



MODIFICACIONES CORTICALES EN EL ENTRENAMIENTO DE FUERZA




TRABAJO FIN DE GRADO: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

GRADO EN CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y EL DEPORTE

TUTOR ACADÉMICO: RAFAEL RABIDO SOLANA

ANTONIO JOSÉ MOLINA CAMPILLO
DNI: 48618195-J

ÍNDICE

- 1. Contextualización..... 2
- 2. Procedimiento de revisión (metodología)..... 3
- 3. Revisión bibliográfica desarrollo..... 4
- 4. Discusión..... 12
- 5. Propuesta de intervención..... 14
- 6. Bibliografía..... 15



1. CONTEXTUALIZACIÓN:

Desde hace tiempo se sospechaba que el entrenamiento de fuerza también se acompaña de adaptaciones en el sistema nervioso central que juegan un papel importante en el desarrollo de la fuerza (Carroll, Riek & Carson 2002).

El sistema nervioso central se compone por el encéfalo y la médula espinal. En el encéfalo se encuentra el cerebro, formado por células nerviosas llamadas neuronas, cuya función principal es la de recibir un mensaje y comunicarlo a otras células (ya sea nerviosa, muscular...), cada una de ellas consta de cuatro regiones morfológicas: el soma, las dendritas, el axón, y las terminales axónicas.

Las células del sistema nervioso central se encuentran de tal forma que dan lugar a la sustancia gris, formada por el soma de las neuronas y sus dendritas, y la sustancia blanca, formada por los axones. La médula espinal, la forma un conjunto de fibras nerviosas que se disponen en forma de un cordón cilíndrico, y conducen los impulsos nerviosos en dos sentidos, aferente y eferente hacia los músculos y glándulas. Las neuronas espinales forman la sustancia gris interior, rodeada por la sustancia blanca formada por axones de vías sensoriales ascendentes, descendentes y por neuronas del sistema propioespinal. Entre las neuronas de la sustancia gris nos encontramos: neuronas sensoriales de proyección (con axones que forman las vías sensoriales hacia la corteza), neuronas propioespinales (con axones que recorren toda la médula y coordinan movimientos de cuello, tronco y pelvis), interneuronas (con axones que terminan sobre otras interneuronas) y motoneuronas (cuyos axones abandonan la médula y se incorporan al nervio espinal correspondiente para dirigirse hacia los músculos esqueléticos a los que inerva).

Para que la contracción muscular se produzca, un potencial de acción debe recorrer un nervio motor hasta sus terminaciones sobre las fibras musculares, las cuales iniciarán un proceso mediante el cual se contraigan las fibras musculares.

La realización de actividad física necesita de una adaptación específica del sistema nervioso, y en el ámbito de la actividad física y el deporte, la adaptación se refiere a un incremento del rendimiento y como respuesta a la aplicación de estímulos tanto externos como internos. Entre las adaptaciones neuronales encontramos la mejora en la coordinación intermuscular, intramuscular y una mayor inhibición neuromuscular, dichas adaptaciones pueden deberse al aumento de los axones motores y de las vainas de mielina, el aumento de la velocidad de transmisión nerviosa, el aumento de la superficie de las placas finales motoras, incremento de las sinapsis y además a nivel espinal, incrementando la actividad metabólica de las neuronas motoras, según los siguientes autores; Weier, Pearce & Kidgell (2012), Del Balso & Cafarelli (2007), Aagaard, Simonsen, Andersen, Magnusson & Dyhre-Poulsen (2002) y McCarthy, Pozniak & Agre (2002).

Poco se sabe acerca de los mecanismos neuronales implicados en el aumento de la conducción neural en las primeras etapas de entrenamiento de la fuerza, aunque se ha sugerido que el aumento de la conducción cortical a las motoneuronas espinales puede ser de gran importancia. Incrementos de fuerza surgen como consecuencia de numerosos factores, pero en muchos aspectos tendría sentido considerar el entrenamiento de fuerza como una especie de proceso de aprendizaje motor, ya que los deportistas aprenden a producir patrones de reclutamiento muscular asociados con el rendimiento óptimo de la tarea específica. Por tanto, es probable que el entrenamiento de fuerza en paralelo con el aprendizaje motor pueda llevar a mejorar la coordinación muscular. Teniendo en cuenta esto, sería razonable suponer que existen modificaciones similares en la corteza motora primaria (Jensen, Marstrand & Nielsen 2005).

