

Fisiología en el entrenamiento de la aptitud física muscular

Physiology in training muscular fitness

Maestro especialidad en Educación Física por la Universidad de Murcia
Graduado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte
por la Universidad Pontificia de Salamanca
Máster de Investigación en Ciencias de la Actividad Física
y el Deporte por la Universidad de Murcia
Doctorando en la Facultad de Educación de la Universidad de Murcia Grupo de
Investigación de la Universidad de Murcia: Ejercicio físico y salud Maestro de
Educación Física en el C.E.I.P. Micaela Sanz Verde de Archena, Murcia

Andrés Rosa Guillamón
andres.rosa@yahoo.es (España)

Resumen

En el presente trabajo se describen las adaptaciones estructurales y funcionales en los principales órganos y sistemas que intervienen en la realización de ejercicio físico.

Palabras clave: Entrenamiento. Fuerza muscular. Ejercicio físico.

Abstract

In this paper the structural and functional adaptations in the main organ and systems involved in physical exercise are described.

Keywords: Training. Muscular strength. Physical exercise.

Recepción: 26/05/2015 - Aceptación: 13/07/2015

EFDeportes.com, Revista Digital. Buenos Aires - Año 20 - Nº 206 - Julio de 2015. <http://www.efdeportes.com/>

1 / 1

1. Introducción

Un entrenamiento de fuerza planificado y sistematizado produce una serie de adaptaciones sobre los distintos sistemas y órganos del cuerpo humano. En el presente trabajo se describen las adaptaciones que se producen en los elementos estructurales (tejido conjuntivo, óseo y, sobre todo, muscular), sistema nervioso (adaptaciones neuronales), sistema hormonal (secreción de hormonas como testosterona, hormona del crecimiento y cortisol), y sistema cardiorrespiratorio (consumo máximo de oxígeno, VO₂máx).

2. Tipos de fibra muscular y ejercicio físico

A. La célula muscular

El músculo esquelético es el órgano del sistema muscular. Su carácter voluntario y sus propiedades mecánicas y eléctricas (contractilidad, elasticidad, excitabilidad y extensibilidad) le facilitan realizar diversas funciones: almacenar y movilizar sustancias, mantener la postura, movimiento corporal y producción de calor.

La unidad estructural y funcional básica del músculo esquelético se denomina fibra muscular. Es alargada, multinucleada, la situación del núcleo es periférica y su estructura es sincital.

B. Tipos de fibra muscular

En función de sus características estructurales, funcionales y metabólicas, las fibras musculares se clasifican en:

- Fibras de contracción lenta, ST (del inglés Slow Twitch), tipo I, rojas o aeróbicas.
- Fibras de contracción rápida, FT (del inglés Fase Twitch), tipo IIa y IIb, blancas o aneróbicas.

Wilmore y Costill (2004) plantean cuáles son las principales características de las fibras musculares (Tabla 1).

Tabla 1. Fibras musculares

Características	Tipo de fibra muscular		
	Tipo I, ST Contracción lenta	Tipo IIa, FT Contracción rápida	Tipo IIb, FT Contracción rápida
Capacidad oxidativa	Alta	Moderadamente alta	Baja
Capacidad glucolítica	Baja	Alta	Muy alta
Velocidad contráctil	Lenta	Rápida	Rápida
Resistencia a la fatiga	Alta	Moderada	Baja
Fuerza de la unidad motora	Baja	Alta	Alta

C. Fibra muscular y ejercicio físico

Presencia de enzimas. Cada fibra muscular tiene una forma enzimática especial que determina la velocidad en la obtención de energía, de hidrólisis de adenosintrifosfato (ATP). En las fibras rojas hay un tipo lento de la enzima miosina ATPasa y en las blancas hay un tipo rápido de esta misma enzima.

