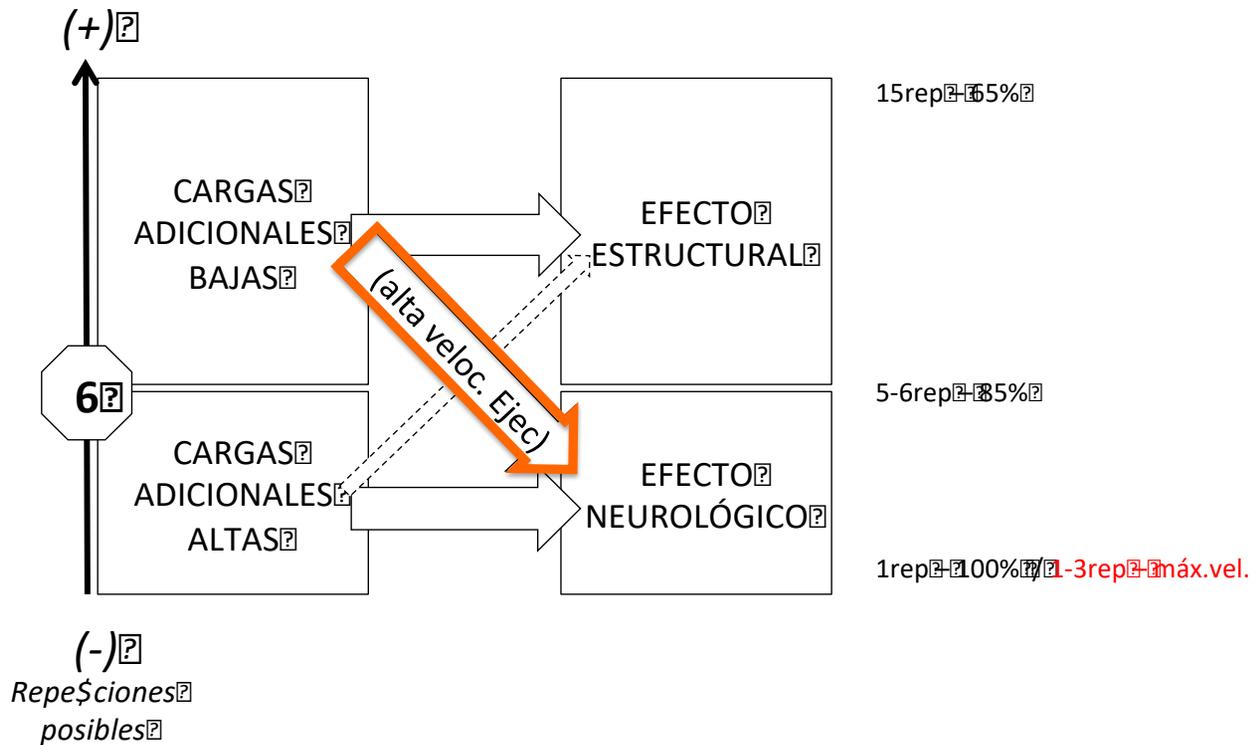
- ✓ Propiedades clínicas de la contracción isométrica:
 - Relación con analgesia (Rio, Kidgell, et al., 2016; Rio et al., 2015; Rio, van Ark, et al., 2016; van Ark et al., 2015).
 - Mantenimiento de la función neuromotora en condiciones de inmovilidad.
 - Mantenimiento de la capacidad contráctil (interacción 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:
 - Percepción subjetiva de esfuerzo (control de la carga interna).
 - Percepción de dolor (no exacerbación de dolor).
 - 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 (mucho menos recomendable en el entorno de la rehabilitación clínica)

(Izquierdo et al., 2006; Pareja-Blanco et al., 2017; Sampson & Groeller, 2016). El método de Repeticiones en Reserva (RER) (similar al llamado por otros autores como “carácter del esfuerzo” (Gonzalez Badillo & Gorostiaga, 1995; Gonzalez Badillo & Ribas, 2002)) 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

- 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.

5.3. La contracción pliométrica

El movimiento pliométrico (del griego; *plyethin*=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, durante la contracción pliométrica se genera más fuerza en comparación con otras manifestaciones contráctiles.

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

Balísticos*

- ✓ Utilidad clínica de la contracción pliométrica
 - Prepara al organismo para movimientos rápidos donde se requieren grandes cantidades de fuerza.
 - Estrategia de entrenamiento propioceptivo: husos neuromusculares.

- ✓ Metodología pliométrica
 - Es un gesto agresivo para el sistema locomotoras: Principio de Progresión
 - 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.
- Fases del trabajo pliométrico :
 1. Acondicionamiento y coordinación – Aprendizaje del gesto pliométrico.
 2. Fuerza pliométrica – Musculación convencional.
 3. Absorción excéntrico – 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) (Guido & Stemm, 2007), Terapia FNP – Estabilización Rítmica, saltos, lanzamientos, carrera.