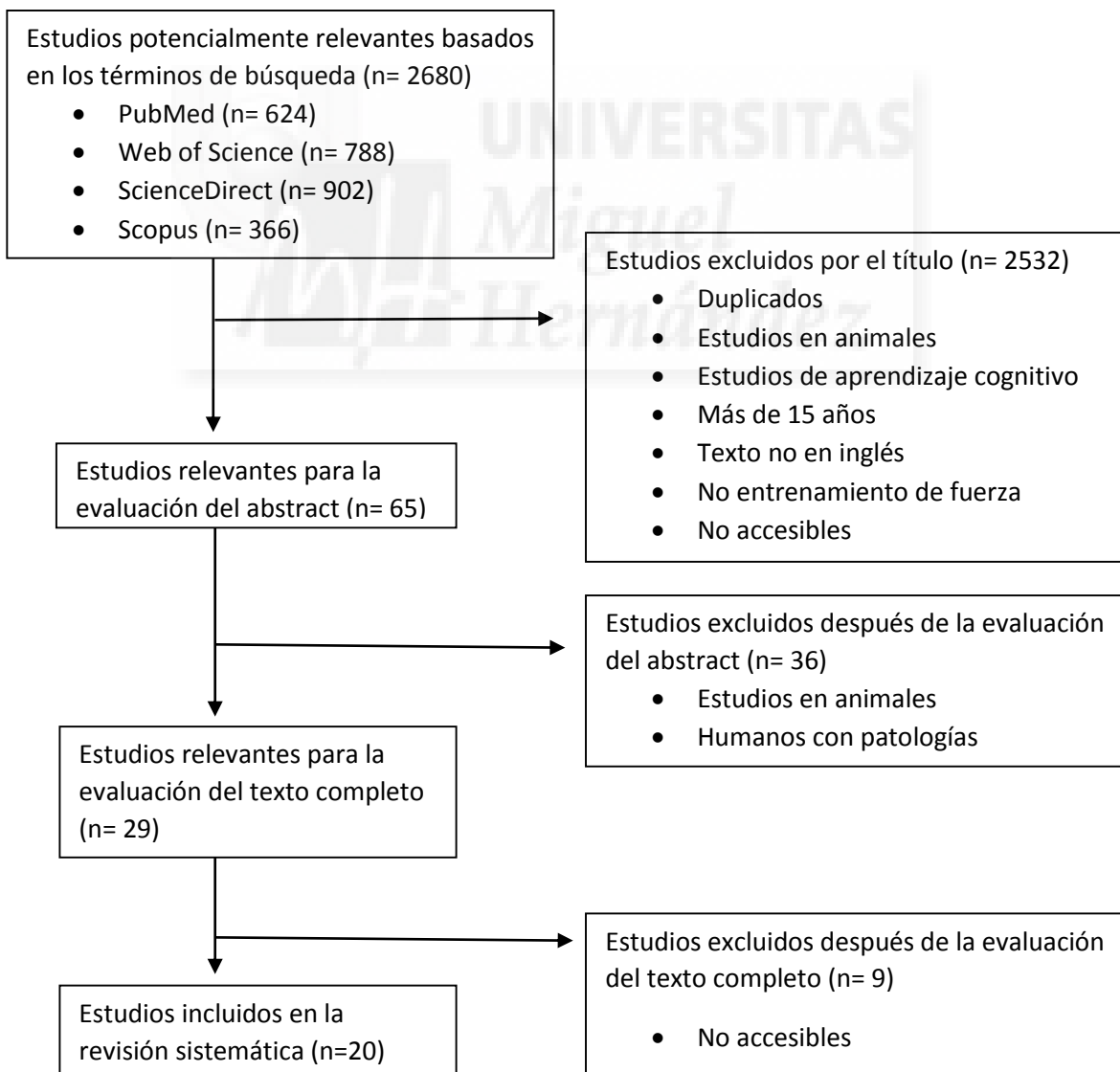
En esta revisión se pretende dar respuesta a preguntas como: ¿El entrenamiento de fuerza provoca modificaciones corticales? ¿Qué efectos tiene el entrenamiento de fuerza sobre el sistema nervioso? ¿Existen diferentes adaptaciones dependiendo de la metodología de fuerza que se entrena?

2. PROCEDIMIENTO DE REVISIÓN (METODOLOGÍA)

Las palabras clave utilizadas para la búsqueda de los artículos son las siguientes: brain adaptation, cortical modification, cortex adaptation, corticospinal adaptation, neural adaptation, resistance training, strength adaptation, strength training.

Esta revisión consta de una búsqueda bibliográfica actualizada de los últimos 15 años en las bases de datos científicas tanto internacionales como nacionales. PubMed, Web of Science, ScienceDirect y Scopus.