La organización del retículo sarcoplásmico. En las fibras blancas está más desarrollado y es más sensible para liberar iones de calcio (Ca^{2+}) por lo que tienen más velocidad de acción. Este es un factor importante para que en las fibras blancas la fuerza por unidad de tiempo sea 3-5 veces superior a la de las rojas.

Unidad motora (UM). La UM de las fibras anaeróbicas es más potente que en las aeróbicas generando por tanto más fuerza. Esta UM tiene un cuerpo celular más grande, más axones e inerva entre 300 y 800 fibras. En las fibras aeróbicas, la UM inerva solo entre 10 y 180 fibras.

Composición biotipológica del individuo (Número de fibras de cada tipo). La cantidad de fibras musculares blancas y rojas está determinada genéticamente y no está demostrado que un entrenamiento de fuerza pueda modificarlas McArdle, Katch y Katch (2004). No obstante, un entrenamiento de resistencia sí puede transformar las fibras IIb en IIa.

Ley del todo o nada. Para que se consiga una respuesta en el músculo, la neurona motora debe estimular a la fibra muscular en un grado suficiente. Es lo que se ha denominado como la "ley del todo o nada", que determina que existe un umbral de activación que debe ser superado para obtener una respuesta.

Es muy difícil que una situación haga intervenir al 100% de las fibras musculares. La posibilidad de reclutar a más fibras depende de la coordinación intramuscular e intermuscular (experiencia del sujeto) y, sobre todo, de la capacidad de reclutamiento que puede ser mejorada con un entrenamiento de fuerza.

Fases de activación. El funcionamiento del sistema muscular se produce a través de unas fases de activación, donde cada tipo de fibras va participando en función de las demandas del sistema nervioso. Esto hace también que cada tipo de fibra muscular sea protagonista en un determinado ejercicio físico.

Composición biotipológica del individuo. La sintonía entre el tipo de ejercicio y la activación de un tipo de fibra muscular, nos lleva a pensar que existe una relación entre la composición biotipológica del individuo y el éxito deportivo.

3. Entrenamiento físico y fibra muscular

La capacidad de un sujeto para poner de manifiesto una determinada tensión muscular depende de elementos estructurales y de patrones nerviosos.

A. Adaptaciones en la masa muscular tras un programa de entrenamiento

El músculo esquelético tiene la cualidad de hipertrofiarse. La hipertrofia temporal posterior a la sesión de entrenamiento se debe a un aumento de fluidos en el interior de la célula muscular. No obstante, el incremento estable de la masa muscular se produce mediante una hipertrofia crónica, consecuencia de un programa de entrenamiento de la fuerza. Parece que la mejor manera de conseguir un incremento temporal en la sección transversal del músculo es con la aplicación de cargas excéntricas.

Fleck (1999) señala que los procesos de hipertrofia muscular crónica se producen por la aparición de uno o varios de los siguientes factores:

- Aumento de proteínas contráctiles (actina y miosina). La atrofia muscular: se debe a la pérdida de proteínas musculares por la inactividad.
- Incremento en número y tamaño de las miofibrillas.
- Mayor cantidad, tamaño y fuerza de los tejidos conjuntivo, tendinoso y ligamentoso.
- Aumento de las enzimas y de los nutrientes almacenados (glucógeno muscular, creatina, etc.).

El incremento también puede deberse al aumento en la síntesis proteica que sucede tras el entrenamiento y que

puede prolongarse hasta 36h después.

La magnitud de los procesos de hipertrofia muscular a depender de factores tales como:

- Tipo de fibra sobre la que se incide mayormente.
- Tipo de contracción muscular (concéntrica, excéntrica, auxotónica). La carga excéntrica consigue mejores resultados que la isométrica y la concéntrica.
- Componentes de la carga de entrenamiento (volumen, intensidad). Bosco (2000) plantea que Los sistemas de entrenamiento idóneos para desarrollar esta cualidad presentan las siguientes características:

3-5 sesiones por microciclo de 7 días.

3-5 series de 6-12 repeticiones al 60-80% para 1RM

Descanso entre series de 1-2 minutos.