5.4. La contracción excéntrica

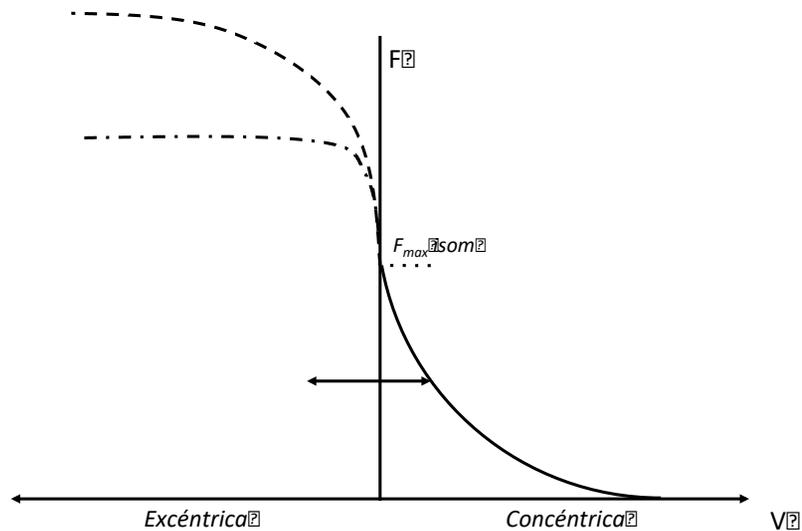
La contracción excéntrica tiene lugar cuando la resistencia externa es superior a la fuerza generada realizada por el músculo. Las características fundamentales de este tipo de contracción son:

- La tensión o fuerza 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 voluntaria es menor durante el excéntrico (en términos de EMG-superficie, estímulos eléctricos superimpuestos, 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.

(Duchateau & Enoka, 2016)

- El trabajo excéntrico es peligroso: este tipo de trabajo 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 tener de 48h a 10 días de duración post-ejercicio (Douglas, Pearson, Ross, & McGuigan, 2016).

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 en la que se encuentre)
 - 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 (Guex, Degache, Gremion, & Millet, 2013; Guex & Millet, 2013).

- ✓ Consideraciones metodológicas en la aplicación de excéntricos.
 - Muy populares son los dispositivos *isoinerciales*: poleas cónicas, sistemas “yo-yo”, etc. En condiciones de laboratorio destacan los dispositivos *isocinéticos*. 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 (Duchateau & Enoka, 2016).
 - El trabajo pliométrico puro aplicado a gestos convencionales de musculación requiere asistencia completa (compañeros) durante la fase concéntrica.
 - Cualquier gesto convencional de musculación conlleva una fase excéntrica.
 - 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 en trabajo excéntrico sea alto (Magnusson, Langberg, & Kjaer, 2010).

- Se recomienda considerar el aprendizaje motor del gesto previo al trabajo principal.
- Se recomienda tener en cuenta las consideraciones metodológicas del entrenamiento neurológico con altas cargas concéntricas.

*“La **mecanotransducción** es el proceso por el cual las células convierten un estímulo mecánico en respuestas bioquímicas. Se ha descrito este fenómeno en diversos tejidos biológicos entre los que se destaca el muscular, tendinoso, óseo y cartilaginoso” (Khan & Scott, 2009).*

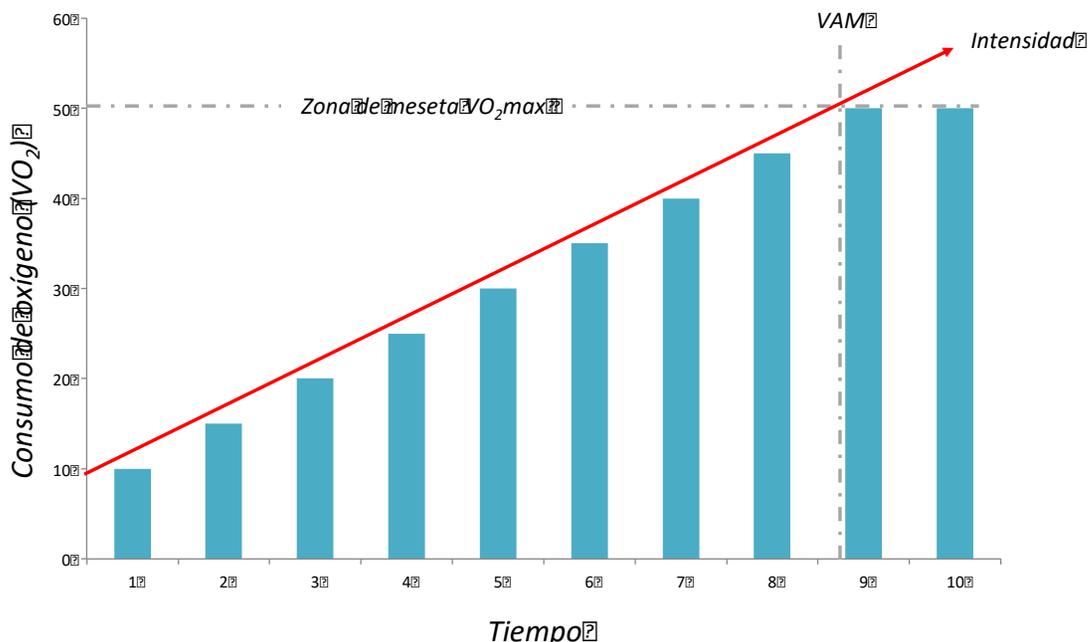
Parece asumirse que la actividad de las células satélite musculares (mecanotransducción) y las otras vías del metabolismo anabólico muscular podrían estar especialmente más favorecidas a través de contracciones máximas de carácter excéntrico (Douglas et al., 2016). No obstante, dichas adaptaciones bioquímicas del tejido muscular no son exclusivas del trabajo excéntrico sino que cualquier “sobrecarga” (Goldspink, 2003) o ejercicio contrarresistencia (Cermak et al., 2013) podrían inducir hipertrofia muscular vía activación de la células satélite y otros mecanismos metabólicos.