Se consideraron los artículos para su inclusión en la revisión si son los estudios en humanos sanos, si se evalúan modificaciones del SNC por la práctica de alguna metodología de entrenamiento de fuerza, tanto de forma transversal, como longitudinal, y que los artículos fuesen redactados en inglés. La búsqueda inicial dio lugar a 2680 resultados, realizando una lectura completa de un total de 29 artículos, entre los cuales fueron seleccionados para esta revisión, 18 artículos y 2 revisiones.



3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DESARROLLO

Artículos:

ARTÍCULOS	MUESTRAS	METODOLOGÍA	EVALUACIÓN	CONCLUSIÓN
1. Clark et al. (2014) The power of the mind: the cortex as a critical determinant of muscle strength/weakness	2 grupos de 34 con 20 años de media: a) 15 sujetos de inmovilización de la muñeca no dominante b) 14 sujetos igual que a, pero con contracciones imaginadas. c) 15 sujetos grupo control	Durante 4 semanas, el grupo a tendrá la muñeca escayolada, el grupo b también, pero además hará práctica imaginada de contracciones máximas durante 5'' y 5'' de descanso, 4 series de 13 reps, con 1' de descanso entre series, 5 veces por semana.	Se evaluó antes, inmediatamente después y 1 semana después de la inmovilización, mediante EMG y electro estimulación.	La debilidad muscular se relaciona mayoritariamente con el desuso de las regiones corticales. Las contracciones imaginadas atenúan la debilidad al realizar contracciones imaginadas.
2. Palmer et al. (2013) Structural brain changes after 4 wk of unilateral strength training of the lower limb	21 sujetos de 24 años de media. a) 12 sujetos de entrenamiento unilateral b) 9 sujetos de grupo control	Entrenamiento de 4 semanas, 4 sesiones por semana. Realizando contracciones isométricas unilaterales plantares de la pierna dominante durante 4'' y 10'' de descanso.	Los posibles cambios corticospinales, la activación cortical y el volumen de la estructura subcortical con resonancia magnética. La fuerza se midió con un dinamómetro.	El entrenamiento de fuerza proporciona cambios en la materia blanca del cerebro adulto.
3. Liu-Ambrose et al. (2012) Resistance training and functional plasticity of the aging brain: a 12-month randomized controlled trial	52 sujetos, 65-75 años. Grupo a: 20 sujetos. Entrenamiento de fuerza 1/semana. Grupo b: 15 sujetos. Entrenamiento de fuerza 2/semana Grupo c: 13 sujetos. Entrenamiento de equilibrio tono.	Entrenamiento de fuerza, de 6-8 reps, 2 series, con ejercicios como sentadillas y lunges. El grupo de equilibrio y tono, hizo estiramientos, ejercicios de rango de movimiento, básicos de fuerza, de equilibrio y técnicas de relajación.	La evaluación se llevó a cabo con resonancia magnética funcional.	El entrenamiento de fuerza dos veces por semana en los ancianos, puede repercutir positivamente en la plasticidad funcional de los procesos de inhibición de la respuesta de la corteza, y que lo hace de una manera que complementa los efectos sobre la atención selectiva que previamente han sido atribuidos al ejercicio aeróbico en personas mayores.

<p>4. Weier et al. (2012) Strength training reduces intracortical inhibition</p>	<p>12 sujetos de 18 a 27 años. Grupo a: 6 sujetos de entrenamiento de fuerza. Grupo b: 6 sujetos control.</p>	<p>Entrenamiento de 4 semanas, 3 sesiones semanales. 4 series de 6-8 reps, al 80% RM con 3 minutos de recuperación entre series.</p>	<p>Se evaluó el RM, se midió el espesor de la musculatura del muslo mediante ultrasonido y estimulación magnética transcraneal y EMG.</p>	<p>Entrenamiento de fuerza repetida de alta activación, a corto plazo, reduce la inhibición intracortical y esto ocurre en tareas de habilidad, complejidad o nuevos patrones de movimiento.</p>
<p>5. Kidgell & Pearce (2010) Corticospinal properties following short-term strength training of an intrinsic hand muscle</p>	<p>16 sujetos. 24 años de media. 13 varones y 13 mujeres. 2 grupos de 8: a) Grupo control b) Entrenamiento de fuerza</p>	<p>Entrenamiento de 12 semanas, 3 sesiones por semana. El entrenamiento de fuerza consistió en hacer abducción isométrica máxima con el dedo índice de la mano dominante. 6 series de 10 reps, contracción de 3" y descanso de 3".</p>	<p>Se evaluó con electromiografía de superficie y estimulación magnética transcraneal (10% por encima de los sujetos). La fuerza se evaluó con un transductor</p>	<p>El entrenamiento de fuerza induce a una adaptación de la función de las tareas en la inhibición corticoespinal a través de una reducción en la duración SP cortical que puede apoyar los aumentos de fuerza observados tras el entrenamiento de fuerza.</p>
<p>6. Hoffman et al. (2009) Increases in corticospinal responsiveness during a sustained submaximal plantar flexion</p>	<p>7 hombres y 3 mujeres. Sobre los 30 años</p>	<p>Entrenamiento del flexor plantar, de 2 sesiones semanales durante 2 semanas. Realizando 3 flexiones plantares durante 3" con ayuda de estimulación eléctrica y magnética (30% de su máximo) y con 1' de descanso. Los sujetos tenían feedback del torque de fuerza.</p>	<p>Electromiografía en para los músculos flexores plantares</p>	<p>Los procesos corticales contribuyen al aumento de la capacidad de respuesta corticoespinal durante la contracción submáxima sostenida de tríceps sural.</p>