B. Sistema nervioso y entrenamiento de la aptitud física neuromuscular

El incremento en el rendimiento con un entrenamiento de fuerza se puede conseguir sin cambios en los elementos estructurales, pero nunca sin adaptaciones en el sistema nervioso (Sale, 1992).

La magnitud de la acción muscular depende del reclutamiento de UM (espacial y temporal) y de la sincronización con que son dinamizadas. La fuerza será mayor cuantas más unidades musculares sean activadas de forma simultánea.

Las UM se movilizan al principio de manera asincrónica debido a que cualquier esfuerzo se produce por impulsos sucedidos de excitación-inhibición.

Un programa de entrenamiento que tenga como objetivo la mejora en la intervención de la vía neuronal (coordinación intramuscular) tendrá como objetivos:

- Favorecer el reclutamiento espacial, es decir, que haya un mayor número de UM.
- Favorecer el reclutamiento temporal, es decir, la activación rápida de UM.
- Sincronización o acción simultánea de UM.

Para alcanzar estos objetivos se pueden plantear sistemas de entrenamiento con las siguientes características (Cometti, 1998):

- Volumen:

2 sesiones por microciclo de 7 días.

3-5 ejercicios por sesión.

1-3 series de trabajo.

1-3 repeticiones por serie.

- Intensidad del 80-90% para 1RM.

Este diseño de entrenamiento persigue el bloqueo de los impulsos inhibitorios, que es posible gracias a la inhibición autogénica, que permite elevar el umbral de excitabilidad de los receptores propioceptivos (órganos tendinosos de Golgi) ante determinadas tensiones musculares.

Para implicar en mayor medida a las fibras de contracción rápida, se pueden realizar ejercicios explosivos sin carga o con carga ligera (coordinación intermuscular).

Para el desarrollo de la sincronización muscular, se puede recurrir a sistemas de contraste, donde ejercicios de cargas altas son sucedidos por cargas explosivas o series de potencia aláctica, y a ejercicios isométricos hasta la fatiga

combinados con trabajo dinámico-técnico y/o explosivo posterior.

En este tipo de entrenamientos se puede emplear la electromiografía para comprobar el número de UM reclutadas, sincronizadas y su frecuencia de estimulación.

Un entrenamiento de este tipo produce durante las primeras seis semanas mejoras en la fuerza muscular mediante adaptaciones nerviosas. Concretamente, se activan más UM y se incrementa la frecuencia de estimulación.

Un entrenamiento de fuerza máxima con cargas elevadas a velocidades lentas produce:

- Mejoras en la fuerza isométrica máxima y en la magnitud electromiográfica máxima, pero...
- No produce un desarrollo en la capacidad para movilizar una carga submáxima rápidamente.

Esto indica que además de los factores neuronales hay elementos estructurales que también influyen.

Un entrenamiento de cargas ligeras realizadas a máxima velocidad (fuerza explosiva) genera las siguientes adaptaciones (Verkhoshansky, 1999):

- Leves mejoras en la fuerza isométrica máxima y en la magnitud electromiográfica máxima.
- Sobre todo, influye en la mejor habilidad para activar rápidamente los nervios motores. Esto es debido a la adaptación neuronal, consecuencia de un aumento en la frecuencia de impulso de las motoneuronas y por la hipertrofia selectiva en las fibras glucolíticas que inervan.

Los sujetos habituados a ejercicios contrarresistencia pueden realizar ejercicios explosivos o utilizar cargas máximas para dinamizar a las fibras rápidas y modificar la actividad electromiográfica (Kuznetsov, 1989).

En sujetos poco activos o que no realicen entrenamientos de este tipo, lo primero es conseguir implicar un mayor número de UM. Las mejoras neuronales se consiguen con ejercicios generales con cargas medias. Este tipo de entrenamiento, especialmente en las primeras fases, consigue incrementos en la fuerza muscular por una mayor activación de los músculos agonistas.

