

## DOCUMENTACIÓN

### JORNADAS INTERNACIONALES “ENTRENAMIENTO DE LA FUERZA”

2011 421 01

Del 21 al 23 de julio

Málaga

### APLICACIONES DEL CONTROL DE LA VELOCIDAD EN LA PROGRAMACIÓN DEL ENTRENAMIENTO DE FUERZA

### EFECTO FISIOLÓGICO Y MECÁNICO DEL CARÁCTER DEL ESFUERZO EN EL ENTRENAMIENTO DE LA FUERZA

**Juan José González Badillo**

Catedrático de Teoría y Práctica del Entrenamiento Deportivo  
Universidad Pablo de Olavide, Sevilla

#### RESUMEN

Al hablar de la programación, lo primero que debemos definir es el propio término *programación*. Por ello, nos preguntamos: ¿Qué es una programación? Una programación es la *expresión* de una sucesión o serie ordenada de *esfuerzos que guardan una relación de dependencia entre sí*.

Dado que hemos utilizado el término *esfuerzo*, debemos pasar a continuación a definirlo. Un *esfuerzo* es el *grado real de exigencia* en relación con las posibilidades actuales del sujeto. A esto le llamamos *carácter del esfuerzo (CE)* (González Badillo y Gorostiaga, 1993 y 1995). Por tanto, si hablamos de entrenamiento de fuerza, el *carácter del esfuerzo* será la relación entre lo *realizado* (número de repeticiones por serie que hace el sujeto ante una carga absoluta dada) y lo *realizable* (el número de repeticiones que podría hacer en la serie ante la misma carga absoluta).

Las variables fundamentales que configuran la carga de entrenamiento son el *volumen*, la *intensidad* y el *ejercicio* realizado. Una vez seleccionados los ejercicios a realizar, la tarea de determinar la carga de entrenamiento queda reducida a la manipulación del volumen y de la intensidad. De estos dos, el más determinante es la

intensidad, ya que condiciona el volumen que se puede realizar. Por ello, nosotros nos centraremos en el estudio de la intensidad.

Para expresar la intensidad de entrenamiento y la dosis de carga, tradicionalmente se han tomado como referencia la repetición máxima (1RM), expresando la intensidad como un porcentaje de dicha RM, y también el número máximo de repeticiones que se puede realizar con una carga determinada, lo que se llama “X repeticiones máximas” (XRM). Por diversas razones, ninguno de estos dos procedimientos es adecuado para el objetivo que se pretende con ellos.

Es cierto que expresar la intensidad como porcentaje de la repetición máxima tiene la ventaja de que puede servir para programar el entrenamiento para muchos deportistas al mismo tiempo, ya que se puede prescribir y expresar de manera fácil un mismo esfuerzo o esfuerzos diferentes para cualquier número de sujetos en términos relativos a la RM de cada uno (% 1RM), y después transformar los porcentajes en valores absolutos. Otra ventaja es que esta expresión de la intensidad permite reflejar muy claramente la dinámica de la evolución de la carga si el porcentaje de 1RM es considerado realmente como un esfuerzo y no como un simple cálculo aritmético. Ello permitiría obtener una información muy valiosa acerca de cuál es la forma de trabajo y la exigencia de entrenamiento que se está proponiendo. No obstante, expresar la intensidad de esta forma presenta también algunos inconvenientes importantes, sobre todo cuando se requiere controlar con precisión el grado de esfuerzo real que se realiza en cada sesión de entrenamiento. El principal problema deriva de la necesidad de cuantificar el valor de 1RM para cada atleta. La medición directa de la RM podría suponer un esfuerzo excesivo para sujetos jóvenes o inexpertos, e incluso para deportistas de alto nivel cuyas especialidades no presenten altas exigencias de fuerza muscular. Otro problema está en el hecho de que el valor real de la RM puede cambiar bastante rápidamente después de tan solo unas pocas sesiones de entrenamiento cuando se trata de sujetos poco entrenados, mientras que los sujetos muy entrenados suelen estar por debajo de su RM de referencia durante amplios periodos de tiempo. Por ello, tanto en un caso como en otro, las cargas absolutas empleadas no serán las que se han programado, porque no representarán a la carga real (intensidad o grado de esfuerzo) que se ha programado. Por último, aunque no menos importante, el problema está en el hecho de que la medición de la RM en la mayoría de los casos es poco precisa en todos los sujetos, y muy especialmente en los sujetos inexpertos, ya que en muchos casos la velocidad a la que se realiza la RM que va a servir de referencia para el entrenamiento no se corresponde con la velocidad propia de la RM del ejercicio que se mide (González Badillo, 2000; González Badillo y Ribas, 2002). Esto significaría que, ya desde el primer entrenamiento, las cargas absolutas no se corresponderían con las programadas (cargas reales programadas).

La segunda forma de prescribir la intensidad del entrenamiento de fuerza consiste en entrenar con el número de repeticiones máximas realizables con una carga absoluta determinada. Por ejemplo, entrenar con una carga de 10RM significa que hay que hacer 10 repeticiones por serie con un peso que puede desplazarse 10 veces como máximo. Aunque expresar la intensidad mediante el número de repeticiones máximas puede sustituir al test de 1RM para estimar la fuerza dinámica máxima de un deportista, este procedimiento tampoco está exento de problemas. De hecho, la realización de un test de máximo número de repeticiones con una determinada carga puede ser tan fatigante o más que una prueba de 1RM, ya que la última repetición se realizará, necesariamente, a la velocidad propia de la repetición máxima. Este tipo de entrenamiento es conocido como “entrenamiento hasta el fallo”. Pero el entrenamiento hasta el fallo muscular puede incluso llegar a ser contraproducente por inducir excesiva fatiga, no siendo recomendable entrenar de esta forma habitualmente. Varios trabajos cuestionan la utilidad o la eficacia de realizar el máximo número de repeticiones posible en cada serie (Drinwater et al., 2007; Folland et al., 2002; Izquierdo et al., 2006; Sanborn et al., 2000). La razón esgrimida en dichos estudios se deriva del hecho de que, además del daño muscular originado, la fatiga asociada a la realización de repeticiones hasta el fallo no sólo reduce considerablemente la fuerza que un músculo puede generar, sino también la capacidad del sistema nervioso de activar voluntariamente la musculatura (Häkkinen, 1993). Esto tendría efectos perjudiciales para la producción de fuerza en la unidad de tiempo (*‘rate of force development’*, RFD), la velocidad de ejecución y la potencia propias de la gran mayoría de los movimientos deportivos (Häkkinen y Kauhanen, 1989). Además, el entrenamiento regular hasta el fallo muscular puede conducir a transformaciones no deseadas hacia isoformas más lentas en la expresión de la miosina de las fibras musculares (Fry, 2004). Se da también la circunstancia de que tras completar una primera serie hasta el fallo muscular, el número de repeticiones que se puede realizar en series subsiguientes del mismo ejercicio se ve normalmente reducido, incluso con pausas amplias de recuperación, por lo que este sistema, además de ser muy fatigante y de no haber mostrado ventaja sobre otros grados de esfuerzo

menores, no es realista, porque es prácticamente imposible conocer cuántas repeticiones exactas se pueden hacer con una carga absoluta determinada sin ninguna referencia inicial, y además, si en la primera serie se ha hecho realmente el número máximo de repeticiones, será difícil, si no imposible, realizar el mismo número de repeticiones en las siguientes series.

Las limitaciones mencionadas con anterioridad sugieren la necesidad de encontrar mejores formas de llevar a cabo un control objetivo de la carga de entrenamiento durante el ejercicio de fuerza muscular. Esto se consigue con un *carácter del esfuerzo* bien medido, más preciso. Esto se consigue si conocemos: 1) el grado de esfuerzo que representa la primera repetición de una serie, y 2) el grado de esfuerzo que representa la pérdida de velocidad dentro de la serie. Por ello, tanto la *velocidad de ejecución* (primera conferencia) como el *carácter del esfuerzo* (segunda conferencia) podrían ser dos maneras de lograr este objetivo.

La velocidad de ejecución es una variable de gran importancia a tener en cuenta en el entrenamiento de fuerza, especialmente cuando éste va dirigido a la mejora del rendimiento en cualquier especialidad deportiva. La velocidad de ejecución es un elemento determinante de la intensidad, debido a que tanto las exigencias neuromusculares como los efectos del entrenamiento dependen en gran medida de la propia velocidad a la que se desplazan las cargas. Cuanto mayor sea la velocidad conseguida ante una misma resistencia, mayor será la intensidad, y esto influirá en el efecto de entrenamiento (González Badillo y Ribas, 2002).

La velocidad de ejecución alcanzada en cada repetición podría ser la mejor referencia para estimar y expresar el esfuerzo real realizado por el deportista durante el entrenamiento de fuerza. Aunque ya en el año 1991 (González Badillo, J.J, 1991, p. 172) hicimos mención a las importantes aportaciones que podría proporcionar el conocimiento de la velocidad de ejecución de un ejercicio, recientemente hemos abordado el estudio de esta hipótesis y hemos podido confirmar las importantes aportaciones de la velocidad de ejecución como factor determinante del grado de esfuerzo en el entrenamiento de fuerza y como indicador del grado de fatiga (González-Badillo, J.J. y Sánchez-Medina, J.J. 2010; Sánchez-Medina, J.J. y González-Badillo, J.J. 2011).

Por otra parte, la utilización de la velocidad de ejecución como referencia viene a completar y perfeccionar el concepto de *carácter del esfuerzo* (CE), publicado por nosotros en 1992 en el texto *Metodología del entrenamiento de la fuerza* (Máster COE), por lo que supone un avance en la determinación del grado de esfuerzo realizado en el entrenamiento. El CE toma en consideración no sólo el número de repeticiones por serie que se realizan, sino también el número máximo de repeticiones que podría realizarse dentro de la serie, y viene expresado por la relación entre el número de repeticiones realizadas y las posibles o realizables. Por tanto, el carácter del esfuerzo es o expresa la propia intensidad y grado de carga, y viene determinado por dos indicadores: a) por la diferencia entre las repeticiones realizadas y las realizables, y b) por el número de repeticiones que se pueden realizar dentro de la serie.

En un estudio publicado por nosotros en 2010 (González-Badillo, JJ., y Sánchez-Medina, L. Movement Velocity as a Measure of Loading Intensity in Resistance Training. *Int. J. Sports Med.* 31: 347-352) se hallaron una serie de conclusiones, de las cuales extraemos las siguientes:

- Cada porcentaje de la RM tiene su propia velocidad media. Esto significa que la velocidad de la primera repetición determina el grado de esfuerzo que representa la carga.
- La velocidad con cada porcentaje de 1RM no cambia cuando el sujeto modifica el valor de su RM después de un periodo de entrenamiento.
- Lo que determina los ligeros cambios de velocidad con cada porcentaje de 1RM entre un test y otro, en el caso de que se produzcan, es la velocidad con la que se realiza o mide la RM.
- Hemos propuesto que en el ejercicio de press de banca una velocidad de  $0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  debería ser la velocidad máxima admitida para considerar que 1RM es “verdadera”. Cuanto más se supere esta velocidad al medir la RM, más nos alejaremos de la “verdadera” RM del sujeto. En cualquier caso, el control de la velocidad de la medición de la RM siempre será útil, ya que será la referencia que permitirá comparar los resultados de los distintos tests a través del tiempo, tanto si la velocidad está por encima como por debajo de  $0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Es decir, no solo hay que considerar si el sujeto levanta más o menos peso, sino a qué velocidad lo levanta. Por tanto, la velocidad de ejecución, expresada como velocidad media propulsiva, entendemos que es la variable más estable en la evaluación de la fuerza muscular en acciones dinámicas.

Recientemente hemos analizado la respuesta mecánica y fisiológica aguda a 15 tipos de estímulos que representaban un CE diferente en cada caso. En este estudio, el cual ya se ha publicado parcialmente en un artículo en 2011 (Sánchez-Medina, L. y González-Badillo, J.J. Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Med Sci Sports Exerc* (Publish Ahead of Print DOI: 10.1249/MSS.0b013e318213f880) se hallaron una serie de conclusiones, de las cuales extraemos las siguientes:

- Las pérdidas de velocidad media propulsiva (VMP) dentro de la serie, la VMP con la carga de 1 m/s y la altura del salto vertical (CMJ) reflejan de manera semejante y precisa la fatiga neuromuscular producida por diferentes estímulos o grados de esfuerzo en el rango de intensidades más comúnmente utilizado en el entrenamiento de fuerza (70-90% 1RM).
- Ante un mismo porcentaje de pérdida de velocidad, el grado de fatiga producido es equivalente, independientemente de cuál sea el número de repeticiones que el sujeto pueda realizar en una serie.
- Ante un mismo porcentaje de pérdida de VMP dentro de una serie, el grado de fatiga producido es equivalente, independientemente de cuál sea el número de repeticiones que el sujeto pueda realizar en la serie, al menos en un rango que oscile entre 4 y 12 repeticiones realizables en los ejercicios de sentadilla (SEN) y press de banca (PB).
- El lactato presenta una relación lineal con el grado de esfuerzo (CE) realizado, y una elevada correlación con todos los tipos de pérdidas mecánicas analizadas, tanto en SEN como en PB. Por tanto, la concentración sanguínea de lactato inmediatamente después del ejercicio puede considerarse un buen indicador del grado de esfuerzo realizado por el sujeto en el entrenamiento de fuerza con pesas.
- El amonio presenta una relación curvilínea con el grado de esfuerzo (CE) realizado, comenzando a aumentar por encima de los niveles basales a partir del momento en que el número de repeticiones realizadas es superior al 50% de las realizables con cualquier carga.
- Las concentraciones sanguíneas de lactato y amonio presentan una relación curvilínea entre sí, de tal forma que hasta que el lactato no supera los ~8 mmol/L en SEN y los ~6 mmol/L en PB, el nivel de amonio permanece muy próximo a los valores de reposo, aumentando a partir de los valores de lactato indicados.
- El amonio comienza a aumentar por encima de los niveles basales cuando se producen pérdidas de magnitud superior a: ~30% (SEN) y ~35% (PB) para la pérdida de VMP dentro de la serie ~15% (SEN) y ~20% (PB) para la pérdida de VMP con la carga de 1 m/s ~12% para la pérdida de altura en CMJ.

