



# **NUEVAS APROXIMACIONES A LAS ADAPTACIONES NERVIOSAS INDUCIDAS POR EL ENTRENAMIENTO DE FUERZA**

**Miguel Fernández del Olmo, Pedro Reimunde, Oscar Viana y Rafael Martín Acero**  
Instituto Nacional de Educación Física de Galicia

*Aunque es muy conocido que el sistema nervioso central responde adaptándose al entrenamiento de fuerza, y que esta depende en gran medida de estas adaptaciones nerviosas, la naturaleza y localización de las mismas no son bien entendidas por la dificultad inherente a su estudio. La aparición de nuevas técnicas neurofisiológicas está permitiendo interesantes aportaciones en el conocimiento del papel que el sistema nervioso juega en el entrenamiento de fuerza. Se presentan algunas de estas novedades.*

## INTRODUCCIÓN

Es bien conocido que el entrenamiento de fuerza produce cambios morfológicos y adaptaciones neurales (Enoka y Fyfe, 2001), sin embargo, las características y naturaleza de estas adaptaciones en el sistema nervioso central (SNC) no están, por el momento, bien definidas. La explicación comúnmente propuesta para la adaptación neural inducida por el ejercicio es que la mejora de fuerza es debido a cambios en el patrón de activación muscular (relación de músculos agonista-sinergista y agonista-antagonista) y un incremento tanto en la frecuencia de descarga como del número de motoneuronas que están siendo reclutadas (Hakkinen y Komi, 1983; Rutherford y Jones, 1986; Carolan y Carafelli, 1992; Zehr y Sale, 1994). Estos estudios sugieren que el entrenamiento de fuerza intensifica la descarga neural, entendiendo esta como el número de impulsos nerviosos que llegan al músculo, incrementando de

la fuerza que está desarrollando, es razonable asumir que no todas las unidades motoras están siendo activadas por el sujeto o bien que su frecuencia de descarga no es la máxima (Todd et al., 2003). Este es el principio en el que se basa la técnica denominada *interpolación de fibras* ("twitch interpolation") desarrollada por Merton en 1954. Esta técnica consiste en la imposición de un pulso eléctrico supramáximo durante una contracción isométrica del sujeto, lo que generalmente conlleva un incremento en la fuerza ejercida y nos permite, de ese modo, cuantificar la activación voluntaria, o, en otras palabras, la descarga neural (Gandevia et al., 1995). Por tanto la *interpolación de fibras* es una técnica muy útil para conocer las adaptaciones nerviosas al entrenamiento de la fuerza. Sin embargo, esta técnica no está exenta de ciertas limitaciones y consideraciones a tener en cuenta en el momento de aplicarla, pudiendo inducir a una interpretación errónea de los resultados (Shield et al., 2004).



Figura 1. Equipo de estimulación magnética transcranial (EMT).

este modo la fuerza ejercida. Un estudio reciente (Aagard et al., 2002), mostraba un incremento de la excitabilidad espinal (mediante pruebas neurofisiológicas tales como el reflejo *H* o la onda *V*) durante contracciones máximas después de 14 semanas de entrenamiento. Se ha propuesto que el número de unidades motoras reclutadas junto con la frecuencia de descarga podría limitar la contracción máxima voluntaria, es decir, la capacidad de un sujeto de producir la máxima fuerza voluntariamente (Yue et al., 2000; Todd et al., 2003). Otros estudios afirman que cualquier sujeto sano, independientemente de su edad o nivel de condición física, puede activar máximamente la mayoría de los músculos localizados en las extremidades (Belanger y McComas; Bellemare et al., 1983; De Serres y Enoka, 1998). Llegando a este punto, una pregunta muy sugerente será: ¿cómo medir esa máxima contracción voluntaria?, o, para ser más concretos, ¿cómo saber si la máxima contracción realizada por el sujeto es la máxima? Pensemos en la siguiente estrategia: cuando un sujeto está realizando una contracción isométrica voluntaria y, repentinamente, un estímulo proporcionado al sujeto produce un incremento en