La adaptación neural también se consigue por una disminución en la coactivación de los músculos antagonistas, y un aumento en la activación del agonista debido a que mejora en el aprendizaje de la acción ejecutada. A esto le añadimos la optimización en la función sinergista, así el sujeto manifestará el potencial de la función agonista.

C. Sistema endocrino y entrenamiento de la aptitud física neuromuscular

Un entrenamiento de fuerza planificado y sistematizado produce una serie de adaptaciones sobre el sistema endocrino. Algunas de las principales hormonas afectadas son las siguientes:

Hormona del crecimiento (GH)

Una de las funciones de la GH consiste en activar otras hormonas, como las somatomedinas, que ejercen funciones tales como:

- Modular la síntesis de proteínas.
- Impulsar el crecimiento de los cartílagos.
- Aumentar la retención de nitrógeno, sodio, fósforo y potasio.

Después de un entrenamiento contrarresistencia (fuerza máxima) se produce un aumento de GH que depende de los parámetros de la carga de entrenamiento (intensidad, volumen y recuperación).

González Badillo y Gorostiaga (1995) indican que los mayores aumentos en GH se producen con entrenamientos caracterizados por:

- Intensidad de 70-80% para 1RM.

- 3-5 ejercicios.
- 3-5 series por ejercicio.
- 10-15 repeticiones por serie.
- Tiempo de recuperación de 1-3 minutos.

La elevación de los niveles de GH se produce tras la realización del entrenamiento manteniéndose niveles estables en reposo.

Testosterona

Los mecanismos a través de los cuáles la testosterona influye sobre la mejora de los procesos de fuerza muscular son diversos.

- Favorece el incremento en la secreción de GH y somatomedina (aumenta el tamaño de la célula muscular).
- Contribuye a incrementar el número de neurotransmisores y a optimizar la función de sus receptores (parámetros nerviosos).
- Estimula la capacidad glucolítica de las fibras rápidas.
- Favorece de manera efectiva la síntesis proteica.

La relación rendimiento-testosterona es utilizada para evaluar el progreso de un individuo sometido a un entrenamiento de fuerza muscular. La relación rendimiento-testosterona se aprecia en sujetos con al menos dos años de experiencia y con un programa de una duración de al menos 8 semanas.

Si un deportista no asimila un entrenamiento los valores en la tasa sanguínea basal de la testosterona en reposo están disminuidos.

Tampoco se aprecian incrementos en la tasa sanguínea basal de testosterona en sujetos muy adaptados al entrenamiento de fuerza.

Cortisol

Se trata de una hormona producida por la corteza suprarrenal que suele aparecer en cuadros de ansiedad mental o fisiológica. Esta hormona que provoca la degradación de proteínas en el músculo con el consiguiente deterioro estructural.

Los procesos a través de los cuales se incrementa el nivel de cortisol son variados.

Descenso en los niveles de glucógeno. El cortisol es segregado cuando descienden las reservas de glucógeno hepático y muscular. La carencia de glucosa hace que se utilicen las proteínas como fuente de energía en un proceso denominado neoglucogénesis. En estas situaciones se produce un descenso en los niveles de testosterona, una pérdida de proteínas musculares, una atrofia muscular y una disminución de la fuerza con el consiguiente descenso del rendimiento deportivo.

El incremento en los niveles de cortisol entorpece los procesos de recuperación no permitiendo desarrollar de manera adecuada la planificación de entrenamiento.

Aumento en el nivel de lactato. El incremento en las concentraciones de lactato provoca asimismo los niveles de cortisol son mayores. En ocasiones y también en otros procesos, esto suprime la actividad de las células inmunológicas, dejando al sujeto a merced de diferentes procesos infecciosos.

A pesar de todo esto, un aumento controlado de sus niveles no es negativo ya que para favorecer los procesos de adaptación y supercompensación es necesario generar daños previos en las estructuras.