**PALABRAS CLAVE:** velocidad, carácter del esfuerzo, control de la carga, fatiga.

### **BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA**

- Drinkwater, E.J.; Lawton, T.W.; McKenna, M.J.; Lindsell, R.P.; Hunt, P.H. y Pyne, D.B. (2007). Increased number of forced repetitions does not enhance strength development with resistance training. *J Strength Cond Res* 21(3): 841-7.
- Folland, J.P. y Williams, A.G. (2007). The adaptations to strength training: morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Med* 37(2): 145-68.
- Fry, A.C. (2004). The role of resistance exercise intensity on muscle fibre adaptations. *Sports Med* 34 (10):663-679.
- González Badillo, J.J. (1991). *Halterofilia*. Madrid. Comité Olímpico Español.
- González Badillo, J.J. y Gorostiaga, E. (1995). *Fundamentos del entrenamiento de la fuerza: Aplicación al alto rendimiento deportivo*. Barcelona: INDE.
- González-Badillo, J.J. y Ribas Serna, J. (2002). *Bases de la programación del entrenamiento de fuerza*. Barcelona. INDE.
- González-Badillo, J.J. y Sánchez-Medina, L. (2010). Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *Int J Sports Med* 31(5): 347-52.
- González-Badillo, J.J. (2000) Bases teóricas y experimentales para la aplicación del entrenamiento de fuerza al entrenamiento deportivo. *Infocoes*. 5(2): 3-14.
- Hakkinen, K. (1993). Neuromuscular fatigue and recovery in male and female athletes during heavy resistance exercise. *Int. J. Sports Med*. 14(2): 53-59.
- Hakkinen, K. y Kauhanen, H. (1989). Daily changes in neural activation, force-time and relaxation-time

characteristics in athletes during very intense training for one week. *Electromyogr. Clin. Neurophysiol.* 29: 243-249.

Izquierdo, M.; Ibañez J.; González-Badillo, J.J. et al. (2006). Differential effects of strength training leading to failure versus not to failure on hormonal responses, strength, and muscle power gains. *J Appl Physiol* 100(5): 1647-56.

Sanborn, K.; Boros, R.; Hruby, J. et al. (2000). Short-term performance effects of weight training with multiple sets not to failure vs. a single set to failure in women. *J Strength Cond Res* 14(3): 328-31.

Sánchez-Medina, L. y González-Badillo, J.J. (2011). Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Med Sci Sports Exerc* [En prensa. DOI: 10.1249/MSS.0b013e318213f880]

## CONCEPTOS Y APLICACIONES PRÁCTICAS EN EL ENTRENAMIENTO DE LA FUERZA

**Juan José González Badillo**

Catedrático de Teoría y Práctica del Entrenamiento Deportivo  
Universidad Pablo de Olavide, Sevilla

### RESUMEN

El contenido de esta conferencia tiene dos partes. En la primera de ellas se tratan una serie de conceptos cuya utilización habitual en el argot del entrenamiento deportivo no responde al significado real de los mismos y tampoco explica nada relevante para un mejor conocimiento de la organización del propio entrenamiento. La mala utilización de estos conceptos no tendría importancia si no fuera porque en la mayoría de los casos crea confusión entre los profesionales del entrenamiento y porque puede llevarnos a tomar decisiones erróneas sobre la forma de desarrollar el entrenamiento.

Una terminología que cree confusión dentro de una disciplina del conocimiento es un signo del bajo desarrollo científico de la misma; por ello, es conveniente y necesario aclarar algunos de estos términos. En segundo lugar, exponemos los resultados de algunos estudios recientes de los cuales se derivan importantes aplicaciones prácticas.

Últimamente se está utilizando con mucha frecuencia el concepto “entrenamiento de potencia”. Realmente, siempre que hay mejora del rendimiento hay mejora de la potencia, porque la mejora del rendimiento significa que el propio cuerpo, algún objeto o ambas cosas se desplazan a mayor velocidad, y esto necesariamente significa un aumento de la potencia. Es decir, no existe un “entrenamiento de potencia”, sino entrenamientos que permiten aplicar más fuerza ante la misma carga (entrenamientos que permiten mejorar la fuerza máxima ante una misma carga), lo cual siempre va a significar desplazar la misma carga a mayor velocidad y, por tanto, generar mayor potencia. Entrenar con la carga con la que se alcanza la máxima potencia puede mejorar la potencia en el propio ejercicio que se entrena, pero esto, por una parte, no asegura que también se mejore la potencia en el ejercicio de competición, y, por otra, la mejora en el propio ejercicio que se entrena será por poco tiempo, si la carga que se utiliza para entrenar no permite mejorar también la fuerza máxima (en este caso la RM).

En el párrafo anterior hemos desarrollado brevemente, como ejemplo, uno de los conceptos que vamos a comentar más ampliamente en la conferencia. A continuación mencionamos el resto de los conceptos que trataremos, indicando la orientación que le vamos a dar en la conferencia. Por ejemplo, en un ciclo de entrenamiento no existe ni una fase de “transferencia”, ni de “transformación” ni de “fuerza explosiva”. Veremos las razones y las aplicaciones prácticas. Tampoco existe un “entrenamiento de fuerza máxima”. La utilización errónea de este concepto se deriva, a su vez, del error de considerar como “fuerza máxima” solo el resultado de desplazar la máxima carga absoluta posible una vez (1RM) o aplicar la máxima fuerza posible ante una carga

insuperable (fuerza isométrica máxima, FIM), cuando realmente, un sujeto tiene “infinitos” valores de fuerza máxima, y de éstos, no son precisamente los más importantes la RM o la FIM. Tampoco tiene sentido decir que se va a hacer un “entrenamiento de velocidad, no de fuerza máxima”. Esto sencillamente es imposible. No se puede mejorar la velocidad si no se aplica más fuerza ante la misma carga, y esto significa que se ha mejorado la “fuerza máxima”, al menos ante la carga que se ha de desplazar, y, generalmente, también la RM. Transitoriamente, y por muy poco tiempo, es posible que sin modificar la RM pueda haber alguna mejora de la “fuerza máxima” ante cargas pequeñas, pero esta situación tampoco se podrá mantener mucho tiempo. Si no mejora la RM, dejará de mejorar la “fuerza máxima” con cargas menores que la RM.

En la segunda parte se comentarán algunos estudios en los que se ha analizado la relación entre algunos metabolitos y la velocidad de ejecución en carrera, el efecto del entrenamiento en función de la pérdida de velocidad en la serie o el efecto de la utilización de cargas ligeras para la mejora de la condición física en jugadores de fútbol, el efecto de distintas cargas sobre la curva fuerza-velocidad o el efecto del entrenamiento hasta el fallo en comparación con esfuerzos en los que se hace la mitad de las repeticiones posibles en la serie o menos.

**PALABRAS CLAVE:** conceptos erróneos sobre entrenamiento de fuerza, fases de un ciclo de entrenamiento, fuerza máxima, efectos de la carga de entrenamiento.

## ESTRATEGIAS PARA OPTIMIZAR EL DESARROLLO SIMULTÁNEO DE FUERZA Y RESISTENCIA CARDIOVASCULAR EN DEPORTISTAS DE ALTO NIVEL

**Mikel Izquierdo**

Catedrático Universidad Pública de Navarra  
*mikel.izquierdo@gmail.com*

### RESUMEN

En el desarrollo simultáneo de las capacidades de fuerza muscular y resistencia cardiovascular, numerosos estudios de la literatura científica han detectado interferencias en las adaptaciones de la fuerza y potencia muscular. Entre los mecanismos de interferencia del llamado *entrenamiento concurrente* destacan la acumulación de fatiga y la reducción de la cantidad y calidad de entrenamiento de fuerza que se puede realizar en tales circunstancias. Por el contrario, diversas investigaciones también han mostrado que el entrenamiento simultáneo o concurrente de fuerza y resistencia produce adaptaciones positivas en sujetos sedentarios o con poca experiencia en el entrenamiento. En disciplinas cíclicas y de equipo (p.ej. piragüismo, remo o rugby) también se ha demostrado que el entrenamiento concurrente puede ser beneficioso en la mejora del rendimiento específico.

En este capítulo, además de realizar una detallada revisión de los estudios existentes en este campo, se realizará una descripción de aquellas estrategias o mecanismos que permitan minimizar los efectos de interferencia en el entrenamiento concurrente en deportistas de alto nivel. Entre otras estrategias se analizarán los efectos de la periodización de las cargas, la combinación de intensidades de entrenamiento de fuerza y resistencia, los niveles de acumulación de carga y especialización sobre los objetivos de cada fase, así como la combinación y el orden de las sesiones de entrenamiento concurrente.

**PALABRAS CLAVE:** entrenamiento concurrente, fuerza máxima, potencia, potencia aeróbica

## GUIÓN DE LA INTERVENCIÓN

1. Fenómeno de interferencia
2. Periodización del entrenamiento y distribución de las cargas
3. Control del volumen y la frecuencia de entrenamiento
4. Combinación y orden de las sesiones de entrenamiento concurrente
5. Óptima combinación de intensidades en el entrenamiento de fuerza y resistencia
6. Evitar el entrenamiento hasta el fallo
7. Entrenamiento concurrente sobre los mismos grupos musculares

## BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

- GARCÍA-PALLARES, J.; IZQUIERDO, M. (2011). New strategies to optimize concurrent training in rowing and canoeing. *Sports Medicine*. Abril 1; 41(4):329-43.
- GARCÍA-PALLARES J.; GARCÍA-FERNÁNDEZ, M.; SÁNCHEZ-MEDINA, L.; IZQUIERDO, M. (2010). Performance changes in world-class kayakers following two different training periodization models. *European Journal of Applied Physiology*. 110 (1):99-107
- GARCÍA-PALLARES, J.; SÁNCHEZ-MEDINA, L.; ESTEBAN-PÉREZ, C.; IZQUIERDO-GABARREN, M.; IZQUIERDO, M. (2010). Physiological effects of tapering and detraining in world-class kayakers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 42 (6):1209-14.
- GARCÍA-PALLARES, J.; SÁNCHEZ-MEDINA, L.; CARRASCO, L.; DÍAZ, D.; IZQUIERDO, M. (2009). Endurance and neuromuscular performance in world-class level kayakers during a periodized training cycle. *European J Applied Physiology*. 106 (4):629-38.
- GONZÁLEZ-BADILLO, J.J.; IZQUIERDO, M.; GOROSTIAGA, E.M. (2006). Moderate volume of high relative training intensity produces greater strength gains compared with low and high volumes in competitive weightlifters. *J. Strength and Conditioning Research* 20 (1):73-81.
- GONZÁLEZ-BADILLO, J.J.; GOROSTIAGA, E.M.; ARELLANO, R.; IZQUIERDO, M. (2005) Moderate resistance training volume produces more favorable strength gains than high or low volumes. *J. Strength and Conditioning Research*. 19 (3): 689-697.
- GOROSTIAGA, E.M.; GRANADOS, C.; IBAÑEZ, J.; GONZÁLEZ-BADILLO, J.J.; IZQUIERDO, M. (2006) Effects of an entire season on physical fitness changes in elite male handball players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 38 (2): 357-366.
- IZQUIERDO, M. Biomecánica y sistema neuromuscular en la actividad física y el deporte. Editorial Panamericana. ISBN: 978-84-9835-023-4.
- IZQUIERDO-GABARREN, M.; GONZÁLEZ DE TXABARRI-ESPÓSITO, R.; GARCÍA-PALLARES, J.; SÁNCHEZ-MEDINA, L.; SAEZ SAEZ DE VILLAREAL, E.; IZQUIERDO, M. (2010). Concurrent endurance and strength training not to failure optimizes performance gains. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 42 (6):1191-9.
- IZQUIERDO-GABARREN, M.; SAEZ SAEZ DE VILLAREAL, E., GONZÁLEZ DE TXABARRI-ESPÓSITO, R.; IZQUIERDO, M. (2010). Physiological factors to predict on rowing performance. *European Journal of Applied Physiology*. 108 (1):83-92.
- IZQUIERDO, M.; IBAÑEZ, J.; GONZÁLEZ-BADILLO, J.J.; HÄKKINEN, K.; RATAMESS, N.A.; KRAEMER, W.J.; FRENCH, D.N.; ESLAVA, J.; ALTADILL, A.; ASIAIN, X.; GOROSTIAGA, E.M. (2006). Differential effects of strength training leading to failure versus not to failure on hormonal responses, strength and muscle power gains. *Journal of Applied Physiology*. May; 100(5):1647-56.
- IZQUIERDO, M.; GONZÁLEZ-BADILLO, J.J.; HÄKKINEN, K., IBAÑEZ, J.; KRAEMER, W.J.; ALTADILL, A.; ESLAVA, J.; GOROSTIAGA, E.M. (2006). Effect of loading on unintentional lifting velocity declines during single sets of repetitions to failure during upper and lower extremity muscle actions. *Int J Sports Med*; 27: 718-724.
- KARAVIRTA L, HÄKKINEN A, SILLANPÄÄE, GARCÍA-LÓPEZ D, KAUKANEN A, HAAPASAARI A. ALEN M, PAKARINEN A, KRAEMER WJ, IZQUIERDO M, GOROSTIAGA, E.M. & K. HÄKKINEN. (2010) Effects of combined endurance and strength training on muscle strength, power and hypertrophy in 40-67 year old men. *Scand J Medicine Science Sports*. Dec 18. [Epub previo a la edición impresa].

