PubliCE, (PubliCE) 1999

Monograph

Adaptación Neuromuscular al Entrenamiento de la Fuerza en Hombres y Mujeres

Keijo Häkkinen[1]

[1]*Department of Biology of Physical Activity and Neuromuscular Research Center, University of Jyväskylä, Jyväskylä, Finlandia 40014.*

Palabras Clave: hipertrofia muscular, desentrenamiento de la fuerza

INTRODUCCION

El principio básico del entrenamiento de la fuerza - el denominado principio de sobrecarga - fue referido en la literatura científica ya desde los últimos años del siglo XIX, y definido más en detalle en la década de 1950. La fuerza muscular en hombres y mujeres sanos, previamente desentrenados, puede aumentar suponiendo que las cargas de entrenamiento exceden suficientemente las actividades normales diarias de un músculo en particular. Es una observación común que la mayor parte del aumento de fuerza durante las semanas iniciales de entrenamiento de sobrecarga podría deberse a las adaptaciones en los caminos neurológicos facilitatorios y /o inhibitorios que actúan a distintos niveles en el sistema nervioso (Moritani & DeVries 1979, Komi 1986, Sale 1991, Häkkinen 1994). Aunque las formas reales de adaptaciones neurológicas son difíciles de revelar, el entrenamiento de la fuerza produce cambios en la cantidad y calidad de activación de manera que: 1) aumenta al activación de los agonistas y / o existe, 2) una reducción en la co-activación de los antagonistas y/o, 3) una mejor co-activación de los sinergistas. También está bien documentado que el aumento gradual de la hipertrofia muscular inducida por el entrenamiento contribuye al desarrollo de la fuerza a medida que avanza el entrenamiento intenso de resistencia (Figura 1).

Efectos del entrenamiento de la fuerza y la potencia sobre el sistema neuromuscular

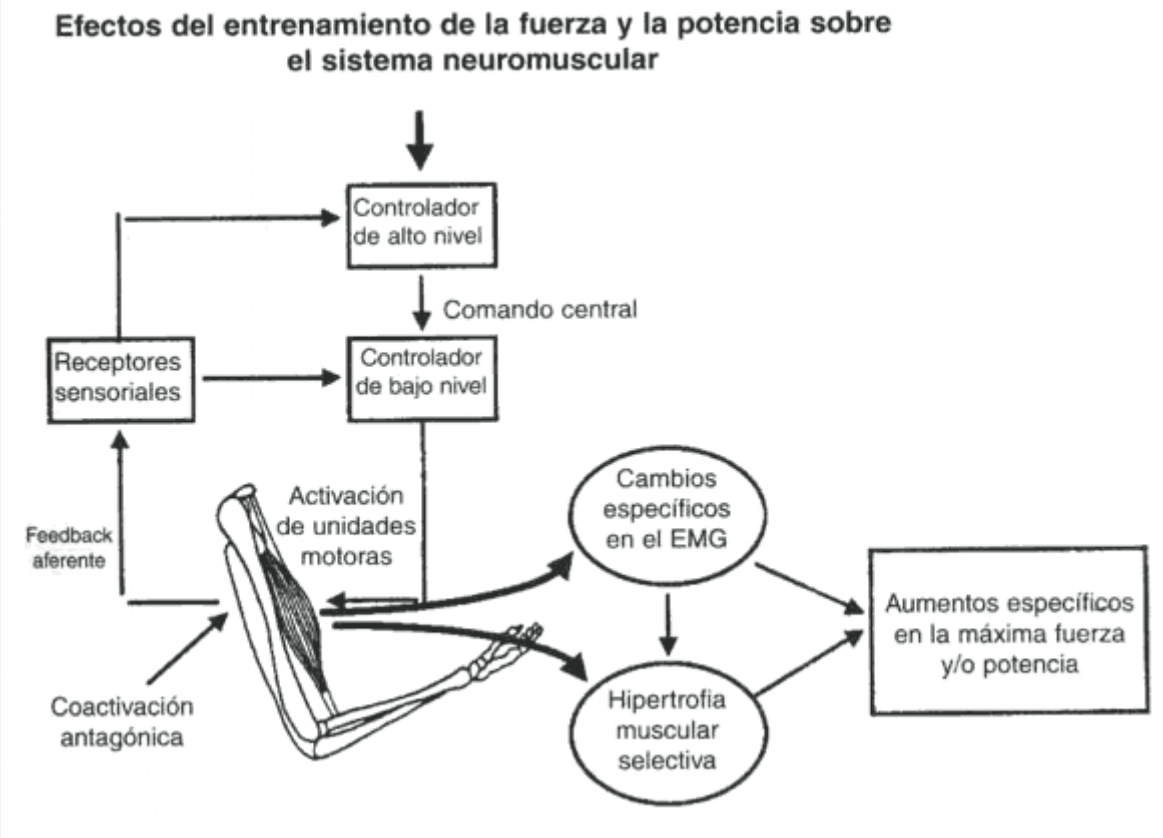

Figura 1. *Resumen esquemático de las adaptaciones del sistema neuromuscular al entrenamiento (Häkkinen 1994).*