## ESTIMULACIÓN MAGNÉTICA TRANSCRANEAL (EMT)

Una nueva herramienta (Figura 1), la estimulación magnética transcranial (EMT), puede contribuir a un mejor conocimiento de las adaptaciones que están teniendo en el sistema nervioso central en respuesta al entrenamiento de fuerza. La estimulación magnética transcranial (EMT) se basa en el principio de inducción electromagnética descubierto por Michael Faraday en 1838. De esta forma, cuando pulsos de corriente eléctrica, con la potencia y brevedad suficiente, pasan a través de una bobina situada sobre la cabeza de una persona, se generan pulsos magnéticos que penetran a través del cuero cabelludo y cráneo, llegando al cerebro sin apenas atenuación. Estos pulsos inducen una corriente iónica secundaria en el cerebro. La corriente producirá la estimulación de las fibras nerviosas, en el punto a través del cual se crea una corriente capaz de inducir una despolarización transmembrana (Figura 2). Esta técnica, aunque relativamente novedosa, esta teniendo mucho auge y resulta de gran aplicación en el ámbito de la neurología y/o fisiología. Sin embargo, su uso para el estudio de las adaptaciones nerviosas tras el entrenamiento de fuerza, es por el momento escaso. Tres trabajos recientes (Carroll et al., 2002; Jensen et al 2005; Fernandez del Olmo et al., 2006) han usado esta técnica para conocer las adaptaciones nerviosas tras el entrenamiento de fuerza.

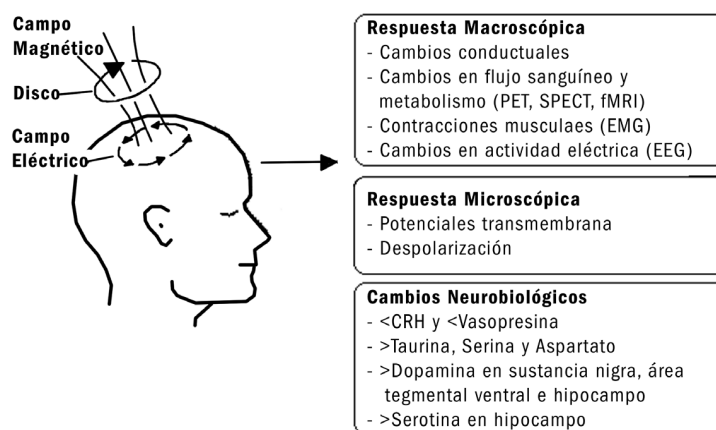
Carroll et al. (2002) usaban la EMT para investigar los cambios en la excitabilidad cortico-espinal sobre músculos de la mano, después de 4 semanas de entrenamiento de fuerza. Sus resultados mostraban que las adaptaciones nerviosas tenían más que ver con cambios en las propiedades de la médula espinal, que a nivel cortical.

Jensen et al. (2005) mostraban que, después de un entrenamiento de fuerza de 4 semanas del bíceps braquial, provocaba

**NUEVAS APROXIMACIONES A LAS ADAPTACIONES NERVIOSAS INDUCIDAS POR EL ENTRENAMIENTO DE FUERZA**

Fernández del Olmo, M.  
Reimunde, P.  
Viana, O.  
Martín Acero, R.  
Tomo XX • Nº 1

cambios a nivel cortical, y que estos cambios eran diferentes a los que acontecían cuando el entrenamiento de fuerza se combinaba con la realización de tareas más complejas. Estos dos trabajos son relevantes en cuanto permiten una aproximación mayor y más sensible a la adaptación del sistema nervioso después de un entrenamiento de fuerza.



**Figura 2.** Los pulsos magnéticos inducen una corriente iónica secundaria en el cerebro. Entre otros cambios, inducen a una respuesta de transmembrana.

**ADAPTACIONES NEURALES CRÓNICAS A LARGO PLAZO INDUCIDAS POR EL ENTRENAMIENTO DE FUERZA**

Nuestro grupo llevó a cabo un trabajo (Fernández del Olmo et al., 2006), con el fin de conocer si las adaptaciones nerviosas se mantienen en el tiempo, en sujetos adaptados al entrenamiento de fuerza, implicando un rol del SNC mas allá de los periodos iniciales de entrenamiento, o, si estas adaptaciones son temporales.

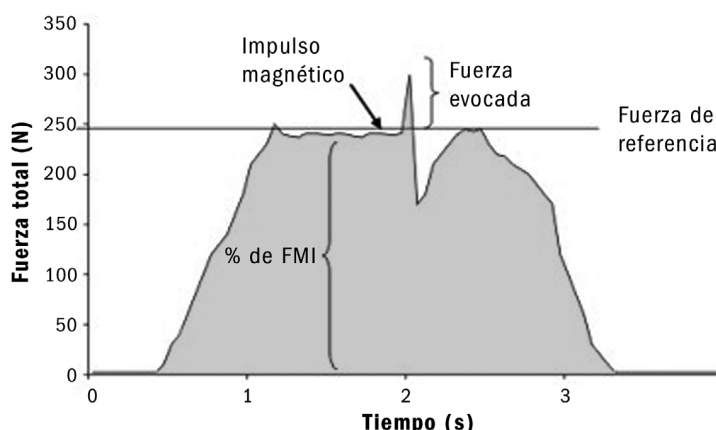
El propósito de este trabajo era examinar si la magnitud de la fuerza evocada sobre el bíceps braquial, en respuesta a un estímulo magnético transcranial, durante diferentes intensidades de contracción isométrica, era similar en un grupo de sujetos con años de experiencia en entrenamiento de fuerza (RT) y en otro grupo sin experiencia previa en dicho entrenamiento (NT). La idea era relativamente sencilla: en vez de utilizar la técnica de *interpolación de fibras*, utilizaríamos la EMT para conocer el incremento de fuerza que evocaría ese impulso magnético, permitiéndonos medir la activación voluntaria y, por tanto, la descarga neural.