## RELACIÓN FUERZA-EXCITABILIDAD EN LA CÉLULA MUSCULAR ESQUELÉTICA

**Juan Ribas Serna**

Catedrático de Fisiología  
Universidad de Sevilla

### RESUMEN

Toda generación de fuerza desarrollada por una fibra muscular esquelética requiere un incremento transitorio de la concentración de calcio iónico intracelular. De las características de estos incrementos de calcio dependen los patrones temporales de fuerza, en primer lugar, la activación de vías secundarias de mensajeros intracelulares, en segundo lugar, y la regulación de la expresión de proteínas por la maquinaria genética de los mionúcleos.

La magnitud y el curso temporal de los incrementos de calcio iónico intracelular dependen de varios factores. En primer lugar, de las características de los almacenes de calcio en las organelas intracelulares, especialmente en el retículo sarcoplásmico. En segundo lugar, de la cinética y curso temporal de la apertura y cierre de los canales RyR, selectivos para el calcio en la membrana del retículo sarcoplásmico. En tercer lugar, de los procesos de activación que gobiernan la apertura y cierre de estos canales, que están unidos físicamente, mediante los pies terminales, a los canales DHP del sarcolema tubular. Los cambios en la configuración espacial de las proteínas canales DHP en la membrana de los túbulos en T dependen, a su vez, de las características de la excitación electrofisiológica que se propaga por estas estructuras. En cuarto lugar, los incrementos transitorios de la concentración de calcio intracelular dependen de la concentración de proteínas fijadoras de calcio en el mioplasma y de la concentración y ritmo de trabajo de las proteínas que bombean calcio desde el mioplasma al retículo sarcoplásmico y del mioplasma al espacio extracelular. De las proteínas fijadoras de calcio en el mioplasma habría que destacar algunas de ellas, como la troponina C, que aunque no sea de las que tiene más afinidad, sí es una de las más abundantes y además directamente implicada en la activación de los motores moleculares de actinomioquina donde se originan los procesos que se van manifestar como fuerza ejercida por los músculos. Así mismo, la calmodulina y la calcineurina merecen una atención especial como proteínas fijadoras de calcio por su papel en el manejo de los factores de transcripción necesarios para la modificación de la expresión genética del tipo de fibras musculares más adecuada al tipo de trabajo al que se enfrentan los músculos.

En un orden temporal inverso, todos estos procesos que terminan generando fuerza en el músculo, necesitan una excitación eléctrica de la propia membrana plasmática muscular, evento que tiene origen en la despolarización del potencial de membrana en la placa motora. Esta región especial del sarcolema, que en realidad es la membrana postsináptica de la unión neuromuscular, es otro punto crítico de la excitación muscular y puede ser modulada por varios factores, como el número y afinidad de los receptores colinérgicos ubicados en esta membrana, de la disponibilidad de una enzima reguladora de la cooperatividad de estos receptores, la acetilcolinesterasa; así mismo, la respuesta electrofisiológica de esta membrana depende de la liberación de neurotransmisores del terminal axónico de la motoneurona que gobierna la activación de las fibras musculares.

En resumen, la generación de fuerza por los músculos esqueléticos depende de muchos factores, pero entre los más importantes están los procesos de excitación electrofisiológica y su acoplamiento mecánico, principalmente mediante los cambios en la concentración de calcio intracelular, a los motores moleculares.



## LA FUERZA EN LAS ESTRUCTURAS PASIVAS MUSCULARES

**Juan Ribas Serna**  
Catedrático de Fisiología  
Universidad de Sevilla

### RESUMEN

Para que el músculo esquelético pueda manifestar fuerza necesita ser capaz de soportar tensión en su estructura interna. Esta tensión dimana de las características físicas de parte de sus elementos estructurales, algunas de las cuales se comportan como muelles de distintos niveles de elasticidad. En los modelos actuales de estructuras musculares, los elementos elásticos están acoplados en serie y en paralelo con los motores moleculares o elementos contráctiles. Los elementos elásticos en paralelo parecen ser capaces de soportar grandes tensiones pasivas en función de la carga aplicada al músculo. Así mismo, la disposición espacial y el ángulo que forman con el vector de carga de estos elementos parecen influir en la magnitud de la carga soportada. La orientación de las fibras respecto a las fascias musculares y respecto al eje más largo del músculo son factores que afectan a la capacidad de soportar tensión por parte del músculo. Estos elementos, aunque se comportan de modo pasivo, es decir, no requieren el aporte de energía para ejercer su tensión, sino que ésta procede de las interacciones entre sus moléculas, en modo alguno son elementos estáticos funcionalmente. En realidad, sus constantes de rigidez, y por lo tanto, sus comportamientos elásticos, pueden variar dependiendo de las condiciones celulares; por ejemplo, los cambios en la concentración mioplásmica de calcio iónico cambian la configuración molecular de los residuos PEVK de la proteína titina, y esto hace que cambie su respuesta elástica.

Por otro lado, las tensiones que sufren las estructuras de la matriz extracelular de las células musculares alteran la expresión de proteínas estructurales y sirven para una mejor adaptación a los estímulos mecánicos.

En definitiva, las estructuras pasivas musculares soportan una buena parte de la tensión ejercida por los músculos, son sensibles a moduladores de la fuerza de contracción muscular (cambios en la concentración de calcio mioplásmico libre) y pueden servir de transductores celulares de las fuerzas mecánicas que actúan sobre las células musculares

## ADAPTACIONES NEURONALES AL ENTRENAMIENTO DE FUERZA

### Contribución al desarrollo de la fuerza y la potencia

**Jacques Duchateau**  
Profesor y Director del Laboratorio de Biología Aplicada  
Facultad de Ciencias Motrices, Universidad Libre de Bruselas, Bélgica

### RESUMEN

La fuerza producida por un músculo durante una contracción estática (isométrica) depende de su masa y longitud. Durante el movimiento, la fuerza muscular también varía con el tipo de acción. Por ejemplo, la fuerza máxima producida durante una contracción (excéntrica) de alargamiento suele ser mayor que durante una contracción isométrica y mayor en este último caso en comparación con una contracción (concéntrica) de acortamiento. Además, la fuerza producida por un músculo durante acciones de acortamiento decrece con el

aumento de velocidad. Estas diferencias en fuerza e índice de desarrollo de la fuerza se deben principalmente a las características del músculo y del tendón, y pueden ser modificadas por programas específicos de entrenamiento de fuerza y potencia (Fleck & Kraemer, 2004).

Cuando la contracción se lleva a cabo por activación voluntaria, como ocurre en condiciones de entrenamiento "natural", la orden motora (neuronal) también puede modular la fuerza producida por los músculos implicados. En esos casos, el patrón de activación es específico del tipo y velocidad de la contracción. La orden motora relacionada con el movimiento está asociada con un patrón de activación específico de las unidades motoras (unidad básica del sistema neuromuscular que comprende una neurona motora en la médula espinal, su axon, y las fibras musculares inervadas por el axon). La fuerza producida por un músculo implica dos mecanismos neuronales diferentes: la activación de unidades motoras adicionales (reclutamiento) y el aumento en su tasa de descarga (*rate coding*, tasa de codificación). En la mayoría de los músculos, las unidades motoras son reclutadas hasta a un ~80-90% de la fuerza máxima durante las contracciones lentas o estáticas, mientras que el reclutamiento ya ha terminado cuando el músculo produce ~1/3 de su fuerza máxima durante las contracciones rápidas (Duchateau et al., 2006). En estas últimas situaciones, la necesidad de desarrollar fuerza lo más rápido posible implica un reclutamiento más temprano de las unidades motoras a una tasa de descarga mucho más elevada. Además de los cambios en el impulso neural hacia los pools de neuronas motoras de los movedores primarios (coordinación neuromuscular), la orden motora puede modular tanto la actividad de diferentes pools de neuronas motoras (coordinación intermuscular) para ajustar el nivel de activación de los diferentes músculos sinergistas como la cantidad de coactivación de los antagonistas (Carroll et al. (2011).

Esta modulación relacionada con la tarea en la activación de la unidad motora conduce a adaptaciones neuromusculares específicas. Esto significa que los efectos del entrenamiento son observables especialmente en el ejercicio practicado. Por consiguiente, los ejercicios del entrenamiento deben imitar los más estrechamente posible los parámetros de la tarea para inducir adaptaciones que pudieran ser transferidas más eficientemente a la disciplina deportiva. Los principales parámetros que deben tenerse en cuenta son: (a) el patrón de movimiento y la postura, (b) el tipo de contracción, (c) la magnitud de la carga, y (d) la velocidad de la contracción o el movimiento (Duchateau & Baudry, 2011).

En conclusión, la generación de fuerza muscular y la capacidad de un atleta para producir el movimiento adecuado dependen de parámetros mecánicos y neuronales que pueden ser cambiados con programas específicos de entrenamiento de fuerza y potencia. Puesto que las adaptaciones neuronales son específicas de las condiciones en las que se obtienen, la eficacia de un programa de entrenamiento mejora cuando se tienen en cuenta estos parámetros. Durante la conferencia se presentarán ejemplos prácticos de este tipo de adaptaciones específicas.

**PALABRAS CLAVE:** entrenamiento de fuerza, entrenamiento de potencia, adaptación neuronal, especificidad del entrenamiento.

## GUIÓN DE LA INTERVENCIÓN

1. Características de la unidad motriz y activación muscular
  - 1.1. Definiciones
  - 1.2. Graduación de la fuerza
    - 1.2.1. Reclutamiento de la unidad motriz
    - 1.2.2. Tasa de codificación
  - 1.3. Activación de la unidad motriz específica durante las contracciones lentas y rápidas
2. Máxima capacidad de activación muscular
  - 2.1. Efecto sobre la fuerza
  - 2.2. Efecto sobre la velocidad
3. Adaptaciones neuronales con el entrenamiento
  - 3.1. Cambios en la activación de los músculos agonistas
  - 3.2. Cambios en la coactivación antagonista

4. Consecuencias funcionales de las adaptaciones neuronales
  - 4.1. Especificidad de los efectos del entrenamiento
    - 4.1.1. Patrón del movimiento y posición
    - 4.1.2. Tipo de contracción
    - 4.1.3. Carga y velocidad

#### **BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA**

- CARROLL, T.J.; SELVANAYAGAM, V.S.; RIEK, S. y SEMMLER, J.G. [Neural adaptations to strength training: moving beyond transcranial magnetic stimulation and reflex studies](#). *Acta Physiol*, 2011, 202, 119-140.
- DUCHATEAU, J. y BAUDRY, S. Training adaptation of the neuromuscular system. In: P.V. KOMI (ed.). *Neuromuscular aspects of sport performance*. Blackwell Publishing Ltd, 2011, p 216-253.
- DUCHATEAU, J.; SEMMLER J. y ENOKA, R.M. Training adaptations in the behaviour of human motor units. *J Appl Physiol*, 2006, 101, 1766-1775.
- FLECK, S.J. y KRAEMER, W.J. *Designing resistance training programs*. Human Kinetics, Champaign, IL, 2004.

## **ENTRENAMIENTO DE LA FUERZA CON ELECTROESTIMULACIÓN**

**Nicola A. Maffiuletti**

Jefe del Laboratorio de Investigación Neuromuscular  
Clínica Schulthess, Zúrich (Suiza)  
[nicola.maffiuletti@kws.ch](mailto:nicola.maffiuletti@kws.ch)

#### **RESUMEN**

La electroestimulación neuromuscular (EENM) implica la aplicación de una serie de estímulos eléctricos a los músculos esqueléticos superficiales, con el objetivo principal de provocar contracciones musculares visibles. Generalmente los estímulos eléctricos se activan utilizando electrodos activos situados en la proximidad de los puntos motores del músculo, y en unidades de estimulación preprogramadas. La EENM es una herramienta de entrenamiento de fuerza y/o rehabilitación ampliamente utilizada. Dependiendo del estado del músculo estimulado, la EENM puede utilizarse para (1) mejorar la función muscular en poblaciones sanas, incluidos atletas de recreación y de competición; (2) recuperar la masa y la función muscular tras prolongados periodos de falta de uso o inmovilización; (3) preservar la masa y la función muscular durante prolongados periodos de falta de uso o inmovilización. Las dos principales limitaciones de la EENM son la gran incomodidad asociada a la estimulación periférica y el limitado reclutamiento espacial de las fibras musculares, que es bastante superficial e incompleto. Inevitablemente, estos dos factores, que están estrictamente relacionados con la dosis aplicada, limitan el uso del entrenamiento con EENM en sujetos sensibles, así como su efectividad como intervención válida de tratamiento.

A pesar de las limitaciones antes señaladas, no cabe duda de que es posible mejorar o restaurar la fuerza muscular mediante el entrenamiento con EENM. Sin embargo, la efectividad de la EENM en comparación con los procedimientos de entrenamiento voluntario parece depender del estado del músculo que está siendo estimulado. En una reciente revisión sistemática de estudios de entrenamiento del cuádriceps con EENM, Bax et al. (2005) indicaban que para músculos no dañados la efectividad de la EENM parece ser menor en comparación con los programas de entrenamiento voluntario. Por otra parte, el entrenamiento con EENM podría ser más efectivo que las modalidades de entrenamiento voluntario para el cuádriceps total o parcialmente inmovilizado. Es decir, el

entrenamiento con EENM es más apropiado para músculos esqueléticos inactivos que para los activos, a pesar de que existe poca documentación sobre diversas poblaciones de pacientes y en músculos distintos del cuádriceps femoral.

Además de las aplicaciones y la efectividad de la EENM, se presentarán los parámetros más comunes de la EENM, incluidas las características tanto de la corriente eléctrica (el input) como de la contracción evocada (el output); también se ofrecerán claras indicaciones de su adecuada utilización. Finalmente se discutirán dos rasgos fisiológicos críticos de la EENM que han sido objeto de numerosos debates en los últimos años: la diferencia sustancial en reclutamiento de fibras musculares entre las contracciones de la EENM y las voluntarias, y la considerable implicación del sistema nervioso durante la EENM periférica.