CAMBIOS INDUCIDOS POR EL ENTRENAMIENTO EN LA ACTIVACION DE LOS MUSCULOS ENTRENADOS

Sin duda, un fenómeno deseable es el aumento en la Electromiografía (EMG) máxima de los agonistas, inducido por el entrenamiento,. La magnitud del incremento en la EMG puede ser muy grande, tanto en hombres (Figura 2) como en mujeres (Figura 3), quienes no han tenido experiencia previa en el entrenamiento intenso en resistencia a la fuerza. Por lo tanto, el desarrollo de la fuerza durante el entrenamiento de sobrecarga de a1gunas semanas y / o algunos meses, normalmente, tiene lugar en un mismo grado en hombres y mujeres. El aumento en la EMG está relacionado con la intensidad (% del máximo) de la carga, pero también con los tipos de acción utilizados en el entrenamiento y la evaluación. Si bien la EMG es una señal complicada y representa solamente un promedio de la máxima activación neurológica del músculo, el incremento en la cantidad de la EMG sugiere que el número de unidades motoras reclutadas ha aumentado y / o que las unidades motoras se están reclutando a tasas más altas, o que se está desarrollando alguna combinación de estas dos acciones (Sale 1991).

Es razonable suponer que la máxima EMG aumentaría, luego de un gran incremento inicial, y solo a una tasa menor durante los meses o años posteriores de entrenamiento. Sorprendentemente, los cambios en la EMG inducidos por el entrenamiento, especialmente en sujetos previamente desentrenados, pueden ser también indicadores importantes de la especificidad del entrenamiento. Los incrementos en la EMG máxima registrados durante las acciones bilaterales han ocurrido, en mayor grado, en sujetos entrenados bilateralmente que unilateralmente, mientras que los incrementos en la EMG unilateral fueron grandes tanto para la pierna derecha como para la pierna izquierda, en sujetos entrenados unilateralmente (Häkkinen y cols 1996). Esto sugiere que la especificidad entre los aumentos de fuerza bilateral y unilateral parece tener una base neurológica. Estas observaciones deberían tener también alguna relevancia práctica para optimizar el entrenamiento.

Además de la mayor activación agonista, el entrenamiento de sobrecarga puede producir disminuciones en la co-activación de los antagonistas, especialmente en sujetos previamente desentrenados (Carolan & Cafarelli 1992). Esto mejorara la

producción neta de fuerza de los agonistas. Es difícil de interpretar hasta que grado la menor co-activación de los antagonistas está mediada por mecanismos en el sistema nervioso central, y está asociada también con un control neurológico periférico. La magnitud y el transcurso de los cambios en la co-activación antagonista podrían estar relacionados con los ejercicios utilizados en el entrenamiento, y con el estado físico inicial de los sujetos, en términos de capacidades o destrezas, y en experiencia en el entrenamiento.