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.

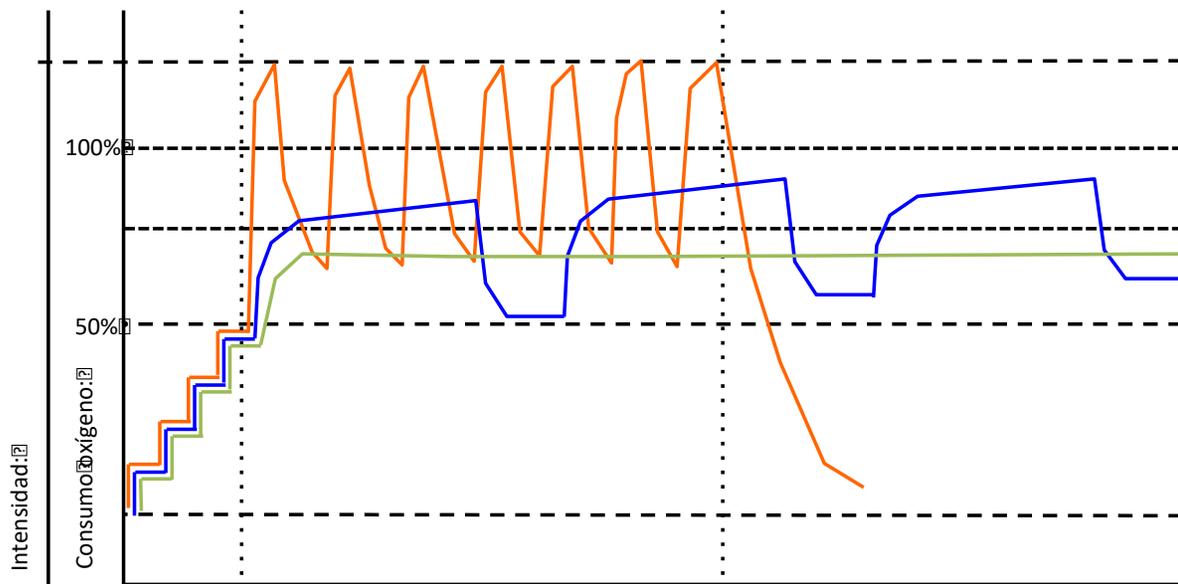
La evaluación de la capacidad física de la resistencia se lleva a cabo en condiciones de laboratorio (cicloergómetro o tapiz rodante) o sobre el terreno (carrera, natación) donde se somete al deportista a un test controlado (generalmente de tipo incremental) para la determinación del consumo máximo de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

Durante el test, las variables fisiológicas de la frecuencia cardiaca 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 de cada deportista.

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



Estrategias generales de entrenamiento:

- Continuo (60-85% VVO2max) – Eficiencia aeróbica
- Interválico Corto (>100 VVO2max) – Incremento del consumo de oxígeno
- Interválico Largo (85%-100 VVO2max) – Eficiencia aeróbica-anaeróbica

✓ **Utilidad clínica del entrenamiento de resistencia:**

- En situaciones clínicas, la correspondencia la región de “meseta” en el consumo de oxígeno (= VO₂ max) durante un test de intensidad incremental es difícil de determinar. De este modo surge el término “consumo de oxígeno pico” (VO₂ 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 (Azevedo et al., 2018; Green & Askew, 2018), los valores de VO₂ 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.
- 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 asociando a mayores beneficios en diversas poblaciones clínicas (Mitchell et al., 2018).

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

	%VO ₂ max	%FC pico	RPE 6 - 20
Ligero	37 - 45	57 - 63	9 - 11
Moderado	46 - 63	64 - 76	12 - 13
Vigoroso	64 - 90	77 - 95	14 - 17
Máximo	> 91	> 95	> 18

✓ **Monitorización y control del entrenamiento de resistencia:**

La determinación del VO₂max 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.

Para ello, a lo largo de la historia se han descrito protocolos máximo de intensidad creciente basados en marcha, carrera y pedaleo. Durante este tipo de test se monitoriza la respuesta central (frecuencia cardiaca y volumen sistólico) y periférica (diferencia arteriovenosa) del sistema cardiovascular y respiratorio durante el ejercicio hasta la extenuación.

Los test submáximos suelen ser la opción más factible en entorno clínicos. Durante este tipo de test el objetivo principal es registrar el comportamiento de dichas variables representativas de la función cardiovascular y respiratoria durante esfuerzos más conservadores (menos exigentes). Los valores máximos en el consumo de oxígeno se obtienen a través de ecuaciones de regresión de carácter predictivo.