**PALABRAS CLAVE:** fuerza muscular, cuádriceps femoral, rehabilitación, parámetros de estimulación.

## GUIÓN DE LA INTERVENCIÓN

1. Consideraciones metodológicas
  - 1.1. Características de la contracción
    - 1.1.1. Intensidad de la contracción como factor clave
  - 1.2. Características actuales
    - 1.2.1. Características de frecuencia, intensidad, pulso, etc.
2. Consideraciones fisiológicas
  - 2.1. Reclutamiento de fibras musculares
    - 2.1.1. Reclutamientos espacial
    - 2.1.2. Reclutamiento temporal
    - 2.1.3. Orden de reclutamiento
  - 2.2. Efectos agudos del ejercicio de EENM
  - 2.3. Efectos crónicos del entrenamiento con EENM
  - 2.4. Contribuciones espinales y supraespinales a las contracciones evocadas por EENM
3. Aplicaciones
  - 3.1. Poblaciones de pacientes
  - 3.2. Sujetos sanos
  - 3.3. Atletas
    - 3.3.1. Principales intereses
    - 3.3.2. Principales limitaciones
4. Observaciones a modo de conclusión

## BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

- Bax, L., Staes F., y Verhagen A., Does neuromuscular electrical stimulation strengthen the quadriceps femoris? A systematic review of randomised controlled trials. *Sports Med*, 2005, 35: 191-212.
- Feil, S., et al. The effectiveness of supplementing a standard rehabilitation program with superimposed neuromuscular electrical stimulation after anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective, randomized, single-blind study. *Am J Sports Med*, 2011, 39: 1238-47.
- Gibson, J.N., Smith K., y Rennie M.J. Prevention of disuse muscle atrophy by means of electrical stimulation: maintenance of protein synthesis. *Lancet*, 1988, 2: 767-70.
- Maffiuletti, N.A. The use of electrostimulation exercise in competitive sport. *Int J Sports Physiol Perform*, 2006, 1: 406-7.
- Maffiuletti, N.A. Physiological and methodological considerations for the use of neuromuscular electrical stimulation. *Eur J Appl Physiol*, 2010, 110: 223-34.
- Vanderthommen, M. y Duchateau J. Electrical stimulation as a modality to improve performance of the neuromuscular system. *Exerc Sport Sci Rev*, 2007, 35: 180-5.

## CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS A TENER EN CUENTA EN LA EVALUACIÓN DE LA FUERZA

**Luis Sánchez Medina**

Profesor Asociado

Facultad del Deporte, Universidad Pablo de Olavide, Sevilla y

Unidad Técnica de Asistencia

Centro de Estudios, Investigación y Medicina del Deporte (CEIMD), Gobierno de Navarra

*lsmedina@upo.es*

### RESUMEN

La fuerza muscular es reconocida como una cualidad física fundamental para el rendimiento deportivo, así como para el mantenimiento de la salud y la mejora de la calidad de vida de las personas. La fuerza es importante en todas las disciplinas deportivas y un factor determinante del rendimiento en la mayoría de ellas. No es de extrañar, por tanto, que el entrenamiento de la fuerza muscular sea hoy día uno de los pilares básicos de cualquier programa de entrenamiento dirigido tanto a la mejora del rendimiento como al desarrollo de una condición física saludable en el ámbito preventivo o terapéutico. La evaluación periódica es una pieza clave que debe estar integrada dentro del proceso de entrenamiento con el fin de proporcionarnos información lo más precisa posible del efecto que está teniendo el trabajo realizado sobre el organismo, en nuestro caso el sistema neuromuscular del deportista. Una adecuada evaluación permitirá un mejor control de la carga y una prescripción individualizada del entrenamiento.

No obstante, es todavía bastante frecuente encontrarnos con técnicos deportivos que carecen de una metodología rigurosa de valoración de la fuerza, o que aplican complejas baterías de tests sin prestar atención a la idoneidad y forma de realización de los ejercicios. En la presente ponencia se hará un repaso de las principales consideraciones metodológicas a tener presentes en la evaluación isoinercial de la fuerza. A diferencia de las evaluaciones de tipo isométrico o isocinético, que normalmente presentan una baja relación con el rendimiento neuromuscular en acciones dinámicas (Baker et al., 1994; Murphy et al., 1994; Murphy y Wilson, 1996), la evaluación isoinercial parece reflejar mejor los gestos y movimientos de entrenamiento y competición propios de la mayoría de los deportes, en los cuales se producen acciones repetidas de aceleración y desaceleración (Cronin et al., 2003; Jidovtseff et al., 2006, 2007; Murphy y Wilson, 1996). Además, la evaluación isoinercial parece ser un procedimiento más sensible para realizar un seguimiento longitudinal de los cambios que se producen en los niveles de fuerza como consecuencia del entrenamiento (Abernethy y Jurimae, 1996).

Ya en 1982, MacDougall et al. destacaban la necesidad de emplear protocolos estrictos, con tipos de ejecución preferiblemente en régimen concéntrico y realizados siempre a máxima velocidad. Algunas de las cuestiones clave a controlar y estandarizar en nuestros protocolos de valoración deberían ser: el calentamiento realizado, la velocidad de ejecución de los ejercicios, el tipo de activación muscular (ausencia o presencia de ciclo de estiramiento-acortamiento, recorrido y velocidad de la fase excéntrica previa a la concéntrica), los ejercicios a emplear, la elección de aquellas variables más reproducibles y representativas, la utilización sólo de las cargas comunes al comparar dos tests realizados en diferentes instantes temporales, la magnitud de incremento y la recuperación entre cargas en un test progresivo, la hora del día, la elección de valores medios frente a picos, el referir los valores medios sólo a la fase propulsiva del movimiento o al total de la fase concéntrica, además de la cuestión de cómo calcular y/o expresar la potencia mecánica.

**PALABRAS CLAVE:** evaluación isoinercial, valoración de la fuerza muscular, potencia, metodología del entrenamiento.

## GUIÓN DE LA INTERVENCIÓN

1. Introducción
  - 1.1. Importancia de la evaluación dentro del proceso de entrenamiento
  - 1.2. Tipos de evaluación de la fuerza muscular. Ventajas y desventajas
2. Cuestiones clave a tener en cuenta en la evaluación isoinercial de la fuerza muscular
  - 2.1. Velocidad de ejecución de los ejercicios
  - 2.2. Calentamiento
  - 2.3. Tipo de activación muscular (ausencia o presencia de CEA)
  - 2.4. Selección de ejercicios
  - 2.5. Selección de variables a medir
  - 2.6. Incremento de carga y recuperación entre series en un test progresivo
  - 2.7. Comparación de varios tests realizados en diferentes momentos
  - 2.8. Valores medios frente a valores pico
  - 2.9. Hora del día, ritmos circadianos y condiciones ambientales
  - 2.10. La fase propulsiva
  - 2.11. Cálculo y expresión de la potencia mecánica
3. Conclusiones

## BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

- ABERNETHY, PJ. y JÜRIMÄE, J. Cross-sectional and longitudinal uses of isoinertial, isometric, and isokinetic dynamometry. *Med Sci Sports Exerc* 1996, 28, 1180-1187.
- BAKER, D.; WILSON, G. y CARLYON, B. Generality versus specificity: a comparison of dynamic and isometric measures of strength and speed-strength. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 1994, 68, 350-355.
- CRONIN, JB.; MCNAIR, PJ. y MARSHALL, RN. Force-velocity analysis of strength-training techniques and load: implications for training strategy and research. *J Strength Cond Res*, 2003, 17, 148-155.
- GONZÁLEZ BADILLO, JJ. y GOROSTIAGA AYESTARÁN, E. *Fundamentos del entrenamiento de la fuerza*. 2ª edición. Barcelona: Inde, 1997.
- GONZÁLEZ BADILLO, JJ. y RIBAS SERNA, J. *Bases de la programación del entrenamiento de fuerza*. Barcelona: Inde, 2002.
- JONES, N.L.; MCCARTNEY, N. y MCCOMAS, AJ. *Human muscle power*. Champaign, Illinois: Human Kinetics, 1986.
- JIDOVTSEFF, B.; CROISIER, JL.; LHERMEROUT, C.; SERRE, L.; SAC, D. y CRIELAARD, JM. The concept of iso-inertial assessment: reproducibility analysis and descriptive data. *Isokinet Exerc Sci* 2006, 14: 53-62.
- JIDOVTSEFF, B.; CROISIER, JL.; SCIMAR, N.; DEMOULIN, C.; MAQUET, D. y CRIELAARD, JM. The ability of isoinertial assessment to monitor specific training effects. *J Sports Med Phys Fitness*, 2007, 47, 55-64.
- MACDOUGALL, J.D.; WENGER, H.A. y GREEN, HJ. *Physiological testing of the elite athlete*. Ithaca, Nueva York: Movement Publications Inc., 1982.
- MAUD, P. y FOSTER, C. *Physiological assessment of human fitness*. 2<sup>nd</sup> edition. Champaign, Illinois: Human Kinetics, 2006.
- MURPHY, AJ.; WILSON, GJ. y PRYOR, JF. Use of the iso-inertial force mass relationship in the prediction of dynamic human performance. *Eur J Appl Physiol*, 1994, 69, 250-257.
- MURPHY, AJ. y WILSON, GJ. The assessment of human dynamic muscular function: a comparison of isoinertial and isokinetic tests. *J Sports Med Phys Fitness*, 1996, 36, 169-177.
- SÁNCHEZ-MEDINA, L.; PÉREZ, CE. y GONZÁLEZ-BADILLO, JJ. Importance of the propulsive phase in strength assessment. *Int J Sports Med*, 20

## PAPEL DEL ENTRENAMIENTO DE FUERZA EN EL ENVEJECIMIENTO Y LA MEJORA DE LA SALUD DE LA POBLACIÓN

**Mikel Izquierdo**

Catedrático Universidad Pública de Navarra

*mikel.izquierdo@gmail.com*

### RESUMEN

Con el envejecimiento disminuye la resistencia aeróbica en un 45%, la fuerza de agarre de las manos en un 40%, la fuerza de las piernas en un 70%, la movilidad articular en un 50% y la coordinación neuromuscular en un 90%, consecuencias de la vejez que limitan al anciano al realizar determinadas tareas de la vida diaria e influyen en la disminución de la capacidad de vida independiente. También se cree que la reducción con la edad de la capacidad del sistema neuromuscular para generar fuerza también favorece el riesgo de caídas y resbalones, típicas de este grupo de población, aspecto que lleva a considerar su valoración cada vez con más interés.

Además del envejecimiento “per se”, uno de los factores que mejor explican la reducción en la fuerza y la masa muscular con la edad es la drástica reducción que se observa con el paso de los años en la cantidad y calidad de actividad física diaria. El resultado de todo este proceso, como si se tratase de un ciclo, origina que a medida que disminuye la práctica de actividad física diaria, disminuyan la fuerza y la masa muscular. La interrupción de este ciclo es de vital importancia para el mantenimiento de la calidad de vida y la salud de las personas.

Existen dos buenas razones que nos deberían animar a realizar ejercicio físico de modo regular a partir de los 50 años. En primer lugar porque el ejercicio físico es un pilar básico en la prevención y el tratamiento de enfermedades cardiovasculares y, en segundo lugar, porque juega un papel fundamental en la prevención y el tratamiento del declive en la capacidad funcional, que suele comenzar a manifestarse de modo muy significativo a partir de esta edad. Estas dos razones son las causas más importantes de discapacidad en las personas mayores de 50 años. En las últimas décadas algunos investigadores plantearon la hipótesis de que el entrenamiento de fuerza en personas mayores podría prevenir o aminorar la pérdida de fuerza. Diversos estudios han mostrado que la realización de un entrenamiento físico relativamente intenso adaptado a su capacidad funcional se acompaña de incrementos significativos en fuerza muscular, condición física aeróbica, movilidad articular, habilidad motora, autoestima y longevidad, independientemente de la edad y el sexo, siempre y cuando la intensidad y duración del periodo de entrenamiento sean suficientes. Los incrementos iniciales de la fuerza pueden llegar a ser de hasta un 10-30% (o incluso más) durante las primeras semanas o 1-2 meses de entrenamiento tanto en personas de mediana edad como en las de avanzada edad en ambos sexos. Estos estudios muestran cómo las personas entre 60-70 años que participaron en un programa de 4 meses de entrenamiento para el desarrollo de la fuerza y masa muscular recuperaron la capacidad funcional y la potencia muscular de veinte años antes, es decir se encontraban igual que compañeros suyos que empezaron el mismo programa de entrenamiento con 40 años.

Con independencia de la edad de la persona, siempre se ha aconsejado desde el punto de vista de la salud la realización de un entrenamiento moderado de resistencia aeróbica (caminar o nadar) como la mejor opción para estar sano y como complemento al tratamiento de enfermedades cardiovasculares. La resistencia aeróbica es la capacidad para aguantar durante el mayor tiempo posible, a una intensidad determinada, una actividad física en la que intervenga una gran parte de los músculos del cuerpo. Ésta depende de la habilidad que tengan el corazón, los pulmones y el sistema circulatorio. Nadar, andar y hacer bicicleta son algunas actividades aeróbicas.

Sin embargo, en el caso particular de las personas mayores, o de aquellas que tengan sobrepeso o diabetes, es necesario complementar esos ejercicios con los de fuerza. A partir de los 20 o 30 años la fuerza disminuye de manera importante. Si no se hace ejercicio, hacia los 75-85 años la fuerza de piernas y brazos puede reducirse tanto que la persona no podrá levantarse de la cama o del sillón. Por esta razón, para no ir perdiendo mucha fuerza con la edad y evitar que esta pérdida favorezca la aparición de problemas, como los dolores de espalda, la osteoporosis, o la imposibilidad futura de levantarse de la cama o de la silla, se tiene que realizar llevar objetos pesados o mejorar la musculatura para evitar que el anciano se caiga. En las personas que tengan sobrepeso o alteraciones en el

metabolismo de la glucosa (diabetes) el entrenamiento de fuerza también puede ayudar a aumentar la masa muscular y el metabolismo de reposo, aspectos que son fundamentales si se acompañan con una dieta hipocalórica para la pérdida de grasa corporal, mejorar el perfil lipídico y los valores de glucosa.