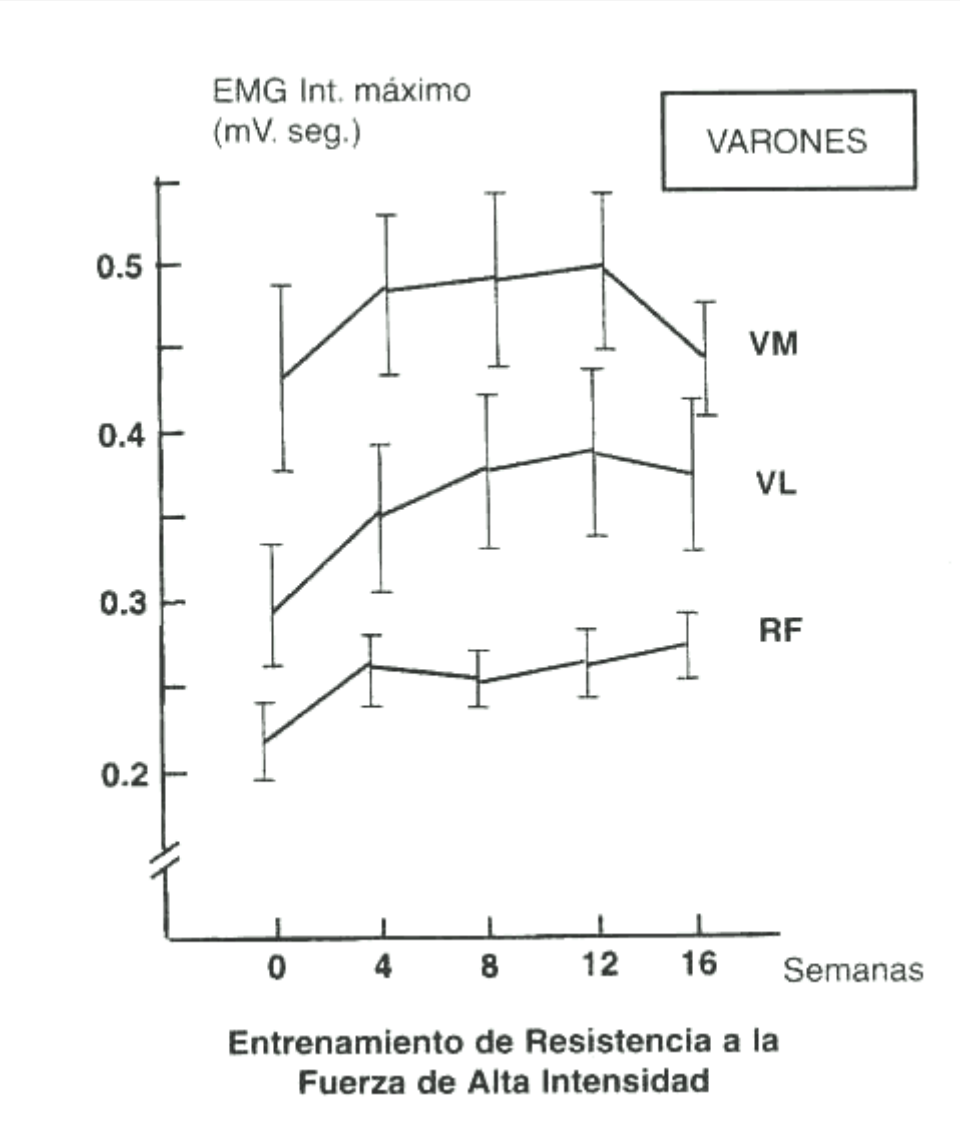

Figura 2. *Activación voluntaria máxima durante el entrenamiento de fuerza, en hombres (Häkkinen & Komi 1983)*