Aunque no es el objetivo de esta comunicación profundizar sobre las diferencias entre ambas técnicas, se deberá tener presente que la EMT se aplica directamente sobre el cuero cabelludo del sujeto, mientras que la *interpolación de fibras* lo hace directamente sobre el músculo. En nuestro estudio el impulso magnético se aplicaba sobre el área motora primaria, en la cual el bíceps esta representado (recordemos que la corteza motora tiene una representación de todos nuestros músculos –Homúnculo de Penfield). Esta diferencia,

entre la *interpolación de fibras* y la EMT, es fundamental, ya que permite evitar ciertas limitaciones que presenta el aplicar un estímulo eléctrico sobre el músculo. El procedimiento del estudio consistió en solicitar a los sujetos que, tras calcular la fuerza isométrica máxima (FIM) del bíceps braquial, mantuvieran intensidades de contracción isométrica desde el 10% al 90% (en intervalos del 10%) de la FIM. En el momento que el sujeto alcanzaba la intensidad deseada se le aplicaba el impulso magnético registrándose el incremento de fuerza que acontecía (Figura 3).

Prescindiendo de las variables neurofisiológicas registradas en este estudio, se muestra el incremento de fuerza en el grupo de sujetos entrenados en fuerza (RT), y en los no entrenados (NT), a lo largo de las diferentes intensidades realizadas (porcentajes de su fuerza isométrica máxima registrada).

El análisis estadístico mostró una fuerza evocada significativamente menor en los sujetos entrenados entre el 30 y



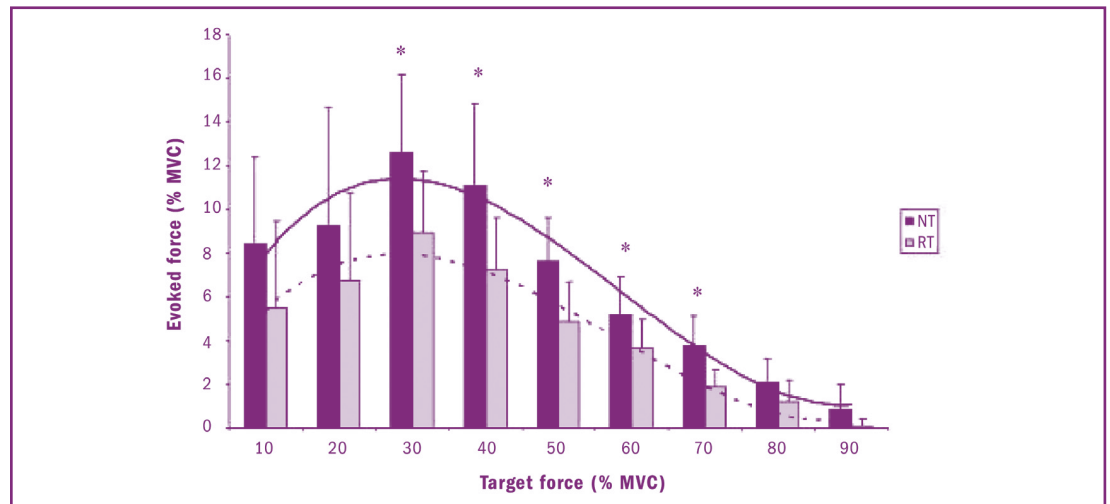
**Figura 3.** El efecto de un pulso magnético durante un intento. Durante este intento, el sujeto debe de alcanzar la fuerza de referencia. Cuando el sujeto alcanza y mantiene esa fuerza de referencia se le aplica un pulso magnético. Como se puede comprobar en este ejemplo, el pulso magnético incrementa la fuerza desarrollada por el sujeto. Ese incremento de fuerza es la fuerza evocada por el pulso magnético.