**PALABRAS CLAVE:** entrenamiento de fuerza, envejecimiento, fragilidad, capacidad funcional, obesidad, diabetes tipo II

### GUIÓN DE LA INTERVENCIÓN

1. ¿Por qué hacer ejercicio físico?
2. Envejecimiento y fragilidad
3. Efectos metabólicos de la pérdida de masa muscular (diabetes, osteoporosis, capacidad funcional)
4. Entrenamiento de fuerza y salud
5. Recomendaciones

### BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

- IBÁÑEZ, J.; IZQUIERDO, M.; MARTÍNEZ-LABARI, C.; ORTEGA, F.; GRIJALBA, A.; FORGA, L.; IDOATE, F.; GARCÍA-UNCITI, M.; FERNÁNDEZ-REAL, J.M.; GOROSTIAGA, E.M. (2010). Resistance Training Improves Cardiovascular Risk Factors in Obese Women Despite a Decrease in Serum Adiponectin Levels. *Obesity*. 18(3):535-41.
- IBÁÑEZ, J.; GOROSTIAGA, E.M.; ALONSO, A.M.; FORGA, L.; ARGÜELLES, I.; LARRIÓN, J.L.; IZQUIERDO, M. (2008). Lower muscle strength gains in older men with type 2 diabetes after resistance training. *Journal of Diabetes Complications*. 22(2):112-118.
- IBÁÑEZ, J.; IZQUIERDO, M.; ARGÜELLES, I.; FORGA, L.; LARRIÓN, J.L.; GARCÍA-UNCITI, M.; IDOATE, F.; GOROSTIAGA, E.M. (2005). Twice-weekly progressive resistance training decreases abdominal fat and improves insulin sensitivity in type 2 diabetic older men. *Diabetes Care*. 28(3):662-7.
- IDOATE, F.; IBÁÑEZ, J.; GOROSTIAGA, E.M.; GARCÍA-UNCITI, M.; MARTÍNEZ-LABARI, C.; IZQUIERDO, M. (2010). Weight-loss diet alone or combined with resistance training induces different regional visceral fat changes in obese women. *International Journal of Obesity*. 2011 de mayo; 35(5):700-13.
- FERNÁNDEZ-REAL, J.M.; IZQUIERDO, M.; MORENO-NAVARRETE, J.M.; GOROSTIAGA, E.; ORTEGA, F.; MARTÍNEZ, C.; IDOATE, F.; RICART, W.; IBÁÑEZ, J. (2009). Circulating soluble transferrin receptor concentration decreases after exercise-induced improvement of insulin sensitivity in obese individuals. *International Journal of Obesity (Lond.)* 33(7):768-74.
- FERNÁNDEZ-REAL, J.M.; IZQUIERDO, M.; ORTEGA, F.; GOROSTIAGA, E.; GÓMEZ-AMBROSI, J.; MORENO-NAVARRETE, J.M.; FRÜHBECK, G.; MARTÍNEZ, C.; IDOATE, F.; SALVADOR, J.; FORGA, L.; RICART, W.; IBÁÑEZ, J. (2008). The relationship of serum osteocalcin concentration to insulin secretion, sensitivity and disposal with hypocaloric diet and resistance training. *J Clin Endocrinol Metab*. 94(1):237-45.
- IZQUIERDO, M.; IBÁÑEZ, J.; HÄKKINEN, K.; KRAEMER, W.J.; LARRIÓN, J.L.; GOROSTIAGA, E.M. (2004). Once weekly resistance training and once weekly endurance training enhances neuromuscular and cardiovascular performance in older men. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 36(3): 435-443, 2004.
- IZQUIERDO, M.; HÄKKINEN, K.; ANTÓN, A.; GARRUES, M.; IBÁÑEZ, J.; GOROSTIAGA, E.M. (2001). Effects of strength training on muscle power and serum hormones in middle-aged and older men. *Journal of Applied Physiology* 90: 1497-1507.
- IZQUIERDO, M.; HÄKKINEN, K.; IBÁÑEZ, J.; ANTÓN, A.; GARRUES, M.; RUESTA, M.; GOROSTIAGA, E. (2003). Effects of strength training on submaximal and maximal endurance performance capacity in middle-aged and older men. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 17 (1):129-139.
- IZQUIERDO, M.; HÄKKINEN, K.; ANTÓN, A.; GARRUES, M.; IBÁÑEZ, J.; RUESTA, M.; GOROSTIAGA, E.M. (2001). Maximal strength & Power, endurance performance capacity, muscle cross-sectional area and serum hormones in middle-aged and older men. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 33 (9): 1577-1587.
- IZQUIERDO, M.; IBÁÑEZ, J.; GOROSTIAGA, E.M.; GARÚES, M.; ZÚÑIGA, A.; ANTÓN, A.; LARRIÓN, J.L.; HÄKKINEN, K. (1999). Maximal strength and power characteristics in isometric and dynamic actions of the upper and lower extremities in middle-aged and older men. *Acta Physiologica Scandinavica* 167: 57-68.



- IZQUIERDO, M.; AGUADO, X.; GONZÁLEZ, R.; LÓPEZ, J.L.; HÄKKINEN, K. (1999). Maximal and explosive force production capacity and balance performance in men of different ages. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 79: 260-267.
- HÄKKINEN, K.; KALLINEN, M.; IZQUIERDO, M.; JOKELAINEN, K.; LASSILA, H.; MÄLKIÄ, E.; KRAEMER, W.J.; NEWTON, R.U.; ALEN, M. (1998). Changes in agonist-antagonist EMG, muscle CSA, and force during strength training in middle-aged and older people. *Journal of Applied Physiology* 84: 1341-1349.
- HÄKKINEN, K.; ALEN, M.; KALLINEN, M.; IZQUIERDO, M.; JOKELAINEN, K.; LASSILA, H.; MÄLKIÄ, E.; KRAEMER, W.J.; NEWTON, R.U. (1998). Muscle CSA, force production, and Activation of leg extensor muscles during isometric and dynamic actions in middle-aged and elderly men and women. *Journal of Aging and Physical Activity* 6: 232-247
- KARAVIRTA, L.; HÄKKINEN, A.; SILLANPÄÄE.; GARCÍA-LÓPEZ, D.; KAUFANEN, A.; HAAPASAARI, A.; ALEN, M.; PAKARINEN, A.; KRAEMER, W.J.; IZQUIERDO, M.; GOROSTIAGA, E.M.; HÄKKINEN, K. (2010) Effects of combined endurance and strength training on muscle strength, power and hypertrophy in 40-67 year old men. *Scand J Medicine Science Sports*. Dic 18. [Epub pendiente de publicación].
- MARTÍNEZ, A.; LECUMBERRI, A.; GÓMEZ, M.; IZQUIERDO, M. (2010). Orientation signals using the wavelet transform from a tri-axial inertial magnetic sensor in a frail population. *J. Biomechanics*. In prensa. 2011.
- MORENO-NAVARRETE, J.M.; MANCO, M.; IBÁÑEZ, J.; GARCÍA-FUENTES, E.; ORTEGA, F.; GOROSTIAGA, E.; VENDRELL, J.; IZQUIERDO, M.; MARTÍNEZ, C.; NOLFE, G.; RICART, W.; MINGRONE, G.; TINAHONES, F.; FERNÁNDEZ-REAL, J.M. (2010). Metabolic endotoxemia and saturated fat contribute to circulating NGAL concentrations in subjects with insulin resistance. *International Journal of Obesity (Lond)*. 34(2):240-9

## MECANISMOS DE FATIGA NEUROMUSCULAR

### Implicaciones para el entrenamiento de esfuerzos de corta duración

**Jacques Duchateau**

Profesor y Director del Laboratorio Biología Aplicada  
Facultada de Ciencias Motrices, Universidad Libre de Bruselas, Bélgica

#### RESUMEN

En lenguaje común, el término fatiga se utiliza para denotar una variedad de situaciones que van desde una incapacidad de rendimiento motor provocada por el ejercicio hasta sensaciones de cansancio y debilidad. En los ámbitos científico y deportivo, la fatiga se define habitualmente como una reducción progresiva del rendimiento (capacidad de fuerza o potencia) inducida por el ejercicio que es atribuible a un deterioro agudo bien en los procesos neuronales, bien de los musculares (Gandevia, 2001).

La fatiga puede ser producida por muchos mecanismos diferentes, que van desde una orden motora submáxima suministrada por el córtex motor hasta una capacidad reducida de los miofilamentos para producir fuerza en las fibras musculares. No hay ningún mecanismo global responsable de la fatiga muscular, pero la contribución relativa de los mecanismos neuronales y musculares al declive de la fuerza y la potencia durante un ejercicio fatigante depende del tipo de esfuerzo que se esté realizando (Enoka & Duchateau, 2008). Por ejemplo, está ampliamente aceptado que la contribución neuronal al declive en el rendimiento es mayor en los esfuerzos submáximos de larga duración (maratón) que en los esfuerzos máximos de menor duración (400m; ver Nicol et al., 2006; Millet & Lepers, 2004). En esta última situación, la fatiga periférica parece ser el principal factor responsable del descenso de la fuerza y la potencia. Además, la fatiga neuronal es mayor durante una contracción isométrica sostenida que durante contracciones intermitentes.

Básicamente, tres mecanismos principales pueden ser responsables de los ajustes agudos que se producen en el sistema nervioso durante las contracciones fatigantes: una disminución de la respuesta de las neuronas motoras en la médula espinal, una disminución del output del córtex motor (fatiga supraespinal o cortical) y una reducción del input excitatorio al pool de neuronas motoras desde los aferentes musculares (mecanismos de feedback). Hallazgos recientes sugieren que los cambios observados pueden atribuirse principalmente a una reducción del input en las neuronas motoras, más que a un cambio en las propiedades intrínsecas de las propias neuronas motoras y a discapacidades supraespinales (Klass et al., 2008).

A nivel de los músculos, varios mecanismos pueden contribuir también al declive del rendimiento durante los esfuerzos prolongados. Entre ellos, alteraciones en la propagación neuromuscular, discapacidad en algunos pasos que conectan excitación nerviosa y contracción muscular (par excitación-contracción), y modificaciones localizadas en la propia maquinaria contráctil pueden jugar cierto papel. Además, dependiendo del tipo de esfuerzo, se cree que el cambio en la acumulación de metabolitos, la disminución del pH, la depleción de varios sustratos y la menor disponibilidad de O<sup>2</sup> exacerbaban la fatiga neuromuscular (Place et al., 2010). Sin embargo, estudios recientes han señalado que con frecuencia se alcanza el agotamiento antes de que el rendimiento del músculo alcance sus propios límites, lo cual sugiere que es probable que mecanismos de feedforward o feedback sensorial jueguen un papel esencial en la tolerancia al ejercicio (Noakes et al., 2001; Enoka & Duchateau, 2008).

El objetivo de la conferencia es examinar la importancia funcional de estos diferentes mecanismos y la relación entre cambios musculares y ajustes neuronales. Además, discutiremos la posible estrategia de entrenamiento para mejorar específicamente la capacidad de resistencia del sistema neuromuscular durante esfuerzos de corta duración conforme a las necesidades de la disciplina deportiva.

**PALABRAS CLAVE:** fatiga central, fatiga muscular, tiempo de resistencia, activación voluntaria

## GUIÓN DE LA INTERVENCIÓN

1. Características de la fatiga
  - 1.1. Definición
  - 1.2. Fatiga vs. tiempo de resistencia
  - 1.3. Diferentes tipos de esfuerzos
  - 1.4. Comportamiento de la unidad motora durante contracciones fatigantes
2. Lugares potenciales de discapacidad
  - 2.1. Contribución potencial de mecanismos centrales y periféricos
  - 2.2. Mecanismos de la fatiga central
  - 2.3. Mecanismos de la fatiga periférica
  - 2.4. Interacción entre factores periféricos y centrales: el papel del feedback sensorial
  - 2.5. Papel potencial del reflejo de estiramiento durante los ejercicios de estiramiento-acortamiento
3. Efectos del entrenamiento
  - 3.1. Efecto de la carga
  - 3.2. Especificidad del movimiento

## BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

- ENOKA R.M. y DUCHATEAU, J. [Muscle fatigue: what, why and how it influences muscle function](#). *J Physiol*, 2008, 586, 11-23.
- MILLET, G.Y. y LEPERS, R. Alterations of neuromuscular function after prolonged running, cycling and skiing exercises. *Sports Med*, 2004, 34, 105-116.
- NICOL, C.; AVELA, J. y KOMI, P.V. [The stretch-shortening cycle : a model to study naturally occurring neuromuscular fatigue](#). *Sports Med* 2006, 36, 977-999.
- PLACE, N.; YAMADA, T.; BRUTON, J.D.; WESTERBLAD, H. [Muscle fatigue: from observations in humans to underlying mechanisms studied in intact single muscle fibres](#). *Eur J Appl Physiol*, 2010, 110, 1-15.

## IMPORTANCIA DE LA FASE PROPULSIVA EN LA EVALUACIÓN ISOINERCIAL DE LA FUERZA MUSCULAR

**Luis Sánchez Medina**

Profesor Asociado

Facultad del Deporte, Universidad Pablo de Olavide, Sevilla

y

Unidad Técnica de Asistencia

Centro de Estudios, Investigación y Medicina del Deporte (CEIMD), Gobierno de Navarra

[lsmolina@upo.es](mailto:lsmolina@upo.es)

### RESUMEN

En la mayoría de los ejercicios de entrenamiento de fuerza, el movimiento comienza desde parado (velocidad cero), consigue luego la velocidad máxima o pico en determinado punto intermedio del recorrido concéntrico y, finalmente, regresa a velocidad cero al completar el recorrido. En consecuencia, un aspecto importante a tener en cuenta cuando se desplazan cargas en los ejercicios de tipo isoinercial (típico entrenamiento de fuerza con pesas) es el hecho de que una parte considerable de la fase concéntrica se emplea en desacelerar la carga o resistencia que se trata de vencer. Así, cuando se desplazan cargas ligeras y medias, existe una parte final del recorrido durante la cual la desaceleración es de mayor magnitud que la esperada debido al efecto de la gravedad; en esta situación el sujeto está, de hecho, aplicando fuerza en sentido opuesto al movimiento de la carga, esto es, frenando el desplazamiento de la misma.