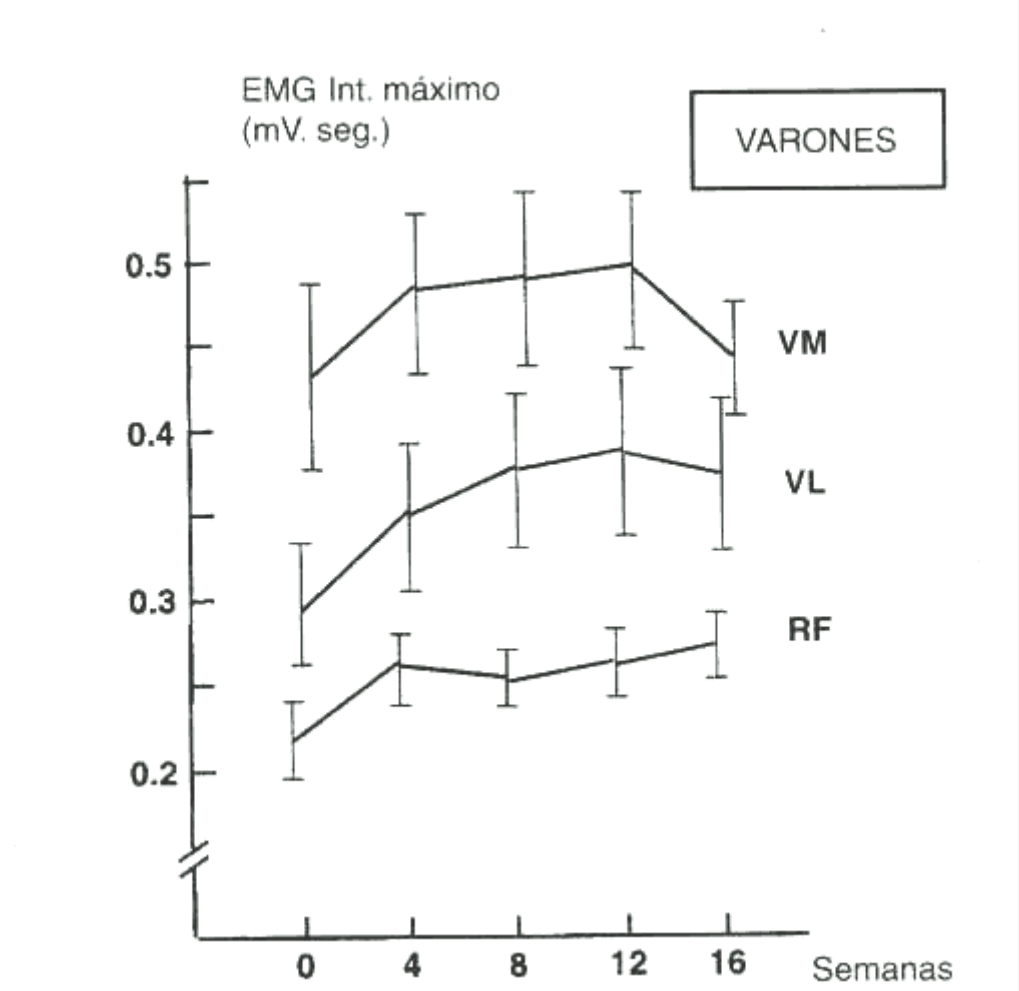

Figura 3. *Activación voluntaria máxima durante el entrenamiento de fuerza, en mujeres (Häkkinen 1994).*

HIPERTROFIA MUSCULAR DURANTE EL ENTRENAMIENTO DE LA FUERZA

Está bien documentado que el aumento gradual de la hipertrofia muscular, tanto en hombres como en mujeres (Figura 4), contribuye al desarrollo de la fuerza a medida que avanza el entrenamiento intenso de sobrecarga. El incremento en el área transversal del músculo durante el entrenamiento de sobrecarga deriva principalmente del aumento en el tamaño de las fibras musculares individuales, tanto rápidas como lentas, y en algún porcentaje del aumento en el tejido conectivo no contráctil entre las fibras, probablemente sin un aumento en el número de fibras (McDougall 1991). Si bien podría producirse una conversión de las sub-unidades de fibras rápidas, es poco probable que el entrenamiento de la fuerza altere las proporciones de los dos tipos principales de fibras musculares (McDougall 1991). Un requisito para generar hipertrofia inducida por el entrenamiento es la alta tensión de un músculo durante un período suficiente de tiempo, el cual brinde de alguna manera, la señal para un mayor consumo de aminoácidos y mayor síntesis de proteínas contráctiles. En segundo lugar, el proceso repetido de daño y reparación durante y entre las sesiones de entrenamiento podría producir un exceso en la síntesis de proteínas (McDougall 1991).

El último grado de hipertrofia puede obtenerse utilizando cargas pesadas pero submáximas (por ejemplo 60 - 80 % de 1 RM), y realizando múltiples repeticiones (6-12) en cada serie hasta el agotamiento concéntrico (con un corto período de recuperación entre las series) (Häkkinen 1994). La hipertrofia muscular también podría ser no uniforme con respecto a la forma del músculo y entre los componentes individuales del grupo muscular (Narici y cols 1989). Los niveles plasmáticos básicos de hormonas endógenas anabólicas y / o catabólicas, normalmente, permanecen dentro del rango fisiológico normal durante el entrenamiento de fuerza de algunas semanas o meses. Sin embargo, debido a las diferencias hormonales básicas entre hombres y mujeres, el nivel final de hipertrofia muscular y el desarrollo de la fuerza será menor en las

mujeres que en los hombres durante un entrenamiento prolongado de fuerza de varios meses y / o años de duración (Häkkinen 1994).

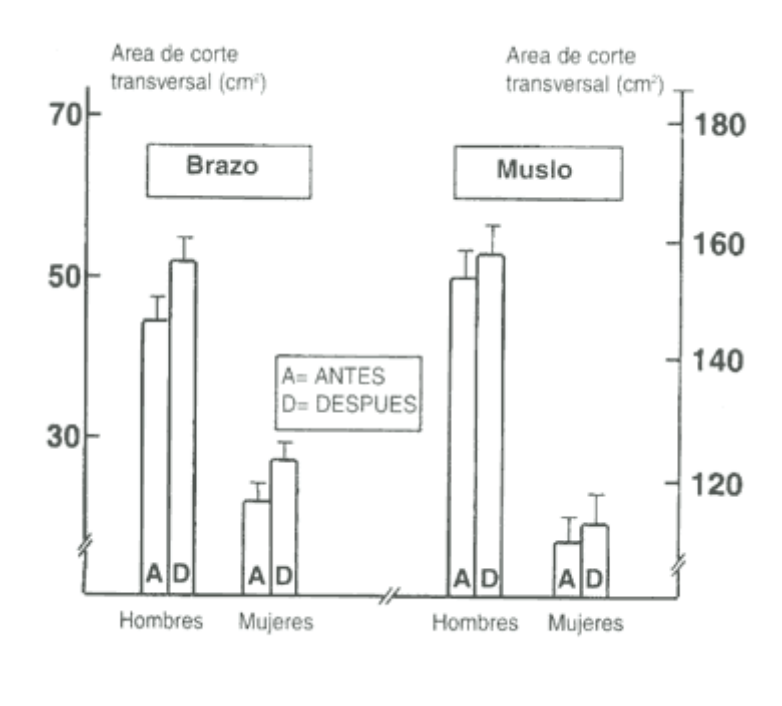

Figura 4. *Áreas de corte transversal del músculo, antes y después del entrenamiento (Cureton y cols 1988)*