Este ejercicio para la determinación del VO₂max que requiere recursos (humanos y materiales) altamente especializados, convierte dicho procedimiento en una herramienta útil pero inaccesible en un entorno clínico común. Por ello, a lo largo de la historia, se han tratado de buscar soluciones más accesibles a través del estudio de una de las variables incluidas en la determinación del consumo de oxígeno: la 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 de la frecuencia cardiaca, ha sido la variable más extendida en el control del entrenamiento de resistencia tanto en poblaciones clínicas como en deportivas.

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

Saturación de oxígeno (pulsioximetría).

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 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 (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.

De este modo, no existe el “movimiento normal” que, indiscriminadamente, sea objetivo final de tratamiento para todo tipo de paciente:

“La única forma de saber qué movimiento es “normal” para un paciente 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 reproducción de un movimiento nunca es 100% exacta (Grados de libertad), desde el punto de vista de la lateralidad, de la repetición intra-sujeto, o de la comparativa inter-sujeto.

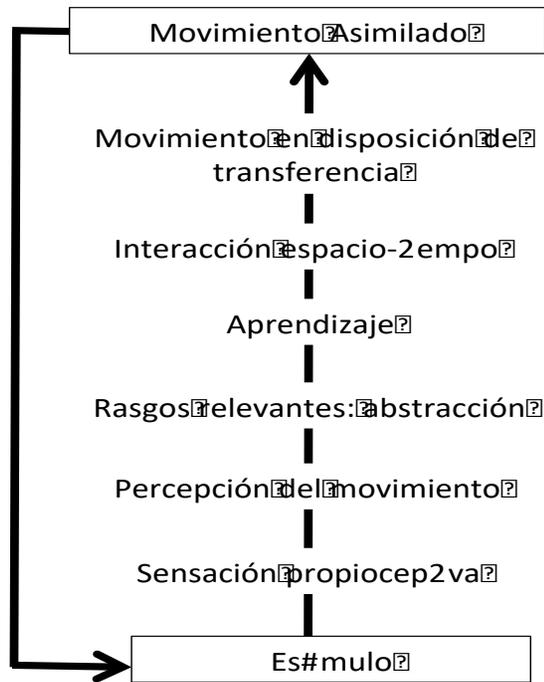
En el ámbito clínico, toda afección médica o quirúrgica podría interpretarse como una pérdida total o parcial de los recursos perceptivos, cognitivos y motrices que determinan el movimiento “normal”. Con la asunción de esta premisa, el objetivo de todo proceso rehabilitador se convierte en restaurar 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.

Es importante considerar que la instauración de la fatiga influye negativamente en la percepción, en la cognición y en la motricidad. Esto debe ser muy tenido en cuenta en el diseño de tareas motrices con un fin rehabilitador.

El **aprendizaje perceptivo-cognitivo-motor**, cuyo fin es la adquisición de una determinada solución motriz coordinada, debe enfocarse hacia la consecución y consolidación de dichos *procesos perceptivos, cognitivos y motores* para garantizar la consecución de un objetivo motor de manera eficiente a pesar de la variabilidad del contexto.

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; (Aguirre-Zabaleta, 1999)):



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, desde un punto de vista independiente a la evidencia científica, la flexibilidad puede considerarse una cualidad física elemental en aquellos deportes basados en “estética” (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. 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.

✓ **Tipos 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.

✓ **Adaptaciones por entrenamiento:**

El uso de estiramientos antes de la práctica deportiva, aunque es una práctica muy común, en los últimos tiempos ha sido una práctica 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 (Trajano, Nosaka, & Blazevich, 2017).
- Teorías mecánicas: tratan de justificar que las pérdidas de fuerza podrían ser consecuencia de una disminución en el *stiffness* miotendinoso; en especial por un incremento en la distensibilidad (*compliance*) del tendón.

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

- Teoría sensorial: Incremento de la tolerancia a la tensión pasiva.

- 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 multitud de técnicas para la recuperación del ROM perdido.

No se puede afirmar que los estiramientos tengan poder preventivo.

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 no deben aplicarse en grupos musculares que sufren en fenómeno DOMS (“agujetas”).

✓ **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 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).

✓ **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 (°). 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 (In Riebe, 2018)

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 movimiento 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).