4. Intervención del sistema cardiovascular en el entrenamiento de la aptitud física muscular

Algunas investigaciones demuestran que el entrenamiento contrarresistencia provoca mejoras en el VO₂ y en el VO₂máx (García-

Pallarés, y cols., 2009 Izquierdo y cols., 2006 Nader y cols., 2005).

La respuesta del VO₂ y de la función cardiorrespiratoria es mayor con una carga concéntrica que con una carga excéntrica (Hoff, Gran y Helgerud, 2002).

Las diferencias entre uno u otro tipo de entrenamiento se pueden observar en la Tabla 2.

Tabla 2. Efectos del entrenamiento contrarresistencia sobre el consumo máximo de oxígeno

Programa de entrenamiento	Efectos sobre el VO ₂ máx
Cargas del 70-100% de 1RM 6-15 repeticiones	Mínimos
Cargas del 40-50% de 1RM 20 o más repeticiones	Notables

Jensen y cols. (1997) señalan que en individuos jóvenes sin experiencia, el entrenamiento contra-resistencia con cargas medias y un número elevado de repeticiones (20 ó más) favorece:

- Incremento del umbral láctico.
- Disminución del lactato sobre una intensidad submáxima.
- Ampliación del tiempo de agotamiento con una carga al 75% del VO₂máx.

En jóvenes, las ventajas para el rendimiento en esfuerzos de resistencia son producto del incremento de la fuerza máxima y una mayor participación de las fibras lentas con la consiguiente optimización en la utilización de ATP.

Por su parte, en adultos, el entrenamiento de fuerza máxima mejora el metabolismo aeróbico, debido a un aumento en la capilarización del músculo y en la actividad de las enzimas oxidativas.

Se han observado incrementos en el VO₂máx y en la fuerza máxima con entrenamientos combinados (izquierdo, 2005). En otros trabajos se ha descrito lo contrario (Mikkola, 2007). Las causas de este tipo de procesos negativos sobre la fuerza muscular podrían ser las siguientes:

- Sobreentrenamiento.
- Dificultad de la musculatura para simultanear adaptaciones.
- La fatiga residual de las actividades aeróbicas limita la capacidad de realizar tensiones musculares.

5. Dolor muscular y ejercicio físico

El dolor en la musculatura principal que interviene en la realización de un ejercicio físico se denomina "Síndrome de Dolor Muscular de aparición tardía" (DOMS). En un lenguaje común son conocidas como "agujetas".

Las DOMS se caracterizan por el retraso en su aparición, la diversidad de sus efectos y las posibles causas de su manifestación. Algunas de esas causas son las siguientes:

- Desgarros musculares. Se trata de roturas minúsculas en las células dañadas del tejido muscular, que liberan sustancias químicas (histaminas, prostaglandinas, metabolitos anaeróbicos, entre otras) que estimulan las terminaciones nerviosas produciendo dolor.
- Inflamación muscular. Se trata de variaciones de la presión osmótica que retienen líquidos en los tejidos circundantes.
- Calambres musculares. También conocidos como espasmos musculares.
- Daño muscular. Se refiere al estiramiento excesivo y desgarro de partes del esqueleto del tejido conjuntivo muscular o de la superficie externa del músculo. Daño estructural en la región de las líneas Z.
- Alteraciones funcionales. Son alteraciones de los mecanismos celulares de regulación del calcio.

La magnitud de las DOMS va a depender de la intensidad, duración y tipo de ejercicio siendo las contracciones excéntricas las que

generan daños de mayor intensidad (McArdle, Katch y Katch, 2004 Sanchis, Dorado y López Calbet, 2008). Las DOMS no se relacionan con la concentración de lactato. La magnitud de los daños producidos por las concentraciones excéntricas depende de la magnitud de la propia carga, pudiendo generar:

- Rupturas del sarcolema.
- Dilatación del sistema de túbulos T.
- Deformación de los componentes miofibrilares.
- Fragmentación del retículo sarcoplásmico.
- Lesiones de la membrana plasmática.
- Inflamación en las mitocondrias, y otros.