ESPECIFICIDAD DEL ENTRENAMIENTO

Un aspecto importante, tanto desde el punto de vista científico como práctico, es la especificidad del entrenamiento. Se ha demostrado que el tipo de acción muscular utilizada en el entrenamiento de la fuerza y en la evaluación podrían estar interrelacionadas. Por ejemplo, el entrenamiento dinámico de fuerza (concéntrico y / o excéntrico) es efectivo para aumentar la fuerza dinámica, pero el incremento de la fuerza isométrica sigue siendo menor. Por el contrario, el entrenamiento isométrico de fuerza, puede producir un gran incremento en la fuerza isométrica, pero no tanto en la fuerza dinámica (Figura 5). En segundo lugar, el entrenamiento isométrico también tiende a producir desarrollos de fuerza específicos al ángulo de la articulación. En tercer término, la conclusión de la especificidad tiende a aplicarse a otros «sub-tipos» de entrenamiento tales como « isocinético» (contracciones a velocidad constante) y / o «de resistencia variable» (modificaciones específicas de las curvas de fuerza / ángulo articular). En cuarto lugar, el entrenamiento intenso típico de resistencia a la fuerza, que utiliza altas cargas con velocidades lentas de acción (movimiento), tiende a producir aumentos principalmente en las porciones de fuerza elevada en las curvas de fuerza concéntrica-velocidad, y de fuerza isométrica-tiempo, mientras que los cambios son gradualmente menores en el final de velocidad elevada de la curva, así como en las primeras partes de la curva fuerza-tiempo (Figura 6) (Häkkinen 1994). El entrenamiento de resistencia explosiva que utiliza cargas inferiores, pero velocidades de movimiento elevadas (o hasta máximas), produce aumentos en todas las porciones de fuerza de las curvas fuerza-velocidad y fuerza-tiempo, pero los cambios en las porciones de elevada fuerza son menores que durante el entrenamiento típico de resistencia. Las adaptaciones en la fuerza explosiva inducidas por el entrenamiento en la activación neurológica de los músculos entrenados pueden observarse durante ejercicios concéntricos de alta velocidad, en las primeras porciones de la curva intensidad EMG-tiempo de la acción isométrica, así como en distintos ejercicios de ciclo elongación-acortamiento (Figura7) (Häkkinen 1994). De cualquier manera, las adaptaciones neurológicas inducidas por el entrenamiento de resistencia explosiva, en gran parte, son responsables de los resultados experimentales de grandes desarrollos de fuerza explosiva asociados con una pequeña hipertrofia muscular (Figura 8) (Komi y cols 1982, Häkkinen 1994).