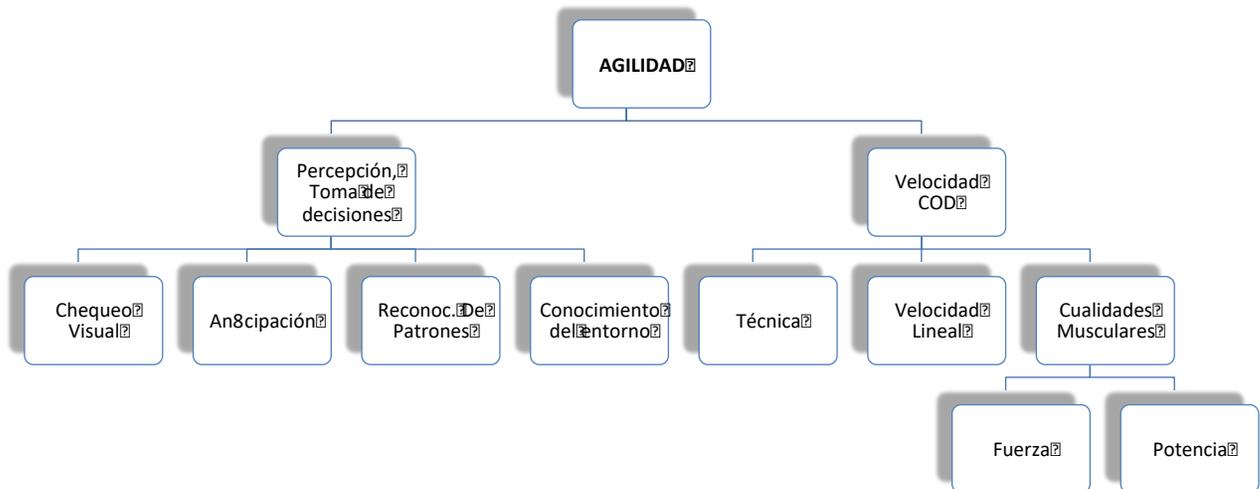
La aplicación de fuerza condicionará un desplazamiento (aceleración) del cuerpo humano ($F=m\cdot a$). En este sentido, si la fuerza o sucesión de fuerzas se aplica en una misma dirección, el movimiento resultante será lineal. Estaríamos refiriéndonos a un sprint, un salto vertical u horizontal. Cuanto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

Factores de los que depende la capacidad de aceleración:

- Capacidad de cambiar el estado de inercia: Fuerza máxima (F_0)
- Eficiencia motriz; capacidad de aplicación de fuerza en la dirección deseada. (Ej.: Fuerza horizontal en un sprint; musculatura extensora de cadera)
- *Sprint*: Eficiencia pliométrica (*Stiffness* miotendinoso tobillo, rodilla, cadera).

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

En el siguiente gráfico (modificado de Young et al. (2002) (Young, James, & Montgomery, 2002) 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)

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.

✓ **Velocidad y COD en rehabilitación:**

Es bien sabido que la velocidad es un factor clave del éxito deportivo en muchos gestos y disciplinas deportivas. 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.

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 (Glenn, Gray, Vincenzo, Paulson, & Powers, 2017; Ruiz-Cardenas, Rodriguez-Juan, Smart, Jakobi, & Jones, 2018).

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 disminución en la velocidad de la marcha está relacionada con el empeoramiento de la salud incluyendo tasa de ingreso hospitalario caídas, discapacidad y mortalidad (Graham, Ostir, Fisher, & Ottenbacher, 2008).

✓ **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 del gesto técnico: métodos basados en el gesto técnico.

✓ **Monitorización y control de la velocidad y COD:**

- Test de velocidad de ejecución en actividades cotidianas:
 - Test de velocidad de marcha: ver (Graham et al., 2008)
 - Test de levantarse de una silla: ver (Ruiz-Cardenas et al., 2018)
- Test de sprint. Perfil F-v en sprint y su uso en la rehabilitación y prevención de lesiones musculares (Mendiguchia et al., 2014; Samozino et al., 2016)
- Test de cambios de dirección - COD (Agilidad): ver (Nimphius, 2018)

Referencias Bibliográficas

- Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P., & Dyhre-Poulsen, P. (2002). Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J Appl Physiol* (1985), 93(4), 1318-1326. doi:10.1152/jappphysiol.00283.2002
- Aguirre-Zabaleta, J. (1999). Reflexiones sobre aprendizaje motor. *Apunts*, 58, 41-47.
- Alexander, R. M. (2003). Modelling approaches in biomechanics. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 358(1437), 1429-1435. doi:10.1098/rstb.2003.1336
- Azevedo, P., Bhammar, D. M., Babb, T. G., Bowen, T. S., Witte, K. K., Rossiter, H. B., . . . Zhao, T. (2018). Commentaries on Viewpoint: Vo2peak is an acceptable estimate of cardiorespiratory fitness but not Vo2max. *J Appl Physiol* (1985), 125(1), 233-240. doi:10.1152/jappphysiol.00319.2018
- Berryman, N., Mujika, I., & Bosquet, L. (2018). Concurrent Training for Sports Performance: The Two Sides of the Medal. *Int J Sports Physiol Perform*, 1-22. doi:10.1123/ijsp.2018-0103
- Blanch, P., & Gabbett, T. J. (2016). 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. *Br J Sports Med*, 50(8), 471-475. doi:10.1136/bjsports-2015-095445
- Bohannon, R. W. (1999). Intertester reliability of hand-held dynamometry: a concise summary of published research. *Percept Mot Skills*, 88(3 Pt 1), 899-902. doi:10.2466/pms.1999.88.3.899
- Brughelli, M., & Cronin, J. (2007). Altering the length-tension relationship with eccentric exercise : implications for performance and injury. *Sports Med*, 37(9), 807-826.
- Buchheit, M., Samozino, P., Glynn, J. A., Michael, B. S., Al Haddad, H., Mendez-Villanueva, A., & Morin, J. B. (2014). Mechanical determinants of acceleration and maximal sprinting speed in highly trained young soccer players. *J Sports Sci*, 32(20), 1906-1913. doi:10.1080/02640414.2014.965191
- Butler, D. S., Moseley G.L. . (2010). *Explaining pain* (N. Publications Ed.).
- Cermak, N. M., Snijders, T., McKay, B. R., Parise, G., Verdijk, L. B., Tarnopolsky, M. A., . . . Van Loon, L. J. (2013). Eccentric exercise increases satellite cell content in type II muscle fibers. *Med Sci Sports Exerc*, 45(2), 230-237. doi:10.1249/MSS.0b013e318272cf47
- Cometti, G. (1999). *Los métodos modernos de musculación* (Segunda ed.). Barcelona: Paidotribo.

- Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2011). Developing maximal neuromuscular power: Part 1--biological basis of maximal power production. *Sports Med*, *41*(1), 17-38. doi:10.2165/11537690-000000000-00000
- Douglas, J., Pearson, S., Ross, A., & McGuigan, M. (2016). Eccentric Exercise: Physiological Characteristics and Acute Responses. *Sports Med*. doi:10.1007/s40279-016-0624-8
- Douglas, J., Pearson, S., Ross, A., & McGuigan, M. (2017). Eccentric Exercise: Physiological Characteristics and Acute Responses. *Sports Med*, *47*(4), 663-675. doi:10.1007/s40279-016-0624-8
- Duchateau, J., & Enoka, R. M. (2016). Neural control of lengthening contractions. *J Exp Biol*, *219*(Pt 2), 197-204. doi:10.1242/jeb.123158
- Dupuy, O., Douzi, W., Theurot, D., Bosquet, L., & Dugue, B. (2018). 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*, *9*, 403. doi:10.3389/fphys.2018.00403
- Fyfe, J. J., Bishop, D. J., & Stepto, N. K. (2014). Interference between concurrent resistance and endurance exercise: molecular bases and the role of individual training variables. *Sports Med*, *44*(6), 743-762. doi:10.1007/s40279-014-0162-1
- Gabbett, T. J., Kennelly, S., Sheehan, J., Hawkins, R., Milsom, J., King, E., . . . Ekstrand, J. (2016). If overuse injury is a 'training load error', should undertraining be viewed the same way? *Br J Sports Med*, *50*(17), 1017-1018. doi:10.1136/bjsports-2016-096308
- Gabbett, T. J., Nassis, G. P., Oetter, E., Pretorius, J., Johnston, N., Medina, D., . . . Ryan, A. (2017). The athlete monitoring cycle: a practical guide to interpreting and applying training monitoring data. *Br J Sports Med*, *51*(20), 1451-1452. doi:10.1136/bjsports-2016-097298
- Glenn, J. M., Gray, M., Vincenzo, J., Paulson, S., & Powers, M. (2017). An Evaluation of Functional Sit-to-Stand Power in Cohorts of Healthy Adults Aged 18-97 Years. *J Aging Phys Act*, *25*(2), 305-310. doi:10.1123/japa.2016-0031
- Goldspink, G. (2003). Gene expression in muscle in response to exercise. *J Muscle Res Cell Motil*, *24*(2-3), 121-126.
- Gonzalez Badillo, J. J., & Gorostiaga, E. M. (1995). *Fundamentos del entrenamiento de la fuerza: aplicación al alto rendimiento deportivo*. Barcelona: INDE.
- Gonzalez Badillo, J. J., & Ribas, J. (2002). *Bases de la programación del entrenamiento de fuerza*. Barcelona: INDE.
- Gordon, A. M., Huxley, A. F., & Julian, F. J. (1966). The variation in isometric tension with sarcomere length in vertebrate muscle fibres. *J Physiol*, *184*(1), 170-192.
- Graham, J. E., Ostir, G. V., Fisher, S. R., & Ottenbacher, K. J. (2008). Assessing walking speed in clinical research: a systematic review. *J Eval Clin Pract*, *14*(4), 552-562. doi:10.1111/j.1365-2753.2007.00917.x