Durante esta parte final, la fuerza aplicada por el sujeto ( $F$ ) frente a la carga externa de masa  $m$  es negativa; así, debido a que  $F = m \cdot a$ ,  $F$  resulta negativa sólo cuando  $a < g$  (siendo  $g$  la aceleración de la gravedad, y  $a$  la aceleración impartida a la carga que se desplaza). Por tanto, la parte concéntrica del movimiento puede dividirse en una fase “propulsiva” ( $F > 0$ ) y una fase “de frenado” ( $F < 0$ ) (Jidovtseff et al., 2007), una diferenciación que, probablemente, podría ser de mayor relevancia práctica que la clasificación más comúnmente empleada hasta ahora (Elliot et al., 1989; Lander et al., 1985; Newton et al., 1996), y que simplemente dividía la acción concéntrica en dos fases: acelerativa ( $a > 0$ ) y desacelerativa ( $a < 0$ ). Estudios recientes de nuestro laboratorio (Sánchez-Molina et al., 2010) nos han permitido comprobar la importancia de referir los valores mecánicos medios a la fase propulsiva del movimiento en vez de al total de la fase concéntrica del mismo, especialmente cuando se trabaja con cargas bajas y medias (<75% RM) en los ejercicios más comunes o típicos de entrenamiento (press de banca, sentadilla, dorsal-remo, etc.). La utilización de valores medios de la fase propulsiva en la evaluación de la fuerza y la potencia muscular permite discriminar mejor entre sujetos con distinto nivel de rendimiento neuromuscular. Por ejemplo, las diferencias entre los valores reales de potencia mecánica cuando los sujetos poseen una fuerza dinámica máxima (1RM) muy diferente sólo se ponen de manifiesto si los valores medios de potencia se expresan en relación a la fase propulsiva del movimiento.

Por tanto, tanto la evaluación del efecto de entrenamiento como la valoración de la capacidad neuromuscular de un sujeto en un momento determinado debería realizarse siempre empleando los valores medios propulsivos. Consideramos que esta cuestión, pese a ser de importante y directa aplicación práctica para el control del entrenamiento de fuerza, no había sido abordada hasta la fecha en la literatura científica internacional, por lo que será objeto de estudio y discusión en esta ponencia.

**PALABRAS CLAVE:** evaluación isoinercial, fase propulsiva, entrenamiento de fuerza, relaciones carga-velocidad y carga-potencia.

### GUIÓN DE LA INTERVENCIÓN

1. Introducción
  - 1.1. Conceptos de fase propulsiva y de frenado
  - 1.2. Ejemplos gráficos

2. Contribución de las fases propulsiva y de frenado a lo largo de diferentes porcentajes de la repetición máxima (% 1RM)
  - 2.3. Ejercicio de press de banca
  - 2.4. Ejercicio de sentadilla
  - 2.5. Ejercicio de dorsal-remo (tumbado prono en banco plano)
3. Movimientos de tipo “balístico”. Ejemplos
  - 3.6. Press lanzado vs press de banca tradicional
  - 3.7. Salto vertical con cargas vs sentadilla
4. Aplicaciones prácticas y conclusiones

## BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

- ELLIOT, B.C.; WILSON, G.J y KERR G. A biomechanical analysis of the sticking region in the bench press. *Med Sci Sports Exerc*, 1989, 21, 450-462.
- FROST, DM.; CRONIN, JB. y NEWTON, RU. Have we underestimated the kinematic and kinetic benefits of non-ballistic motion? *Sports Biomech*, 2008, 7, 372-385.
- GONZÁLEZ-BADILLO, JJ. y SÁNCHEZ-MEDINA, L. Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *Int J Sports Med*, 2010, 31, 347-352.
- JIDOVTSSEFF, B.; CROISIER, JL.; SCIMAR, N.; DEMOULIN, C.; MAQUET, D. y CRIELAARD, JM. The ability of isoinertial assessment to monitor specific training effects. *J Sports Med Phys Fitness*, 2007, 47, 5-64.
- LANDER, JE.; BATES, BT.; SAWHILL, JA. y HAMILL, J. A comparison between free-weight and isokinetic bench pressing. *Med Sci Sports Exerc*, 1985, 17, 344-353.
- NEWTON, RU.; KRAEMER, WJ.; HÄKKINEN, K.; HUMPHRIES, BJ. y MURPHY, AJ. Kinematics, kinetics, and muscle activation during explosive upper body movements. *J Appl Biomech*, 1996, 12, 31-43.
- SÁNCHEZ-MEDINA, L.; PÉREZ, CE. y GONZÁLEZ-BADILLO, JJ. Importance of the propulsive phase in strength assessment. *Int J Sports Med*, 2010, 3, 1

## ADAPTACIONES MOLECULARES AL ENTRENAMIENTO DE FUERZA

**José A. López Calbet**

Departamento de Educación Física  
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

### RESUMEN

En esta conferencia examinaremos los mecanismos moleculares responsables de las adaptaciones que produce el entrenamiento de fuerza, con especial énfasis en las vías de señalización implicadas en los cambios fenotípicos del músculo. Una de las adaptaciones más evidentes al entrenamiento de fuerza es el aumento de la masa muscular, que es debido principalmente a la hipertrofia muscular. El aumento del tamaño muscular en respuesta al entrenamiento de fuerza es resultado de una serie de eventos que comprenden: (1) activación del músculo; (2) señalización procedente de la deformación mecánica de las fibras musculares, (3) síntesis proteica debida a una mayor transcripción y traducción; y (4) hipertrofia de la fibra muscular.

1. **La activación del músculo** es ordenada por el sistema nervioso a través de una serie de órdenes codificadas que determinan el tipo de unidades motoras (y por tanto de fibras) que van a ser reclutadas, el número de unidades motoras y la intensidad de contracción de las unidades motoras activadas. Sólo las unidades motoras reclutadas mostraran adaptaciones locales al entrenamiento. En general, todos los tipos de entrenamiento de

fuerza producen un aumento de la expresión de isoformas IIA de cadena pesada de la miosina (MHC IIA) y un descenso de las isoformas tipo IIX. Los efectos sobre las isoformas tipo I son controvertidos, con algunos trabajos mostrando un descenso y otros ausencia de efectos en el porcentaje de MHC I tras el entrenamiento de fuerza. No obstante, el entrenamiento pliométrico podría facilitar un descenso relativo de MHC I.

- 2. La señalización procedente de deformación mecánica de las fibras musculares**, ya sea por contracción o estiramiento, estimula varias vías de señalización en el músculo que son independientes de los cambios hormonales y factores de crecimiento. En concreto, la deformación mecánica activa las vías de señalización de la proteína quinasa B (Akt), de la proteína quinasa de mamíferos diana de la rapamicina (mTOR), la proteína quinasa activada por adenosin monofosfato (AMPK), y la proteína quinasa activada por mitógenos (MAPK). La vía mTOR es crucial para las adaptaciones al entrenamiento de fuerza; sin embargo, el papel de la señalización por AMPK y MAPK no ha sido aclarado del todo. Cuando las fibras musculares se contraen, la señalización por Akt-mTOR aumenta de manera marcada y esta respuesta es crítica para incrementar la síntesis proteica en el músculo y su consiguiente hipertrofia. Akt fosforila y activa mTOR durante la sobrecarga muscular, pero la señalización de mTOR tras la estimulación mecánica puede también ocurrir independientemente de Akt. Esta señalización inducida por estimulación mecánica independiente de Akt ocurre a través de la producción de ácido fosfatídico. La cascada de señalización de mTOR incrementa la síntesis proteica mediante la mejora de la eficacia de la traducción (por ejemplo, aumentando la cantidad de ARNm traducido por ribosoma). Una vez activada, mTOR fosforila a dos dianas principales: la proteína ribosómica de 70 kDa (p70 S6K) y la proteína de unión 1 del factor eucoariótico de iniciación de la traducción 4E (4E-BP1). A la par que mTOR, Akt también fosforila a la quinasa de la proteína glucógeno sintasa-3 $\beta$  (GSK-3 $\beta$ ) y a la familia de factores de transcripción “*fork-head box O*” (FOXO). Akt fosforila e inhibe a GSK-3 $\beta$ , la cual libera la inhibición de eIF2B. La activación de eIF2B resulta en la interacción methionyl-ARNm con la subunidad 40S para el inicio de la traducción y la síntesis de proteínas. La fosforilación de FOXO mediada por Akt impide que la primera estimule la transcripción de ubiquitin-ligasas proteolíticas. Por lo tanto Akt promueve la síntesis de proteínas al tiempo que inhibe la destrucción de proteínas.

La AMPK es considerada un “interruptor metabólico” de la célula, puesto que se activa cuando las concentraciones de AMP son altas y las de ATP bajas. En respuesta a este descenso de la energía disponible, como ocurre por ejemplo durante la contracción muscular, la AMPK estimula vías de señalización relacionadas con la liberación de energía (por ejemplo, oxidación de glucosa y ácidos grasos) e inhibe las vías de señalización que consumen energía (por ejemplo, la síntesis proteica). La AMPK reduce la síntesis de proteínas a través de la inhibición de la cascada de señalización mTOR. Además, la actividad AMPK aumenta de forma transitoria tras una sesión de entrenamiento de fuerza, y retorna a los valores iniciales en las dos horas siguientes al ejercicio. La realización de entrenamiento de resistencia inmediatamente después del entrenamiento de fuerza podría limitar la respuesta hipertrófica al entrenamiento de fuerza al mantener activa la AMPK durante más tiempo.

- 3. La síntesis de proteínas** depende en parte de las respuestas endocrinas, paracrinas y autocrinas provocadas por el entrenamiento de fuerza, así como de factores genéticos y ambientales (aporte suficiente y adecuado de aminoácidos, vitamina D, etc.). Los cambios hormonales del tejido muscular al entrenamiento de fuerza pueden influir en los efectos locales del entrenamiento de fuerza. La evidencia más sólida al respecto nos la ha proporcionado el estudio de la respuesta hipertrófica al entrenamiento de fuerza en presencia o ausencia de testosterona. No obstante, también influyen en la respuesta hipertrófica al entrenamiento de la hormona del crecimiento (GH) y los factores de crecimiento similares a la insulina (IGF-1 y 2). La unión de la GH con su receptor de membrana inicia la cascada de señalización de JAK2. JAK2 activa PI3K, que a su vez activa Akt y ésta última a mTOR. El entrenamiento de fuerza produce un incremento de las concentraciones de IGF-1 circulante y muscular. Además, el entrenamiento de fuerza altera las concentraciones de las proteínas de unión a IGF, que influyen en la actividad biológica de IGF-1. Además de esta vía IGF-1 estimula la proliferación y diferenciación de unas células madre localizadas en la periferia de las fibras musculares y que reciben el nombre de células satélite. La activación, proliferación y diferenciación de las células satélite contribuye de forma significativa al crecimiento muscular tras un entrenamiento a largo plazo. La testosterona ejerce sus efectos sobre la síntesis proteica en el músculo esquelético a través de los receptores de andrógenos (AR). La testosterona se une al AR y lo transforma en un factor de transcripción capaz de translocarse al núcleo y

asociarse con el ADN para regular la expresión de determinados genes que poseen elementos de respuesta a andrógenos (ERA) en su región promotora. El bloqueo de este receptor atenúa la ganancia de proteínas musculares, lo cual muestra la importancia fisiológica de las interacciones testosterona-AR en la hipertrofia muscular. Además, de forma similar a IGF-1, la testosterona ejerce su influencia en el crecimiento muscular a través de las células satélite. Dosis suprafisiológicas de testosterona incrementan el número de células satélite de una forma dependiente de la dosis, promoviendo su activación.

Otras hormonas con efectos importantes en el metabolismo proteico muscular son el cortisol, que estimula la proteólisis, y la insulina, que inhibe la proteólisis. Recientemente se ha aportado evidencia a favor del efecto anabolizante de la leptina.

4. **La hipertrofia de la fibra muscular** requiere que el balance entre síntesis y degradación de proteínas esté decantado hacia el lado de la síntesis. Las fibras musculares son células multinucleadas que se forman a partir de la fusión de células precursoras llamadas mioblastos. Una vez finalizado el desarrollo embrionario, parte de las células precursoras permanecen en la vecindad de las fibras musculares constituyendo un *pool* de células con capacidad de activarse y fusionarse con fibras musculares preexistentes o bien fusionarse entre sí para originar una fibra muscular nueva. Estas células reciben el nombre de células satélite. Sobre las células satélite actúan una serie de factores de transcripción, como por ejemplo los factores de regulación miogénicos (MRFs), que comprenden la miogenina, MRF4, MyoD y MYf5. Las células satélite pueden ser activadas tras una sesión de ejercicio de alta intensidad, que convenientemente repetido puede inducir proliferación, diferenciación y fusión de las células satélite, procesos en los que interviene la IL-6. La teoría del dominio mionuclear propone que cada núcleo de una célula muscular multinucleada puede transcribir ARNm para un volumen determinado de citoplasma. Para conseguir niveles de hipertrofia elevados es imprescindible incrementar el número de mionúcleos. Esto se consigue incorporando las células satélite locales (y sus núcleos asociados) a la fibra muscular existente.