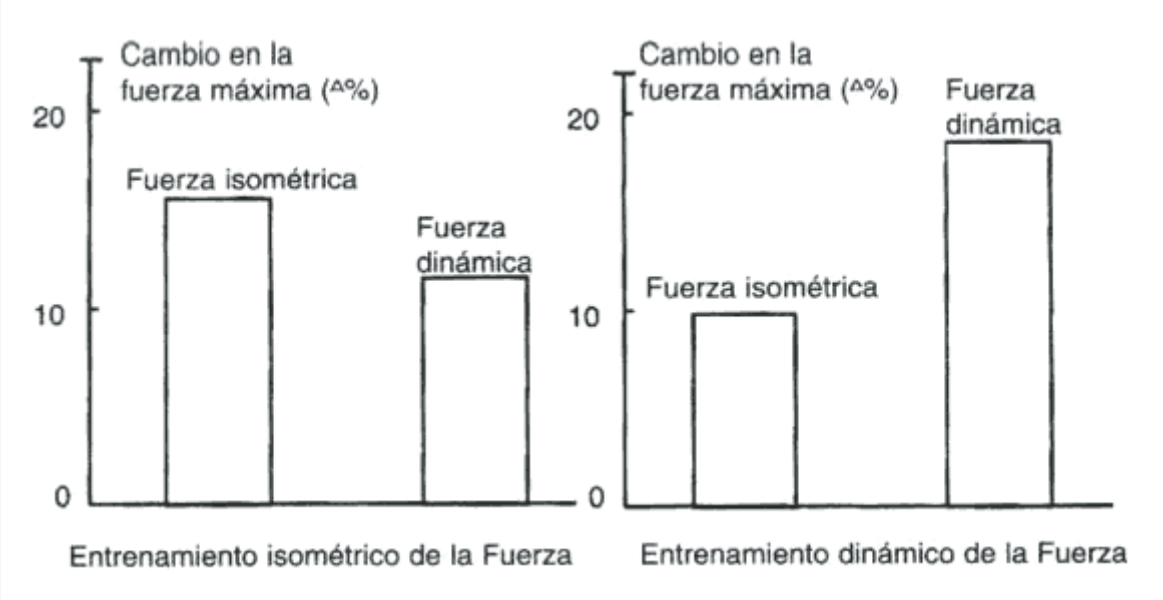

Figura 5. *Cambios relativos en la fuerza después del entrenamiento de fuerza (modificado de Brunner 1967).*

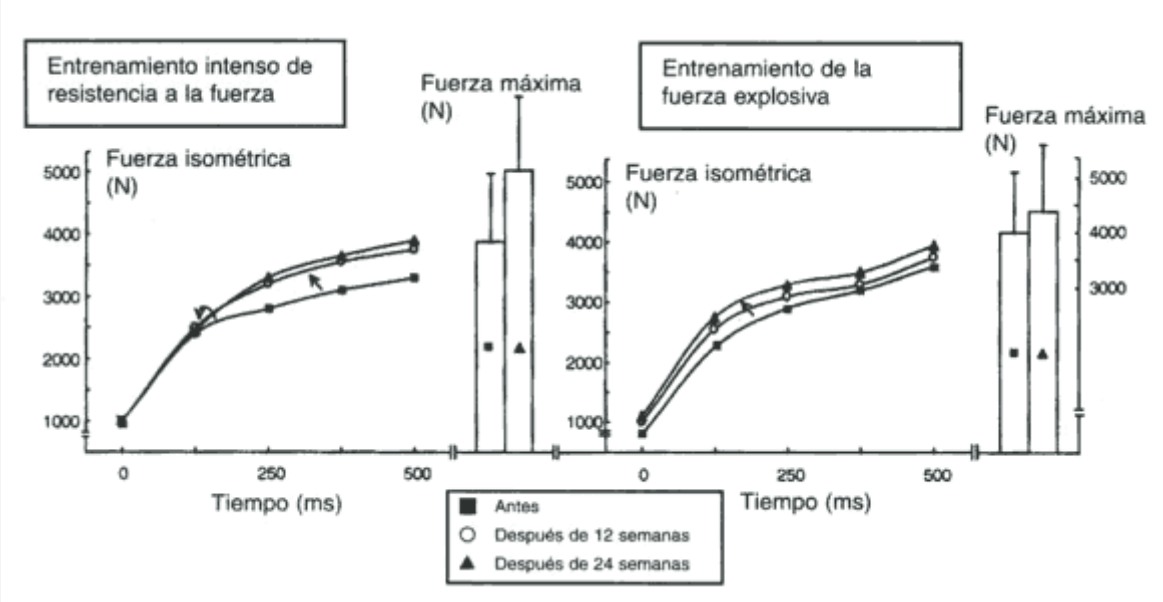

Figura 6. *Curvas fuerza-tiempo de los músculos extensores de la pierna, antes y después del entrenamiento (Häkkinen 1994).*