<p>7. Lee et al. (2009) Short-Term Strength Training Does Not Change Cortical Voluntary Activation</p>	<p>23 sujetos entre 18-51 años. Grupo a: 12 sujetos para entrenamiento fuerza Grupo b: 11 sujetos control</p>	<p>El entrenamiento consistió en movimientos de abducción-aducción de la muñeca dominante durante 4 semanas, 3 veces por semana. 4 series de 8 reps al 70-85% RM.</p>	<p>La fuerza (RM) y la activación voluntaria (EMG) se evaluaron antes y después del entrenamiento. Estimulación del nervio radial y estimulación magnética transcraneal.</p>	<p>Cuatro semanas de entrenamiento de fuerza producen un leve aumento en la máxima contracción voluntaria. Aunque la activación voluntaria máxima no cambie con el entrenamiento de fuerza, los cambios de dirección y la amplitud de contracciones nerviosas corticales evocado sugieren que la estimulación cortical del nervio motor, puede generar la salida del motor con mayor eficacia a los músculos entrenados.</p>
<p>8. Schubert et al. (2008) Balance training and ballistic strength training are associated with task-specific corticospinal adaptations</p>	<p>37 sujetos de 27 años de media Grupo de entrenamiento de estabilización postural. Grupo de fuerza explosiva</p>	<p>Entrenamiento de 4 sesiones semanales de 1h durante 4 semanas. Entrenamiento de estabilización postural: tabla tambaleándose, trompo, esterilla blanda y un cojín. Cada tipo de ejercicio se realizó con la pierna derecha con la rodilla ligeramente flexionada en posición vertical mirando hacia adelante. Entrenamiento de fuerza explosiva: 4 series de 10 reps de flexión dorsal y extensión plantar, 30-40% del RM, descanso de 2" entre reps y 3 min entre series</p>	<p>Se monitorizó el rango máximo de fuerza antes y después del entrenamiento. Se midió la actividad electromiografía y el reflejo de reacción de los músculos.</p>	<p>Las proyecciones corticospinales fueron rápidamente moduladas sistemáticamente por el entrenamiento de fuerza y del equilibrio. El tiempo de reflejo de reacción muscular disminuye en la tarea entrenada. Las proyecciones corticoespinales juegan un papel en la adaptación inducida por el entrenamiento del control motor</p>
<p>9. Del Balso and Cafarelli (2007) Adaptations in the activation of human skeletal muscle induced by short-term isometric resistance training</p>	<p>20 sujetos de 23 años. Grupo a: 10 sujetos entrenamiento de fuerza Grupo b: 10 sujetos control</p>	<p>Entrenamiento de 4 semanas, 3 sesiones semanales del flexor plantar derecho. 6 series de 10 repeticiones con descansos de 2 minutos entre series.</p>	<p>Se evaluó mediante EMG. La máxima contracción voluntaria. El reflejo de contracción muscular</p>	<p>Un aumento en la velocidad de activación para la contracción muscular provoca aumentos de fuerza los primeros días de entrenamiento de fuerza. El aumento de la activación muscular puede deberse a un aumento de accionamiento volitivo de los centros supraespinales.</p>