Fernández del Olmo, M.  
Reimunde, P.  
Viana, O.  
Martín Acero, R.  
Tomo XX • N° 1

## NUEVAS APROXIMACIONES A LAS ADAPTACIONES NERVIOSAS INDUCIDAS POR EL ENTRENAMIENTO DE FUERZA

**Figura 4.** Comparación entre la fuerza evocada (normalizada con respecto a la máxima fuerza voluntaria, MVC) a diferentes niveles de fuerza de contracción entre el grupo no entrenado (NT) y el grupo entrenado (RT). Se puede comprobar como en prácticamente todas las intensidades de contracción la fuerza evocada es siempre superior para el grupo NT, siendo esta diferencia significativa entre el 30 y 80% de la MVC.



el 70% de la FIM (Figura 4). Además, al 90% de la FIM, en nueve de diez sujetos del grupo entrenado (RT), el estímulo magnético fue incapaz de evocar un incremento en la fuerza, mientras que esto sí ocurrió solamente en 5 sujetos de los no entrenados (NT).

Estos hallazgos parecen indicar que:

- las adaptaciones nerviosas no se limitan a las fases iniciales de entrenamiento sino que se mantienen a lo largo de todo el periodo de entrenamiento,
- que aquellos sujetos que realizan entrenamiento de fuerza son capaces de una mayor activación voluntaria en cargas submáximas, indicando una mayor descarga neural en comparación con sujetos no entrenados,
- no está claro que una persona pueda desarrollar voluntariamente su máxima fuerza.

En posteriores comunicaciones (Revista de Entrenamiento Deportivo), presentaremos desde el ámbito de las neurociencias, la neurofisiológica, y del entrenamiento deportivo, una revisión sobre el papel que el sistema nervioso juega en la mejora de la fuerza muscular. ■

### BIBLIOGRAFÍA

- Aagaard, P.; Simonen, E.B.; Andersen, J.L.; Magnusson, P.; Dyhre-Poulsen, P. (2002) Neural adaptation to resistance training: changes in evoked V-wave and H-reflex responses. *J Appl Physiol* 92:2309-2318.
- Belanger, A.Y.; McComas, A.J. (1981). Extent of motor unit activation during effort. *J Appl Physiol* 51: 1131-1135.
- Bellemare, F.; Woods, J.J.; Johansson, R.; Bigland-Ritchie, B. (1983). Motor-unit discharge rates in maximal voluntary contractions of three human muscles. *J Neurophysiol* 50: 1380-1392.
- Calancie, B.; Nordin, M.; Wallin, U.; Hagbarth, K.E. (1987). Motor-unit responses in human wrist flexor and extensor muscles to transcranial cortical stimuli. *J Neurophysiol* 58: 1168-1185.
- Carolan, B.; Carafelli, E. (1992). Adaptations in coactivation isometric resistance training. *J Appl Physiol* 73: 911-917.
- Carroll, T.J.; Riek, S.; Carson, R.G. (2002). The sites of neural adaptation induced by resistance training in humans. *J Physiol* 544: 641-652.
- De Serres, S.J.; Enoka, R.M. (1998). Older adults can maximally activate the biceps brachii muscle by voluntary command. *J Appl Physiol* 84: 284-291.
- Enoka, R.M.; Fuglevand, A.J. (2001). Motor unit physiology: some unresolved issues. *Muscle Nerve* 24: 4-17.
- Fernández Del Olmo, M.; Reimunde, P.; Viana, O.; Martín Acero, R.; Cudeiro, J. (2006) Chronic neural adaptation induced by long-term resistance training in humans. *Eur J Appl Physiol*. (en prensa, disponible on-line).
- Gandevia, S.C.; Allen, G.M.; McKenzie, D.K. (1995). Central fatigue. Critical issues, quantification and practical implications. *Adv Exp Med Biol* 384: 281-294.
- Hakkinen, K.; Komi, P.V. (1983). Electromyographic changes during strength training and detraining. *Med Sci Sport Exer* 15: 455-460.
- Jensen, J.L.; Marstrand, P.C.; Nielsen, J.B. (2005). Motor skill training and strength training are associated with different plastic changes in the central nervous system. *J Appl Physiol*. 99: 1558-1568.
- Merton, P.A. (1954). Voluntary strength and fatigue. *J Physiol* 123: 553-564.
- Rutherford, O.M.; Jones, D.A. (1986). The role of learning and coordination in strength training. *Eur J Appl Physiol* 55: 100-105.
- Todd, G.; Taylor, J.L.; Gandevia, S.C. (2003). Measurement of voluntary activation of fresh and fatigued human muscles using transcranial magnetic stimulation. *J Physiol* 551: 661-671.
- Yue, G.H.; Ranganathan, V.K.; Siemionow, V.; Liu, J.Z.; Sahgal, V. (2000). Evidence of inability to fully activate human limb muscle. *Muscle Nerve* 23: 376-384.
- Zehr, E.P.; Sale, D.G. (1994). Ballistic movement: muscle activation and neuromuscular adaptation. *Can J Appl Physiol* 19: 363-378.