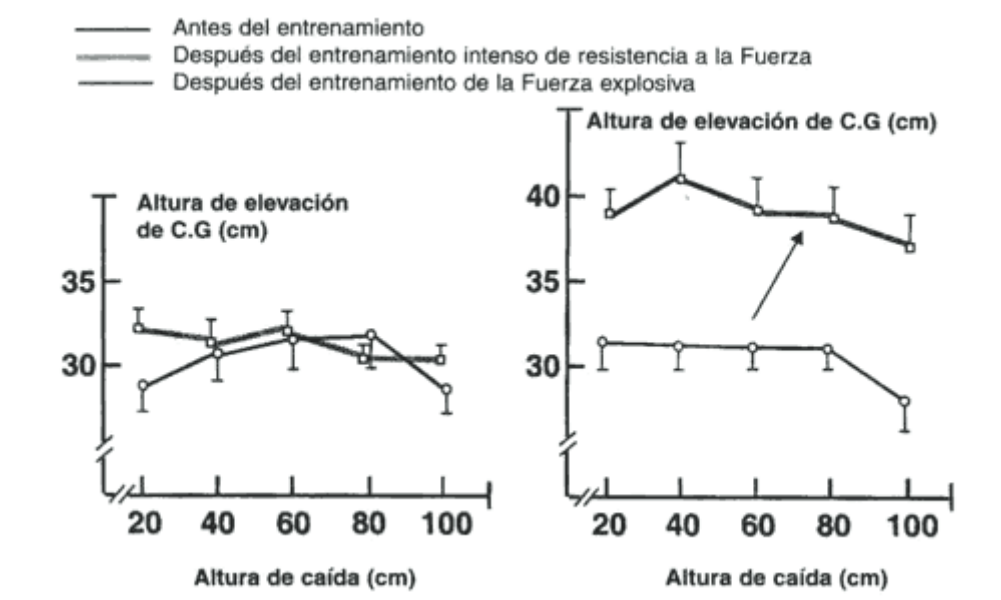

Figura 7. *Alturas de salto vertical en los saltos en caída, antes y después del entrenamiento (Häkkinen 1994).*

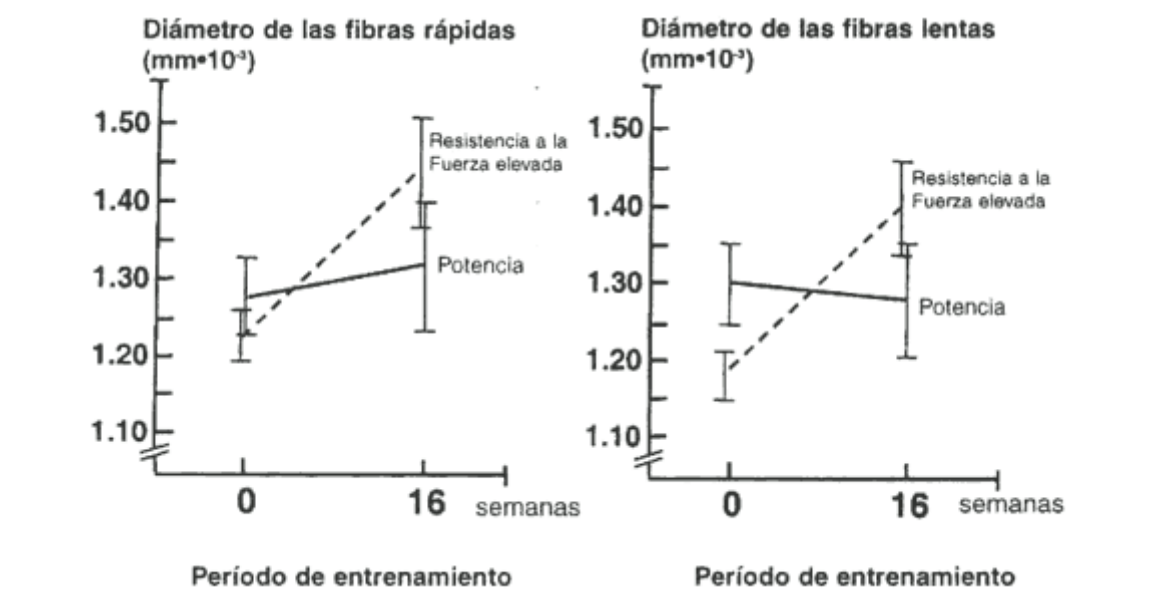

Figura 8. *Superficie de las fibras musculares, antes y después del entrenamiento (Komi y cols 1982).*

EL DESENTRENAMIENTO

El desentrenamiento posterior al entrenamiento de la fuerza lleva cambios adaptativos en el sistema neuromuscular que van en dirección opuesta a aquéllos resultantes del entrenamiento. La magnitud y el tiempo de las adaptaciones neuromusculares durante el desentrenamiento están influenciados por la cantidad de intensidad del entrenamiento de sobrecarga precedente, la cantidad y tipos de actividades físicas utilizadas durante el desentrenamiento, y la longitud del período de desentrenamiento (Narici y cols 1989, Häkkinen 1994). De cualquier manera, el desentrenamiento produce una disminución en la activación neurológica voluntaria máxima de los músculos desentrenados (Figura 9).