<p>10. Griffin and Cafarelli (2007) Transcranial magnetic stimulation during resistance training of the tibialis anterior muscle</p>	<p>20 sujetos de 18-32 años. Grupo a: 10 sujetos de entrenamiento fuerza isométrica tibial anterior. Grupo b: 10 sujetos control</p>	<p>Entrenamiento de 4 semanas, 3 veces por semana, 6 series de 10 reps de contracción del tibial anterior, 5'' de contracción y 10'' descanso entre reps y 2' entre series.</p>	<p>Se evaluó con EMG, la contracción voluntaria máxima, al mismo tiempo que se aplicaba una estimulación magnética transcraneal y con electrodos de superficie.</p>	<p>4 semanas de entrenamiento de fuerza isométrica, aumenta la fuerza muscular y la excitabilidad cortical de forma significativa.</p>
<p>11. Jensen et al. (2005) Motor skill training and strength training are associated with different plastic changes in the central nervous system</p>	<p>24 sujetos (11 mujeres y 13 varones). Sobre 25 años. 3 grupos de 8: a) Control b) Entrenamiento de fuerza c) igual que b, pero además feedback visual.</p>	<p>Grupo b: 3 sesiones por semana durante 4 semanas. Curl de bíceps apoyado a 20°. 5 series de 6 a 10 reps con descanso de 1'. Grupo c: mismo entrenamiento y además un monitor que mueve el cursor según el ángulo del brazo</p>	<p>Test de fuerza: se hizo sentados con una posición de brazo de 90° realizando contracciones máximas en la misma posición. Test electrofisiológico: se registró la actividad electromiográfica.</p>	<p>El entrenamiento de la fuerza con feedback visual aumenta la excitabilidad corticoespinal en mayor medida que el entrenamiento de fuerza.</p>
<p>12. Häkkinen et al. (2003) Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training</p>	<p>Grupo a: 11 sujetos de 38 años, entrenamiento concurrente. Grupo b: 16 sujetos de 37 años, entrenamiento de fuerza</p>	<p>Entrenamiento durante 21 semanas, 2 sesiones semanales para fuerza y 4 sesiones para concurrente. Fuerza: prensa y extensiones de rodilla aisladas en máquina, press de banca, extensiones y flexiones de codo, flexiones y extensiones de tronco. 50-70% del RM, 3-4 series de 10-15 reps. Concurrente: además de las sesiones de fuerza. 60 min: 15 min bajo el umbral aeróbico, 2 · 10 min entre los umbrales aeróbicos- anaeróbicos, 2 · 5 min por encima del umbral anaeróbico y la final de 15 min bajo el umbral aeróbico.</p>	<p>Se evaluó el RM, la actividad eléctrica, el área seccional de los músculos, el VO2 y la antropometría.</p>	<p>Los datos no apoyan el efecto de interferencia del entrenamiento de resistencia para el de fuerza, a la hora de desarrollar la fuerza y la hipertrofia muscular. Aunque sí que interfiere en el desarrollo de la fuerza explosiva asociada a los cambios en la rápida activación neural de los músculos.</p>

<p>13. Aagaard et al. (2002) Neural adaptation to resistance training</p>	<p>14 varones de aproximadamente 25 años</p>	<p>Se hizo un pre y post test. Entrenamiento progresivo de la fuerza durante 14 semanas, en total 38 sesiones. Ejercicios: elevaciones tobillo, sentadillas, prensa inclinada, flexión y extensión de rodilla aisladas. 3-10 reps sobre RM.</p>	<p>Se evaluó a los sujetos sentados mediante electromiografía. Fuerza dinámica máxima concéntrica y excéntrica, con dinamómetro, 30°/s. Para evaluar los cambios adaptativos neurales se midió la onda-V y respuestas reflejo H.</p>	<p>Aumentan las amplitudes de onda V y H-reflejo en respuesta a 14 semanas de entrenamiento de fuerza. Esto refleja alteraciones neuronales adaptativas, tanto a nivel de la columna vertebral como supraespinal. Mayor impulso neural en las vías descendentes corticoespinales con un aumento correspondiente en la excitabilidad de las motoneuronas, aunque una disminución de la inhibición presináptica también podría haber contribuido.</p>
<p>14. Carroll et al. (2002) The sites of neural adaptation induced by resistance training in humans</p>	<p>16 sujetos (22-36 años; 15 varones, 1 mujer) 8 sujetos grupo control y 8 experimental</p>	<p>Se registró los potenciales motores del dedo índice antes y después de las 4 semanas de entrenamiento de fuerza. Un grupo hizo entrenamiento de 4 semanas, 3 sesiones semanales. Movimientos de abducción 20°-aducción 15°. La carga se aumentó al 70%, aumentando 5% cada 3 sesiones. Y otro grupo con estimulación eléctrica transcraneal.</p>	<p>Se evaluó a los sujetos la contracción voluntaria máxima mediante electromiografía.</p>	<p>El entrenamiento de fuerza cambia las propiedades funcionales de la circuitería de la médula espinal en seres humanos, pero no afecta sustancialmente a la organización de la corteza motora.</p>