- Green, S., & Askew, C. (2018). Vo₂peak is an acceptable estimate of cardiorespiratory fitness but not Vo₂max. *J Appl Physiol* (1985), 125(1), 229-232. doi:10.1152/jappphysiol.00850.2017
- Guex, K., Degache, F., Gremion, G., & Millet, G. P. (2013). Effect of hip flexion angle on hamstring optimum length after a single set of concentric contractions. *J Sports Sci*, 31(14), 1545-1552. doi:10.1080/02640414.2013.786186
- Guex, K., & Millet, G. P. (2013). Conceptual framework for strengthening exercises to prevent hamstring strains. *Sports Med*, 43(12), 1207-1215. doi:10.1007/s40279-013-0097-y
- Guido, J. A., Jr., & Stemm, J. (2007). Reactive Neuromuscular Training: A Multi-level Approach to Rehabilitation of the Unstable Shoulder. *N Am J Sports Phys Ther*, 2(2), 97-103.
- Halson, S. L. (2014). Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sports Med*, 44 Suppl 2, S139-147. doi:10.1007/s40279-014-0253-z
- Harman, E. (1993). Strength and power: A definition of terms. *Nat. Strength Cond. J. Sport Sci*, 7, 55-64.
- Hauswirth, C., & Le Meur, Y. (2011). Physiological and nutritional aspects of post-exercise recovery: specific recommendations for female athletes. *Sports Med*, 41(10), 861-882. doi:10.2165/11593180-000000000-00000
- Hickson, R. C., Hagberg, J. M., Ehsani, A. A., & Holloszy, J. O. (1981). Time course of the adaptive responses of aerobic power and heart rate to training. *Med Sci Sports Exerc*, 13(1), 17-20.
- Hill, A. V. (1938). The heat of shirtenign and the dynamic constant of muscle. *Proc. R. Soc. Lond. B Biol. Sci*, 126B, 136-195.
- Hohenauer, E., Taeymans, J., Baeyens, J. P., Clarys, P., & Clijsen, R. (2015). The Effect of Post-Exercise Cryotherapy on Recovery Characteristics: A Systematic Review and Meta-Analysis. *PLoS One*, 10(9), e0139028. doi:10.1371/journal.pone.0139028
- Huxley, A. F. (1957). Muscle structure and theories of contraction. *Prog Biophys Biophys Chem*, 7, 255-318.
- In Riebe, D., In Ehrman, J. K., In Liguori, G., & In Magal, M. . (2018). *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription*. (10th ed.). Philadelphia.
- Izquierdo, M., Ibanez, J., Gonzalez-Badillo, J. J., Hakkinen, K., Ratamess, N. A., Kraemer, W. J., . . . Gorostiaga, E. M. (2006). Differential effects of strength training leading to failure versus not to failure on hormonal responses, strength, and muscle power gains. *J Appl Physiol* (1985), 100(5), 1647-1656. doi:10.1152/jappphysiol.01400.2005
- Khan, K. M., & Scott, A. (2009). Mechanotherapy: how physical therapists' prescription of exercise promotes tissue repair. *Br J Sports Med*, 43(4), 247-252. doi:10.1136/bjism.2008.054239
- Lee, D. C., Sui, X., Ortega, F. B., Kim, Y. S., Church, T. S., Winnett, R. A., . . . Blair, S. N. (2011). Comparisons of leisure-time physical activity and cardiorespiratory fitness as predictors

- of all-cause mortality in men and women. *Br J Sports Med*, 45(6), 504-510. doi:10.1136/bjism.2009.066209
- Lieber, R. L., & Friden, J. (2000). Functional and clinical significance of skeletal muscle architecture. *Muscle Nerve*, 23(11), 1647-1666.
- López-Chicharro, J., Fernández-Vaquero, A. (2008). *Physiology of exercise*. Madrid, España: Editorial Médica Panamericana.
- Maffiuletti, N. A., Aagaard, P., Blazevich, A. J., Folland, J., Tillin, N., & Duchateau, J. (2016). Rate of force development: physiological and methodological considerations. *Eur J Appl Physiol*, 116(6), 1091-1116. doi:10.1007/s00421-016-3346-6
- Maffiuletti, N. A., Bizzini, M., Widler, K., & Munzinger, U. (2010). Asymmetry in quadriceps rate of force development as a functional outcome measure in TKA. *Clin Orthop Relat Res*, 468(1), 191-198. doi:10.1007/s11999-009-0978-4
- Magnusson, S. P., Langberg, H., & Kjaer, M. (2010). The pathogenesis of tendinopathy: balancing the response to loading. *Nat Rev Rheumatol*, 6(5), 262-268. doi:10.1038/nrrheum.2010.43
- Mattson, M. P. (2008). Hormesis defined. *Ageing Res Rev*, 7(1), 1-7. doi:10.1016/j.arr.2007.08.007
- Meakins, A. (2015). Road to recovery graph. *Br J Sports Med*, 49(8), 494. doi:10.1136/bjsports-2015-094672
- Mendiguchia, J., Edouard, P., Samozino, P., Brughelli, M., Cross, M., Ross, A., . . . Morin, J. B. (2016). Field monitoring of sprinting power-force-velocity profile before, during and after hamstring injury: two case reports. *J Sports Sci*, 34(6), 535-541. doi:10.1080/02640414.2015.1122207
- Mendiguchia, J., Samozino, P., Martinez-Ruiz, E., Brughelli, M., Schmikli, S., Morin, J. B., & Mendez-Villanueva, A. (2014). Progression of mechanical properties during on-field sprint running after returning to sports from a hamstring muscle injury in soccer players. *Int J Sports Med*, 35(8), 690-695. doi:10.1055/s-0033-1363192
- Mitchell, B. L., Lock, M. J., Davison, K., Parfitt, G., Buckley, J. P., & Eston, R. G. (2018). What is the effect of aerobic exercise intensity on cardiorespiratory fitness in those undergoing cardiac rehabilitation? A systematic review with meta-analysis. *Br J Sports Med*. doi:10.1136/bjsports-2018-099153
- Mujika, I., Halson, S., Burke, L. M., Balague, G., & Farrow, D. (2018). An Integrated, Multifactorial Approach to Periodization for Optimal Performance in Individual and Team Sports. *Int J Sports Physiol Perform*, 13(5), 538-561. doi:10.1123/ijsp.2018-0093
- Nimphius, S. C., S.J.; Bezodis, N. E.; Lockie, R. G. . (2018). Change of Direction and Agility Tests: Challenging Our Current Measures of Performance. *Strength Cond J*, 40(1), 26-38. doi:10.1519/SSC.0000000000000309
- Pareja-Blanco, F., Rodriguez-Rosell, D., Sanchez-Medina, L., Sanchis-Moysi, J., Dorado, C., Mora-Custodio, R., . . . Gonzalez-Badillo, J. J. (2017). Effects of velocity loss during resistance