**PALABRAS CLAVE:** hipertrofia, fuerza, Akt, mTor

### **BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA**

- AAGAARD, P., y ANDERSEN, J.L. Effects of strength training on endurance capacity in top-level endurance athletes. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*. 2010, 20 Suppl 2, 39-47
- ALWAY, S.E.; GRUMBT, W.H.; STRAY-GUNDERSEN, J., y GONYEA, W.J. Effects of resistance training on elbow flexors of highly competitive bodybuilders. *Journal of Applied Physiology*. 1992, 72, 1512-1521.
- ANDERSEN, J.L., y AAGAARD, P. Effects of strength training on muscle fiber types and size; consequences for athletes training for high-intensity sport. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*. 2010, 20 Suppl 2, 32-38
- BAMMAN, M.M.; SHIPP, J.R.; JIANG, J.; GOWER, B.A.; HUNTER, G.R.; GOODMAN, A.; MCLAFFERTY, C.L., Jr. y URBAN, R.J. Mechanical load increases muscle igf-i and androgen receptor mrna concentrations in humans. *American Journal of Physiology. Endocrinology and Metabolism*. 2001, 280, E383-390
- DUNN, S.E.; BURNS, J.L. y MICHEL, R.N. Calcineurin is required for skeletal muscle hypertrophy. *J Biol Chem*. 1999, 274, 21908-21912
- GLASS, D.J. Signalling pathways that mediate skeletal muscle hypertrophy and atrophy. *Nat Cell Biol*. 2003, 5, 87-90
- GUADALUPE-GRAU, A.; PEREZ-GOMEZ, J.; OLMEDILLAS, H.; CHAVARREN, J.; DORADO, C.; SANTANA, A.; SERRANO-SANCHEZ, J.A. y CALBET, J.A. Strength training combined with plyometric jumps in adults: Sex differences in fat-bone axis adaptations. *Journal of Applied Physiology*. 2009, 106, 1100-1111
- KVORNING, T.; ANDERSEN, M.; BRIXEN, K.; SCHJERLING, P.; SUETTA, C. y MADSEN, K. Suppression of testosterone does not blunt mrna expression of myod, myogenin, igf, myostatin or androgen receptor post strength training in humans. *Journal of Physiology*. 2007, 578, 579-593
- MICHEL, R.N.; DUNN, S.E. y CHIN, E.R. Calcineurin and skeletal muscle growth. *Proc Nutr Soc*. 2004, 63, 341-349

- OLMEDILLAS, H.; GUERRA, B.; GUADALUPE-GRAU, A.; SANTANA, A.; FUENTES, T.; DORADO, C.; SERRANO-SANCHEZ, J.A. y CALBET, J.A. Training, leptin receptors and socs3 in human muscle. *International Journal of Sports Medicine*. 2011, 32, 319-326
- OLMEDILLAS, H.; SANCHIS-MOYSI, J.; FUENTES, T.; GUADALUPE-GRAU, A.; PONCE-GONZALEZ, J.G.; MORALES-ALAMO, D.; SANTANA, A.; DORADO, C.; CALBET, J.A. y GUERRA, B. Muscle hypertrophy and increased expression of leptin receptors in the musculus triceps brachii of the dominant arm in professional tennis players. *European Journal of Applied Physiology*. 2010, 108, 749-758
- OZAKI, H.; SAKAMAKI, M.; YASUDA, T.; FUJITA, S.; OGASAWARA, R.; SUGAYA, M.; NAKAJIMA, T. y ABE, T. Increases in thigh muscle volume and strength by walk training with leg blood flow reduction in older participants. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2011, 66, 257-263
- PRINCE, F.P.; HIKIDA, R.S. y HAGERMAN, F.C. Human muscle fiber types in power lifters, distance runners and untrained subjects. *Pflugers Arch*. 1976, 363, 19-26.
- SPANGENBURG, E.E. Changes in muscle mass with mechanical load: Possible cellular mechanisms. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism*. 2009, 34, 328-335
- TRENERRY, M.K.; GATTA, P.A. y CAMERON-SMITH, D. Jak/stat signaling and human in vitro myogenesis. *BMC Physiol*. 2011, 11, 6
- VINGREN, J.L.; KRAEMER, W.J.; RATAMESS, N.A.; ANDERSON, J.M.; VOLEK, J.S. y MARESH, C.M. Testosterone physiology in resistance exercise and training: The up-stream regulatory elements. *Sports Medicine*. 2010, 40, 1037-1053

## ENTRENAMIENTO DE LA FUERZA: ¿SABÍA VD. QUE...?

**Nicola A. Maffiuletti**

Jefe del Laboratorio de Investigación Neuromuscular  
Clínica Schulthess, Zúrich (Suiza)  
[nicola.maffiuletti@kws.ch](mailto:nicola.maffiuletti@kws.ch)

### RESUMEN

A pesar del desarrollo de la halterofilia y el culturismo, ningún estudio científico se centró específicamente en el entrenamiento de fuerza antes de la II Guerra Mundial, puesto que tal práctica se consideraba peligrosa, inútil y reservada a personas de escasa inteligencia. Tras la II Guerra Mundial, y especialmente gracias al estudio pionero de DeLorme (1945), científicos de Estados Unidos, Rusia y Europa han concentrado sus esfuerzos paulatina y cronológicamente en los siguientes cuatro aspectos del entrenamiento de fuerza:

- concepción y validación de diferentes modalidades de entrenamiento de fuerza, como isotónico, isométrico, pliometría, isocinético, estimulación eléctrica, vibración corporal total, etc. (especialmente a partir de 1940);
- optimización de las variables del entrenamiento de fuerza, como intensidad, frecuencia, volumen y periodización (especialmente a partir de 1960);
- origen y secuencia temporal de las adaptaciones fisiológicas inducidas por el entrenamiento de fuerza (especialmente a partir de 1970);
- aplicación de los protocolos del entrenamiento de fuerza a diferentes poblaciones, como personas de edad, niños y más recientemente pacientes afectados por diferentes patologías (especialmente a partir de 1980).

Los hallazgos y observaciones de los principales estudios seminales se discutirán a la luz de las más recientes recomendaciones del American College of Sports Medicine sobre el entrenamiento de fuerza (2009).

A partir de aquí la conferencia será más práctica y se centrará en dos importantes (y relativamente desconocidos) aspectos de la plasticidad de la fuerza muscular:

1. La expresión aguda de la fuerza muscular puede verse considerablemente alterada por influencias y factores externos, tales como estímulo, feedback, instrucciones, hora del día, hipnosis, excitación, facilitación contralateral, etc.
2. El entrenamiento de fuerza no requiere necesariamente contracciones de intensidad elevada, ya que la fuerza muscular aumenta significativamente tras el entrenamiento contralateral y las contracciones imaginadas (en los que la intensidad real de la contracción es cero), pero también como resultado de contracciones relativamente leves (a) en presencia de oclusión de la circulación, (b) inducida por estimulación eléctrica, y (c) en respuesta a la vibración corporal total.

Se debatirán las implicaciones de estos cambios agudos y crónicos en la expresión de la fuerza muscular en relación con la evolución y optimización de la función muscular tanto en atletas como en poblaciones de pacientes.

**PALABRAS CLAVE:** entrenamiento de fuerza, aspectos históricos, inhibiciones neuronales, adaptaciones neuronales.

## GUIÓN DE LA INTERVENCIÓN

1. Aspectos históricos del entrenamiento de fuerza
  - 1.1. Antes de la II Guerra Mundial
  - 1.2. Después de la II Guerra Mundial
2. Alteraciones graves de la fuerza: implicaciones para su valoración
  - 2.1. Shot and shout
  - 2.2. Hipnosis
  - 2.3. Facilitación contralateral
  - 2.4. Feedback y estímulo
  - 2.5. Instrucciones
3. Cambios crónicos en fuerza muscular: implicaciones para el entrenamiento
  - 3.1. Entrenamiento contralateral: el efecto de educación cruzada
  - 3.2. Entrenamiento de imaginación mental
  - 3.3. Entrenamiento de oclusión de la circulación (Kaatsu)
  - 3.4. Entrenamiento de estimulación eléctrica
  - 3.5. Entrenamiento de vibración corporal total

## BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

- American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc*, 2009, 41: 687-708.
- DeLorme, T., Restoration of muscle power by heavy-resistance exercises. *J Bone Joint Surg*, 1945, 27: 645-667.
- Howard, J.D. y Enoka R.M. Maximum bilateral contractions are modified by neurally mediated interlimb effects. *J Appl Physiol*, 1991, 70: 306-16.
- Ikai, M. y Steinhaus A.H. Some factors modifying the expression of human strength. *J Appl Physiol*, 1961, 16: 157-63.
- Munn, J., Herbert R.D., y Gandevia S.C. Contralateral effects of unilateral resistance training: a meta-analysis. *J Appl Physiol*, 2004, 96: 1861-6.
- Yue, G. y Cole K.J. Strength increases from the motor program: comparison of training with maximal voluntary and imagined muscle contractions. *J Neurophysiol*, 1992, 67: 1114-23.



## INTERÉS DEL ENTRENAMIENTO DE FUERZA EN LOS DEPORTES DE MEDIO FONDO Y DE LARGA DURACIÓN

**Esteban Gorostiaga Ayestarán**

Centro de Estudios, Investigación y Medicina del Deporte  
Gobierno de Navarra  
*egorosta@navarra.es*

### RESUMEN

Los deportistas de elite de medio fondo (duraciones comprendidas entre 3-4 minutos y varias horas) y fondo suelen presentar valores muy elevados de consumo máximo de oxígeno ( $VO_2max$ ), mientras que los valores de fuerza y potencia de sus extremidades inferiores suelen ser inferiores (fondo) o bastante similares (medio fondo) a los de las personas sedentarias. Esto permite pensar que la capacidad para generar fuerza es poco importante en estas disciplinas. Sin embargo, el aumento de las velocidades medias a las que se corre en estas disciplinas, los continuos cambios de ritmo que se producen a lo largo de la prueba, y especialmente en su última parte, permiten pensar que la fuerza muscular puede tener una importancia mayor de la que se creyó clásicamente. Esto ha sido refrendado por diferentes estudios que han mostrado asociaciones entre la marca deportiva en las disciplinas de duración igual o inferior a 30 minutos y la fuerza de las extremidades inferiores.

Los primeros estudios llevados a cabo con sedentarios en la década de los 80 mostraron que el entrenamiento exclusivo de fuerza se acompañaba de una mejora espectacular de la fuerza, no se acompañaba de mejoras en los valores de consumo máximo de oxígeno, pero mejoraba el tiempo hasta el agotamiento a intensidades cercanas a la del consumo máximo de oxígeno o inferiores. Cuando el entrenamiento de fuerza se llevaba a cabo en estos sujetos con un entrenamiento simultáneo de resistencia aeróbica, se siguió observando la misma mejora del tiempo de agotamiento, aunque la mejora de fuerza máxima y, especialmente, de la fuerza rápida, era menos importante que cuando solamente se entrenaba la fuerza muscular. Esta interferencia en la mejora de la fuerza, pero no en la resistencia, con el entrenamiento simultáneo de fuerza y de resistencia podría estar explicada por los mecanismos moleculares que se activan con estos dos tipos de entrenamiento.

Posteriormente a los estudios llevados a cabo con sedentarios, se han publicado una veintena de trabajos que han estudiado los efectos de añadir el entrenamiento de fuerza a deportistas muy entrenados en resistencia (valores de consumo máximo de oxígeno superiores a 60 ml/kg x min). Los estudios realizados en atletas muestran que varias semanas de entrenamiento de fuerza a intensidades muy variadas (del 30 al 90% de la fuerza máxima) se acompañan de mejoras significativas de la fuerza máxima, fuerza rápida y velocidad de sprint, de la economía de carrera a velocidades cercanas a la competición y de la marca en ejercicios de duración inferior a los 20 minutos, pero no en pruebas de mayor duración. Los estudios realizados en ciclistas presentan similares resultados, mientras que los llevados a cabo en esquiadores de fondo parecen encontrar mejores resultados en la marca debido a la influencia que tienen los brazos en la marca deportiva de este deporte. Por último, estudios recientes han encontrado que el entrenamiento de fuerza de los músculos inspiratorios también se puede acompañar de una mejora de la resistencia aeróbica en deportistas de fondo.

**PALABRAS CLAVE:** resistencia y fuerza, medio fondo, fondo.

### GUIÓN DE LA INTERVENCIÓN

1. Generalidades
2. Interferencia fuerza – resistencia
  - 2.1. Efectos del entrenamiento combinado
  - 2.2. Efectos del entrenamiento de fuerza en la resistencia
  - 2.3. Mecanismos

3. Las preguntas
4. Características del medio fondo y fondo
  - 4.1. Costo energético
  - 4.2. Características físicas
  - 4.3. Factores relacionados con la marca deportiva
5. Efectos del entrenamiento de fuerza en deportistas de resistencia
  - 5.1. Atletismo
  - 5.2. Ciclismo
  - 5.3. Esquí de fondo
  - 5.4. Mecanismos
6. Entrenamiento de músculos inspiratorios
7. Propuesta y conclusión

## BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

- Dudley, G.A. y Djamil, R. Incompatibility of endurance and strength-training modes of exercise. *J Appl Physiol.* 1985, 59 (5):1446-1451.
- Hawley, J.A. Molecular responses to strength and endurance training: are they incompatible? *Appl Physiol Nutr Metab.* 2009, 34 (3):355-361.
- Hickson, R.C. Interference of strength development why simultaneously training for strength and endurance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1980, 45:255-263.
- Hoff, J.; Gran, A., y Helgerud, J. Maximal strength training improves aerobic endurance performance. *Scand J Med Sci Sports* 2002 (5):288-295.
- Lacour, J.R.; Padilla, S.; Barthélémy, J.C. y Dormois, D. The energetics of middle-distance running. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1990, 60:38-43.
- Paavolainen, L.; Häkkinen, K.; Hamalainen, I.; Nummela, A. y Rusko, H. Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *J Appl Physiol.* 1999, 86 (5):1527-1533.
- Rønnestad, B.R.; Hansen, E.A. y Raastad, T. Effect of heavy strength training on thigh muscle cross-sectional area, performance determinants, and performance in well-trained cyclists. *Eur J Appl Physiol.* 2010, 108 (5):965-975.
- Sandbakk, O.; Ettema, G.; Leirdal, S.; Jakobsen, V. y Holmberg, H.C. Analysis of a sprint ski race and associated laboratory determinants of world-class performance. *Eur J Appl Physiol.* 2011, 111 (6):947-957.