<p>15. McCarthy et al. (2002) Neuromuscular adaptations to concurrent strength and endurance training</p>	<p>30 varones de 20 años 3 grupos de 10: a) Fuerza b) Resistencia c) Concurrente</p>	<p>Entrenamiento de 10 semanas, 3 sesiones semanales. Grupo a: 6 repeticiones máximas con descansos de 75". Ejercicios press banca, sentadillas paralelas y curl bíceps. Grupo b: 50' de cicloergómetro continuo, al 70% de la Fc de reserva. Grupo c: realizó ambos entrenamientos en la misma sesión, con descanso de 10-20 min entre cualidades, y alternando el orden cada día.</p>	<p>Las evaluaciones se tomaron antes y después del entrenamiento. -Se tomó el área de sección transversal mediante una tomografía computarizada. -Biopsia muscular con aguja. -Fuerza isométrica y activación neural mediante dinamómetro y electromiografía.</p>	<p>3 días/semana durante 10 semanas, de entrenamiento de fuerza y concurrente producen adaptaciones nerviosas que aumentan la activación neural.</p>
<p>16. Conley et al. (2002) Resistance training and human cervical muscle recruitment plasticity</p>	<p>22 universitarios de alrededor de 20 años. a) Entrenamiento de fuerza más extensiones de cuello. b) Entrenamiento de fuerza c) grupo control</p>	<p>Entrenamiento de 12 semanas, 4 sesiones semanales, ejercicios como sentadillas paralelas, prensa, press de banca, flexiones de tronco con 3' de descanso. Además el grupo a realizaba 3 días semanales extensiones de cuello con un arnés en la cabeza, realizando 3 series de 10 reps con 1 minuto de descanso.</p>	<p>Los efectos musculares durante la extensión del cuello se determinaron mediante la cuantificación de los cambios en T2 con resonancia magnética de serie-transaxial del cuello.</p>	<p>El entrenamiento de fuerza aumenta la capacidad de reclutar la musculatura implicada de forma específica.</p>

<p>17. Maffiuletti et al. (2001) Electrical and mechanical Hmax-to-Mmax ratio in power- and endurance-trained athletes</p>	<p>24 deportistas de 21 años. Grupo a: 8 sujetos de potencia Grupo b: 8 sujetos de resistencia Grupo c: 8 sujetos desentrenados</p>	<p>Grupo a: Un saltador de altura, dos saltadores de longitud, dos velocistas, y tres jugadores de baloncesto, en su deporte requieren alta cualificación en contracciones potentes del músculo tríceps sural. Grupo b: Dos triatletas, tres nadadores de resistencia, y tres esquiadores de fondo</p>	<p>Evaluar las características mecánicas y electromiográficas de las unidades motoras activadas del nervio del sóleo durante reflejo H máximo y de respuesta directa M.</p>	<p>Entrenamiento de la potencia aumenta la producción de fuerza del conjunto de las unidades motoras, con lo que compensa la menor eficacia de la transmisión reflejo entre la entrada aferente del huso y las a-motoneuronas del sóleo. Entrenamiento de resistencia tiene un mayor reclutamiento de las fibras lentas, y por tanto el tiempo del reflejo de contracción es mayor que en el grupo de potencia.</p>
<p>18. Häkkinen et al. (2000) Neuromuscular adaptation during prolonged strength training, detraining and re-strength-training in middle-aged and elderly people</p>	<p>19 sujetos de alrededor de 40 años Grupo a: 12 sujetos, 6 mujeres y 6 hombres. Entrena la fuerza, desentrena y reentrena Grupo b: 7 sujetos, 4 mujeres y 3 hombres. Entrena la fuerza y desentrena.</p>	<p>Todos los sujetos realizaron el mismo entrenamiento de fuerza durante 24 semanas. Después se sometieron a 3 semanas de desentrenamiento y grupo a otra vez entrenamiento 21 semanas. Ejercicios: prensa, extensión de rodilla, press banca. 50-70% RM 10-15 reps, 4 series.</p>	<p>Los sujetos fueron evaluados antes y después del periodo de entrenamiento, mediante cálculo RM y EMG.</p>	<p>3 semanas de desentrenamiento de la fuerza, no disminuye significativamente la contracción voluntaria máxima, esto se debe principalmente a las adaptaciones neuronales del entrenamiento de fuerza.</p>

REVISIONES:

AUTOR	ESTUDIOS	PROCEDIMIENTO	CONCLUSIÓN
<p>Kristel knaepen et al. (2010) Neuroplasticity – Exercise-induced Response of Peripheral Brain-Derived Neurotrophic Factor</p>	<p>26 artículos que han sido publicados en el periodo comprendido entre el 2003 y el 2010.</p>	<p>Se realizó una búsqueda en PubMed, Web of Science, SportDiscus, Cochrane Library, PEDro, DAREnet y NARCis, entre los años 2009-10. Palabras clave: "BDNF "," ejercicios "," entrenamiento "," actividad física", "neuroplasticidad", "neuroplasticidad proteínas "," neurotrofinas "," dependiente de la actividad plasticidad "y" neurogénesis ". Se consideraron los artículos para su inclusión en la revisión si son los estudios en humanos, evaluación periférica (suero y / o plasma) BDNF y evaluación de un ejercicio agudo o intervención de entrenamiento.</p>	<p>El ejercicio físico aeróbico, al contrario que el de fuerza, aumenta las concentraciones BDNF periféricos, aunque con un efecto transitorio. Posteriormente, podría ser liberado más BDNF en la circulación sanguínea que pueden, a su vez, ser absorbida más eficientemente por los tejidos centrales y / o periféricos, que podría inducir una cascada de efectos neurotróficos y neuroprotectores.</p>
<p>Anna L. et al (2006) Motor training induces experience-specific patterns of plasticity across motor cortex and spinal cord</p>	<p>24 artículos que han sido publicados en el periodo comprendido entre el 1988 y el 2006.</p>	<p>Artículos entre los años 1993 y 2006. Palabras clave: skill training, endurance training, strength training, motor cortex plasticity y spinal cord plasticity. Se consideraron los artículos para su inclusión en la revisión si son los estudios en humanos.</p>	<p>La adquisición de habilidad de movimiento induce a la reorganización de los circuitos neuronales en la corteza motora que apoya la producción y refinamiento de secuencias de movimientos. Los aumentos de la fuerza pueden deberse al aumento de la capacidad de activación y/o la contratación de las neuronas motoras espinales, mientras el aumento de las demandas metabólicas asociadas con el entrenamiento de resistencia inducen a la angiogénesis cortical.</p>

4. DISCUSIÓN:

A continuación, se hablará sobre los aspectos de mayor relevancia de las diferentes metodologías y su relación con las adaptaciones que pueden provocar sobre el sistema nervioso.

ESFUERZOS REPETIDOS DE CARÁCTER HIPERTRÓFICO

El entrenamiento de esfuerzos repetidos de carácter hipertrófico con cargas entre el 50-85% RM, entre 6-10 repeticiones, ha demostrado producir numerosas adaptaciones a nivel del sistema nervioso.

En el estudio de Kidgell & Pearce (2010), el grupo de entrenamiento aumentó un 33.8% ($p=.01$) la máxima contracción voluntaria en comparación con un incremento del 13% ($p=.2$) del grupo control. No hubo diferencias en la latencia del umbral del motor activo o amplitud en el potencial del motor evocado, sin embargo en el grupo entrenado, se redujo el periodo de duración del potencial 16 ms en 5% de la contracción voluntaria máxima ($p=0.01$) y 25 ms en un 20% de la contracción voluntaria máxima ($p=0.03$). Estos resultados demuestran una adaptación en la función de las tareas en la inhibición corticoespinal, aumentando así los niveles de fuerza.

El aumento de la fuerza en las primeras semanas de entrenamiento puede deberse a un aumento en la velocidad de activación de la contracción muscular, el mismo puede deberse a un aumento de accionamiento volitivo de los centros supraespinales (Del Balso & Cafarelli 2007).

Un estudio de gran relevancia, es el que realiza Aagaard, Simonsen, Andersen, Magnusson & Dyhre-Poulsen (2002), su investigación refleja como resultado de catorce semanas de entrenamiento de fuerza, un aumento de onda V y reflejo H, lo que indica alteraciones neurales adaptativas, tanto a nivel de la columna vertebral como supraespinal (figura 1).

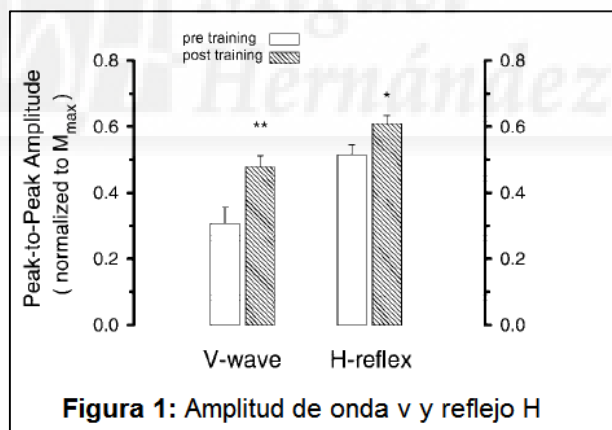


Figura 1. Variaciones de la amplitud de onda V y reflejo H, antes y después del entrenamiento de fuerza, habiendo diferencias significativas.