Diferencias entre las contracciones de tipo excéntrico y las contracciones de tipo concéntrico

Una de las causas de las DOMS en las contracciones excéntricas puede ser la acumulación de metabolitos que bloquearían ciertas terminaciones nerviosas provocando ese dolor característico pero no parece ser correcto ya que en el trabajo concéntrico el dolor es menor pero la agresión metabólica es superior.

Otra causa podría ser la degradación del tejido metabólico. Sin embargo, no hay relaciones concluyentes entre esto, el dolor muscular y el registro electromiográfico de la actividad muscular.

La aparición de las DOMS es inevitable. No obstante, se pueden reducir sus efectos mediante una serie de estrategias tales como:

- Comenzar los programas de entrenamiento con cargas concéntricas.
- Realizar trabajo con carga concéntrica-excéntrica.
- Programar las cargas de manera coherente y adaptadas al deportista (Friden y Lieber, 1992).
- Aporte de vitamina E para reducir el daño y la inflamación posterior.

Bibliografía

- Bosco, C. (2000). La fuerza muscular. Aspectos metodológicos. Barcelona: Inde.
- Cometti, G. (1998). Los métodos modernos de musculación. Barcelona: Paidotribo.
- Fleck, S.J., (1999). Periodized strength training: a critical review. *J Strength Cond Res*, 13, 82-89.
- Friden, J. y Lieber, R.L. (1992). Estructural and mechanical basis of exercise-induced muscle injury. *Medicine Science Sports Exercise*, 24, 521-530.
- García-Pallarés, J., et al., (2009). Endurance and neuromuscular changes in world-class level kayakers during a periodized training cycle. *Eur J ApplPhysiol*, 106, 629-38.
- González Badillo, J. J. y Gorostiaga, E. (1995). Fundamentos del entrenamiento de la fuerza. Aplicación al alto rendimiento deportivo. Barcelona: Inde.
- Hoff, J. Gran, A. y Helgerud, J. (2002). Maximal strength training improves aerobic endurance performance. *Scand J Med Sci Sports*, 12, 288-95.
- Izquierdo, M. y cols. (2005). Effects of combined resistance and cardiovascular training on strength, power, muscle cross-sectional area, and endurance markers in middle-aged men. *Eur J Appl Physiol*, 94, 70-75.
- Jensen, J. y cols. (1997). Effect of combined endurance, strength and sprint training on maximal oxygen uptake, isometric strength and sprint performance in female elite handball players during a season. *Int J Sports Med*, 18, 354-8.
- Kuznetsov, V.V. (1989). Metodología del entrenamiento de la fuerza para deportistas de alto nivel. Buenos Aires: Stadium.

- Mikkola, J.S. y cols. (2007). Concurrent endurance and explosive type strength training increases activation and fast force production of leg extensor muscles in endurance athletes. *J Strength Cond Res*, 21, 613-620.
- Nader, G.A. (2003). Concurrent strength and endurance training: from molecules to man. *Med Sci Sports Exerc*, 38, 1965-1970.
- Sale, D. G. (1992). Neural adaptation to strength training, in *Strength and power in sport*, K. P.V., Editor, Blackwell Science, 249-65.
- Sanchís, J., Dorado, C. y López Calbet, J.A. (2008). Contracción muscular excéntrica y rendimiento. *Revista de Entrenamiento Deportivo*, 12 (1), 21-34.
- Verkhoshansky, Y. (1999). *Todo sobre el método pliométrico. Medios y métodos para el entrenamiento y la mejora de la fuerza explosiva*. Barcelona: Paidotribo.

Lecturas: Educación Física y Deportes, Revista Digital. Buenos Aires, Año 20, N° 206, Julio de 2015.
<http://www.efdeportes.com/efd206/fisiologia-en-el-entrenamiento-muscular.htm>