- training on athletic performance, strength gains and muscle adaptations. *Scand J Med Sci Sports*, 27(7), 724-735. doi:10.1111/sms.12678
- Rio, E., Kidgell, D., Moseley, G. L., Gaida, J., Docking, S., Purdam, C., & Cook, J. (2016). Tendon neuroplastic training: changing the way we think about tendon rehabilitation: a narrative review. *Br J Sports Med*, 50(4), 209-215. doi:10.1136/bjsports-2015-095215
- Rio, E., Kidgell, D., Purdam, C., Gaida, J., Moseley, G. L., Pearce, A. J., & Cook, J. (2015). Isometric exercise induces analgesia and reduces inhibition in patellar tendinopathy. *Br J Sports Med*, 49(19), 1277-1283. doi:10.1136/bjsports-2014-094386
- Rio, E., van Ark, M., Docking, S., Moseley, G. L., Kidgell, D., Gaida, J. E., . . . Cook, J. (2016). Isometric Contractions Are More Analgesic Than Isotonic Contractions for Patellar Tendon Pain: An In-Season Randomized Clinical Trial. *Clin J Sport Med*. doi:10.1097/JSM.0000000000000364
- Rodriguez-Rosell, D., Pareja-Blanco, F., Aagaard, P., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2018). Physiological and methodological aspects of rate of force development assessment in human skeletal muscle. *Clin Physiol Funct Imaging*, 38(5), 743-762. doi:10.1111/cpf.12495
- Ruiz-Cardenas, J. D., Rodriguez-Juan, J. J., Smart, R. R., Jakobi, J. M., & Jones, G. R. (2018). Validity and reliability of an iPhone App to assess time, velocity and leg power during a sit-to-stand functional performance test. *Gait Posture*, 59, 261-266. doi:10.1016/j.gaitpost.2017.10.029
- Samozino, P., Rabita, G., Dorel, S., Slawinski, J., Peyrot, N., Saez de Villarreal, E., & Morin, J. B. (2016). A simple method for measuring power, force, velocity properties, and mechanical effectiveness in sprint running. *Scand J Med Sci Sports*, 26(6), 648-658. doi:10.1111/sms.12490
- Sampson, J. A., & Groeller, H. (2016). Is repetition failure critical for the development of muscle hypertrophy and strength? *Scand J Med Sci Sports*, 26(4), 375-383. doi:10.1111/sms.12445
- Sasso, J. P., Eves, N. D., Christensen, J. F., Koelwyn, G. J., Scott, J., & Jones, L. W. (2015). A framework for prescription in exercise-oncology research. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*, 6(2), 115-124. doi:10.1002/jcsm.12042
- Schmidt, J., Iverson, J., Brown, S., & Thompson, P. A. (2013). Comparative reliability of the make and break tests for hip abduction assessment. *Physiother Theory Pract*, 29(8), 648-657. doi:10.3109/09593985.2013.782518
- Tibana, R. A., de Sousa, N. M. F., Cunha, G. V., Prestes, J., Fett, C., Gabbett, T. J., & Voltarelli, F. A. (2018). Validity of Session Rating Perceived Exertion Method for Quantifying Internal Training Load during High-Intensity Functional Training. *Sports (Basel)*, 6(3). doi:10.3390/sports6030068
- Tillin, N. A., Jimenez-Reyes, P., Pain, M. T., & Folland, J. P. (2010). Neuromuscular performance of explosive power athletes versus untrained individuals. *Med Sci Sports Exerc*, 42(4), 781-790. doi:10.1249/MSS.0b013e3181be9c7e

- Tipton, C. M. (2008). Susruta of India, an unrecognized contributor to the history of exercise physiology. *J Appl Physiol* (1985), 104(6), 1553-1556. doi:10.1152/japplphysiol.00925.2007
- Trajano, G. S., Nosaka, K., & Blazevich, A. J. (2017). Neurophysiological Mechanisms Underpinning Stretch-Induced Force Loss. *Sports Med*, 47(8), 1531-1541. doi:10.1007/s40279-017-0682-6
- van Ark, M., Cook, J. L., Docking, S. I., Zwerver, J., Gaida, J. E., van den Akker-Scheek, I., & Rio, E. (2015). Do isometric and isotonic exercise programs reduce pain in athletes with patellar tendinopathy in-season? A randomised clinical trial. *J Sci Med Sport*. doi:10.1016/j.jsams.2015.11.006
- Whitehead, N. P., Weerakkody, N. S., Gregory, J. E., Morgan, D. L., & Proske, U. (2001). Changes in passive tension of muscle in humans and animals after eccentric exercise. *J Physiol*, 533(Pt 2), 593-604.
- Young, W. B., James, R., & Montgomery, I. (2002). Is muscle power related to running speed with changes of direction? *J Sports Med Phys Fitness*, 42(3), 282-288.