## DIAGNÓSTICO, TRATAMIENTO Y PREVENCIÓN DEL SÍNDROME DE SOBREENENTRENAMIENTO

**Esteban Gorostiaga Ayestarán**

Centro de Estudios, Investigación y Medicina del Deporte  
Gobierno de Navarra  
egorosta@navarra.es

## RESUMEN

El Colegio Europeo de Ciencias del Deporte define el sobreentrenamiento (o “síndrome no explicado de empeoramiento de la marca deportiva”) como “la acumulación de estrés debido al *entrenamiento* y aspectos de *fuera del entrenamiento* que resulta en una *disminución temporal de la marca* con o sin síntomas y signos de mala adaptación”. Este estado del deportista es bastante frecuente y su clasificación está definida por la duración de la disminución de la marca que puede oscilar entre menos de 2 semanas (denominado “Sobrecarga funcional”), de 2

semanas a 1 año (denominado “Sobrecarga no funcional”) o más de un año (denominado “Síndrome de sobreentrenamiento”).

Se desconocen los mecanismos por los que se produce el sobreentrenamiento. Algunos autores que han estudiado esta cuestión en deportistas de fondo sugieren que podría estar relacionado con componentes metabólicos (depleción de glucógeno o de fosfágenos musculares, deficiencias en aminoácidos, etc.) o con una sollicitación elevada (en la fase de Sobrecarga funcional y no funcional), seguida posteriormente de una disfunción e inhibición (fase de Síndrome de sobreentrenamiento) del sistema neuroendocrino, especialmente, del eje hipotálamo-hipofisario adrenal y del sistema nervioso simpático.

Los trabajos realizados con deportistas que entrenan fuerza de modo intenso y frecuente han estudiado los efectos del aumento brusco de la frecuencia e intensidad de entrenamiento pero solamente durante dos semanas, utilizando cargas del 85 al 100% de la fuerza máxima. A pesar de ello, en dichos estudios se ha encontrado que tras aumentar la frecuencia e intensidad del entrenamiento, se observó un descenso de la fuerza máxima, un aumento de la excreción urinaria nocturna de catecolaminas y un descenso de la densidad de receptores beta-adrenérgicos de la membrana muscular que podría ser compatible con un estado de Sobrecarga no funcional.

Para intentar diagnosticar este síndrome se recomienda hacer un buen interrogatorio deportivo y psicológico, eliminar la presencia de otras enfermedades que puedan favorecer la aparición de fatiga y realizar dos veces una prueba progresiva llevada hasta el agotamiento, con una separación de 4 horas entre las dos pruebas. En general, los sujetos que tienen un Síndrome de sobreentrenamiento suelen presentar valores sanguíneos muy inferiores de las hormonas ACTH, de cortisol y de la concentración sanguínea de lactato al final de la segunda prueba, comparado con el final de la primera prueba. Esta diferencia no se observa en sujetos no fatigados ni en los que presentan una Sobrecarga funcional o no funcional. El tratamiento consiste en reposo de 3 a 5 semanas seguido de un entrenamiento de baja frecuencia e intensidad que se debe aumentar muy progresivamente. Para prevenir estos estados de empeoramiento de la marca se recomienda llevar a cabo un control estricto del entrenamiento y de lo que rodea al deportista que permita evitar esta situación o corregirla lo antes posible.

**PALABRAS CLAVE:** fatiga, sobreentrenamiento, catecolaminas, ACTH.

## GUIÓN DE LA INTERVENCIÓN

1. Introducción
2. Definición
3. ¿Por qué se produce?
4. Sobreentrenamiento y fuerza
5. Diagnóstico
6. Tratamiento y prevención
7. Conclusión

## BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

- Barron, J.L.; Noakes, T.D.; Levy, W. y Millar, R.P. Hypothalamic dysfunction in overtrained athletes. *J. Clin. Endocr. Metab.* 1985. 60 (4):803-806.
- Fry, C.; Kraemer, W.J.; Van Borselen, F.; Lynch, J.M.; Marsit, J.L.; Pierre Roy, E.; Tripplett, N.T. y Knuttgen, H.G. Performance decrements with high-intensity resistance exercise overtraining. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1994. 26 (9):1165-1173.
- Fry, C.; Schilling, B.K.; Weiss y Chiu, L.Z. Beta2-Adrenergic receptor downregulation and performance decrements during high-intensity resistance exercise overtraining. *J. Appl. Physiol.* 2006. 101 (6):1664-1672.
- Lehmann, M.; Foster, C.; Dickhuth, H.H. y Gastmann, U. Autonomic imbalance hypothesis and overtraining syndrome. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1998. 30 (7):1140-1145.
- Meeusen, R.; Duckos, M.; Gleeson, M.; Rietjens, C.; Steinacker, J. y Urhausen, A. Prevention, diagnosis and treatment of the overtraining syndrome. ECSS Position Statement "task Force". *Eur. J. Sport Sci.* 2006. 6:1-14.
- Meeusen, R.; Nederhof, E.; Buyse, L.; Roelands, B.; De Schutter, G. y Piacentini, M.F. Diagnosing overtraining in athletes using the two-bout exercise protocol. *Br. J. Sports Med.* 2010. 44 (9):642-648.

## SUPLEMENTACIÓN PROTEICA Y ENTRENAMIENTO DE FUERZA

**José Antonio López Calbet**  
Departamento de Educación Física  
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

### RESUMEN

En esta conferencia analizaremos los principales mecanismos hormonales y nutricionales de los que depende la respuesta hipertrófica al entrenamiento de fuerza. Durante la sesión de entrenamiento la demanda energética aumenta de forma considerable. Los sustratos metabólicos mayormente responsables del suministro de energía durante las sesiones de entrenamiento de fuerza son los fosfágenos (PCr y ATP) y el glucógeno muscular. En las fases de descanso entre series se produce resíntesis de fosfocreatina a expensas de la oxidación de hidratos de carbono y grasas. Por lo tanto la oxidación de aminoácidos es mínima durante las sesiones de entrenamiento. No obstante, el entrenamiento de fuerza aumenta las necesidades de proteínas por dos razones principales: 1) para reparar proteínas que hayan podido resultar dañadas por el estrés mecánico o por el estrés oxidativo, y 2) para posibilitar la síntesis de proteínas y la hipertrofia de las fibras musculares.

Uno de los acontecimientos inmediatos que tiene lugar durante las contracciones musculares de alta intensidad y demanda metabólica (como las que se dan durante el entrenamiento de fuerza) es la activación (por fosforilación) de la enzima AMPK (proteína quinasa activada por adenosinmonofosfato). La AMPK actúa inhibiendo la síntesis de proteínas. Además, las modificaciones del entorno hormonal desencadenadas por el esfuerzo, que a su vez están relacionadas con la disponibilidad de sustratos metabólicos, con el estrés asociado al ejercicio y con el grado de entrenamiento del sujeto, también van a influir en la respuesta catabólica al ejercicio.

El músculo esquelético puede oxidar aminoácidos de forma directa y de forma indirecta, debido a la activación de la gluconeogénesis durante el ejercicio prolongado, que es mantenida en parte a partir de la transformación de aminoácidos gluconeogénicos en glucosa. La activación de la gluconeogénesis hepática sólo es necesaria si el ejercicio se realiza cuando las reservas hepáticas de glucógeno están bajas, o sea, en ayunas o tras sesiones prolongadas de ejercicio de resistencia. Los sustratos gluconeogénicos más importantes son el lactato y los aminoácidos, especialmente la alanina y la glutamina, así como los aminoácidos de cadena ramificada (AACR: leucina, isoleucina y valina). Las fuentes principales de aminoácidos para la gluconeogénesis hepática durante el ejercicio son dos, las propias proteínas hepáticas y los aminoácidos plasmáticos. La cantidad de aminoácidos disponible en el plasma en forma libre es escasa y depende del balance que se establece entre la síntesis y la degradación de proteínas en los tejidos. Durante el ejercicio se produce un aumento de la degradación de proteínas y una disminución de la síntesis de proteínas, especialmente en el músculo, en el hígado y en las células intestinales. La disminución de la síntesis de proteínas, tanto en el hígado como en el músculo, es más acusada cuanto mayor es la intensidad y la duración del esfuerzo.

La degradación de proteínas contráctiles está inhibida durante el ejercicio y parece aumentar durante la recuperación, especialmente después de ejercicios en los que han intervenido contracciones musculares excéntricas. No obstante, durante las 48 horas siguientes a una sesión de entrenamiento de fuerza la síntesis de proteínas está aumentada, pero para conseguir que se produzca hipertrofia (es decir, aumento neto de la masa proteica) es necesario que se aporten proteínas en la dieta (ricas en aminoácidos esenciales), después de la sesión de entrenamiento. En otras palabras, sin aporte nutricional de proteínas no puede haber hipertrofia muscular.

Al finalizar la sesión de entrenamiento de fuerza, el balance hormonal es más catabólico que anabólico debido principalmente al aumento del cortisol circulante y de las catecolaminas. Este estado puede ser convertido más fácilmente en anabólico si se induce un aumento de la concentración plasmática de insulina. Esto último se puede conseguir fácilmente ingiriendo alimento después de la sesión de entrenamiento. La combinación que se ha mostrado más eficaz es aquella que combina proteínas e hidratos de carbono, en una proporción parecida a la que se da en la leche. Además, los aminoácidos, especialmente la fenilalanina y los tres aminoácidos de cadena

ramificada (leucina, valina e isoleucina), tienen un efecto directo estimulante de la síntesis de proteínas en el músculo esquelético.

La ingestión de proteínas (en forma completa o como hidrolizado peptídico), conjuntamente con hidratos de carbono, parece de momento la combinación ideal para acelerar la recuperación. Estos aminoácidos permiten reponer antes las pérdidas que se producen durante el ejercicio aeróbico prolongado y facilitan el proceso de hipertrofia muscular después de las sesiones de entrenamiento de fuerza. Se desconoce aún cuál es la combinación ideal de aminoácidos. Tampoco se sabe en qué proporción exactamente deben combinarse las proteínas (o hidrolizados peptídicos) con los hidratos de carbono, ni cuál es la dosis ideal. Tampoco se sabe cuál es el momento ideal ni con qué dosificación se deben ingerir los suplementos nutricionales para maximizar su efecto anabólico. No obstante, los pocos datos experimentales existentes indican que se podrían conseguir mejores efectos si los suplementos se ingieren justo antes y/o durante las dos o tres primeras horas siguientes a la sesión de entrenamiento.

Las proteínas actúan de forma aditiva amplificando los efectos de la sesión de entrenamiento. Recientemente se han podido dilucidar algunos de los mecanismos moleculares responsables de este efecto aditivo de la ingestión de proteínas, especialmente la activación de la vía Akt/mTor/ p70S6k.

**PALABRAS CLAVE:** hipertrofia, fuerza, aminoácidos, proteínas, Akt, mTor

## BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

- ANDERSEN, L.L.; TUFEKOVIC, G.; ZEBIS, M.K.; CRAMERI, R.M.; VERLAAN, G.; KJAER, M.; SUETTA, C.; MAGNUSSON, P. y AAGAARD, P. The effect of resistance training combined with timed ingestion of protein on muscle fiber size and muscle strength. *Metabolism*. 2005, 54, 151-156
- APRO, W. y BLOMSTRAND, E. Influence of supplementation with branched-chain amino acids in combination with resistance exercise on p70s6 kinase phosphorylation in resting and exercising human skeletal muscle. *Acta Physiol (Oxf)*. 2010, 200, 237-248
- COOKE, M.B.; RYBALKA, E.; STATHIS, C.G.; CRIBB, P.J. y HAYES, A. Whey protein isolate attenuates strength decline after eccentrically-induced muscle damage in healthy individuals. *J Int Soc Sports Nutr*. 2010, 7, 30
- CRIBB, P.J. y HAYES, A. Effects of supplement timing and resistance exercise on skeletal muscle hypertrophy. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2006, 38, 1918-1925
- CRIBB, P.J.; WILLIAMS, A.D.; STATHIS, C.G.; CAREY, M.F. y HAYES, A. Effects of whey isolate, creatine, and resistance training on muscle hypertrophy. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2007, 39, 298-307
- ESMARCK, B.; ANDERSEN, J.L.; OLSEN, S.; RICHTER, E.A.; MIZUNO, M. y KJAER, M. Timing of postexercise protein intake is important for muscle hypertrophy with resistance training in elderly humans. *Journal of Physiology*. 2001, 535, 301-311.
- HARTMAN, J.W.; TANG, J.E.; WILKINSON, S.B.; TARNOPOLSKY, M.A.; LAWRENCE, R.L.; FULLERTON, A.V. y PHILLIPS, S.M. Consumption of fat-free fluid milk after resistance exercise promotes greater lean mass accretion than does consumption of soy or carbohydrate in young, novice, male weightlifters. *American Journal of Clinical Nutrition*. 2007, 86, 373-381
- HULMI, J.J.; KOVANEN, V.; SELANNE, H.; KRAEMER, W.J.; HAKKINEN, K. y MERO, A.A. Acute and long-term effects of resistance exercise with or without protein ingestion on muscle hypertrophy and gene expression. *Amino Acids*. 2009, 37, 297-308
- MOORE, D.R.; DEL BEL, N.C.; NIZI, K.I.; HARTMAN, J.W.; TANG, J.E.; ARMSTRONG, D. y PHILLIPS, S.M. Resistance training reduces fasted- and fed-state leucine turnover and increases dietary nitrogen retention in previously untrained young men. *J Nutr*. 2007, 137, 985-991
- PHILLIPS, S.M. Physiologic and molecular bases of muscle hypertrophy and atrophy: Impact of resistance exercise on human skeletal muscle (protein and exercise dose effects). *Applied Physiology Nutrition and Metabolism*. 2009, 34, 403-410