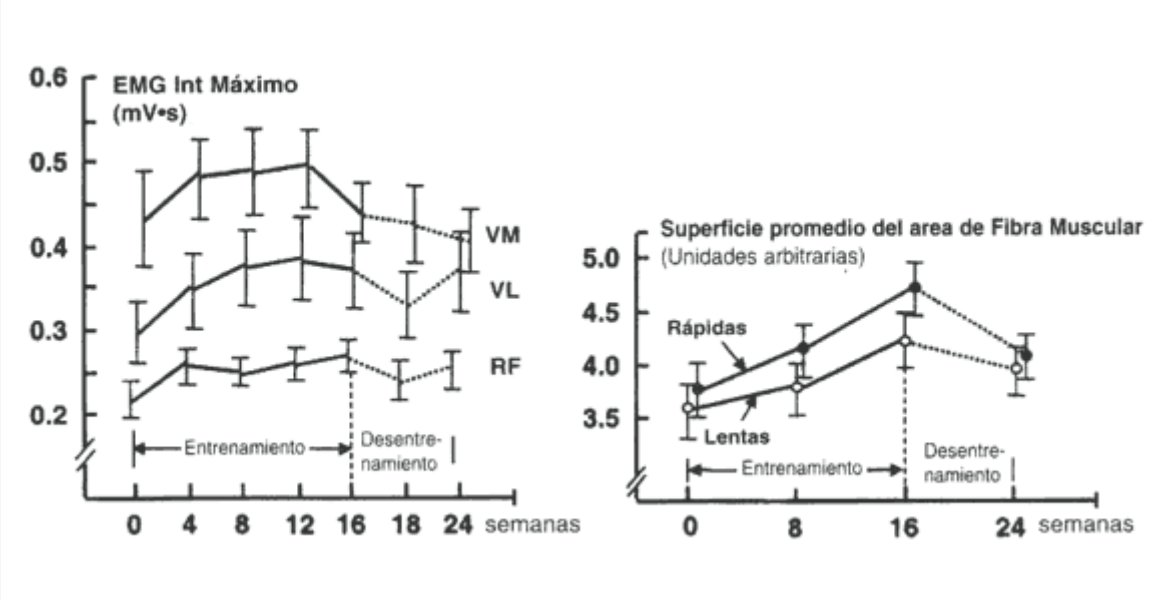

Figura 9. *Activación voluntaria máxima y áreas de superficies de las fibras musculares, durante el entrenamiento de fuerza y el desentrenamiento, en hombres ((Häkkinen 1994).*

Figura 10. *Fuerza máxima durante el entrenamiento de fuerza y el desentrenamiento, en hombres (Häkkinen 1994).*

Además, las disminuciones observadas en las superficies de las fibras musculares de ambos tipos durante el desentrenamiento (Figura 9) son claros indicadores de la atrofia muscular debido a la finalización del entrenamiento de sobrecarga. Al comienzo, el desentrenamiento podría producir una reducción en la activación voluntaria máxima de los músculos desentrenados, mientras que de allí en más la atrofia muscular tiende a aumentar progresivamente durante un desentrenamiento prolongado. Estos dos cambios contribuyen, en gran parte, al hecho que se produzcan grandes disminuciones en la fuerza máxima de los músculos desentrenados (Figura 10).

REFERENCIAS

1. Carolan, B. & Cafarelli, E (1992). Adaptations in coactivation alter isometric training. *J. Appl. Physiol. 73: 911-917*
2. Cureton, K., Collins, M., Hill, D., Mcelhannon, F (1988). Muscle hypertrophy in men and women. *Med. Sci. Sports Excer. 4, 338-344*
3. Komi, P.V., Souminen, H., Heikkinen, E., Karlsson, J., and Tesch, P (1982). Effectsof heavy resistance and explosive-type strength tranining methods or mechanical, functional, and metabolic aspects of performance. *In: Exercise and Sport Biology; Komi, P.V., Nelson, R., Morehouse, C (eds). Human Kinetics, Cham, IL, 90-102*
4. Komi, P.V (1986). Training of muscle strength and power: interaction of neuromotoric, hypertrophic and mechanical factors. *Int. J. Sports Med. (Suppl) 7: 10-15*
5. MacDougall, J (1991). Hypertrophy or hyperplasia. *In: Strength and Power in Spors. The Encyclopedia of Sports Medicine, Komi, P.V. (ed). Blackwell, Oxford, Chapter 8B*
6. Moritani, T. & De Vries, H (1979). Neural factors versus hypertrophy in the time coursae of muscle strength gain. *Am. J. Phys. Med. 58: 115-130*
7. Narici, M., Roi, G., Landoni, L., Minetti, A. Ceretelli, P (1989). Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps. *Eur. J. Appl. Physiol. 59, 310-319*
8. Sale, D. G (1991). Neural adaptation to strength traning. *In: Strength and Power in Sports. The Encyclopedia of Sports Medicine, Komi, P.V. (ed), Lackwell, Oxford, Chapter 9A*

Cita Original

Häkkinen K. Adaptación Neuromuscular al Entrenamiento de la Fuerza en Hombres y Mujeres. Resúmenes del 1º Simposio Internacional de Fuerza y Potencia relacionadas con los Deportes, la actividad Física, el Fitness y la Rehabilitación. 2000.