Esta investigación, además considera que se consigue un mayor impulso neural en las vías descendentes corticospinales con un aumento correspondiente en la excitabilidad de las motoneuronas, aunque una disminución de la inhibición presináptica también podría haber contribuido.

CONTRACCIONES ISOMÉTRICAS

El entrenamiento de fuerza basado en contracciones isométricas con intensidades entre el 5-20% y maximales, de duración 3''-10'' y descanso entre series de 3''-10'', muestra adaptaciones muy similares a las del entrenamiento de fuerza de carácter hipertrófico.

Clark, Mahato, Nakazawa, Law & Thomas, en 2014, llevaron a cabo un estudio en el que se inmovilizó la muñeca dominante de los participantes, y se dividieron en dos grupos, uno de ellos como grupo control, y el otro grupo realizaba contracciones isométricas imaginadas durante cuatro semanas. El grupo experimental atenuó la debilidad muscular un 32% respecto al grupo control, lo que se traduce en que se producen modificaciones en las regiones corticales que permiten realizar mayores niveles de fuerza. Por otro lado, un factor limitante de este estudio, es no poder controlar la intensidad de contracción imaginada que realizan los sujetos.

En el estudio llevado a cabo por Palmer et al. en el 2013, integraron un grupo control y otro grupo experimental, que realizó un entrenamiento de fuerza con contracciones isométricas unilaterales, del flexor plantar de la pierna dominante, durante cuatro semanas. En el grupo entrenado, se encontró una reducción significativa en el volumen del putamen izquierdo después del entrenamiento ($2.0 \pm 2.5\%$ de disminución, la media \pm SD; $n= 12$, $P= 0.016$, Cohen's $d= 0.73$). No se encontraron cambios significativos en el putamen derecho o en cualquiera de las otras estructuras subcorticales del cerebro en el grupo de entrenamiento, ni en el volumen del grupo control en cualquiera de las estructuras subcorticales. Estos resultados sugieren que el entrenamiento de fuerza isométrica proporciona modificaciones en la materia blanca del cerebro.

Una de las adaptaciones que produce el entrenamiento de fuerza isométrica, es la inhibición corticoespinal a través de una reducción en la duración del periodo de silencio cortical, que apoya los aumentos de fuerza (Kidgell & Pearce 2010).

ENTRENAMIENTO DE FUERZA CON ESTIMULACIÓN ELÉCTRICA Y MAGNÉTICA

Entrenamiento de fuerza con estimulación eléctrica y magnética, aumentando un 30%-60% la máxima contracción voluntaria.

Un estudio de Hoffman, Oya, Carroll & Cresswell en el 2009, reclutó una muestra para realizar un entrenamiento de fuerza del flexor plantar, con contracciones mantenidas 3'' con la ayuda de estimulación eléctrica y magnética. Concluye que la amplitud de los potenciales motores evocados (PME) y los potenciales del motor evocado cervicomedular (PMEC), aumentan en el gastrocnemio durante una contracción submáxima sostenida al 30% de la máxima contracción voluntaria (MCV), mientras que el tamaño de los PME, sólo aumentó en el sóleo. Además la amplitud de los PMEC, no pudo aumentar suficientemente durante la contracción sostenida para que coincida con la amplitud de la respuesta evocada de la MCV en la prefatiga, mientras que la amplitud MEP, fue similar a la evocada durante un control de la MCV. Esto sugiere una contribución sustancial cortical a los aumentos en la capacidad de respuesta corticoespinal durante una contracción submáxima del tríceps sural.

El entrenamiento de fuerza cambia las propiedades funcionales de la circuitería de la médula espinal, pero no afecta sustancialmente a la organización de la corteza motora, según un estudio de Carroll et al. (2002), en el que se hizo entrenamientos de fuerza con estimulación eléctrica transcraneal. Hay que tener en consideración que un sesgo de este estudio podría ser que utiliza una muestra de solamente diez sujetos.

ENTRENAMIENTO DE POTENCIA

Entre las investigaciones estudiadas, las pautas del entrenamiento fue; 10 repeticiones realizadas al 30-40% del RM con descanso de 2'' entre repeticiones.

El estudio de Schubert, Beck, Taube, Amtage, Faist & Gruber (2008) repartió los sujetos en dos grupos, uno que realizó entrenamiento de estabilización postural y el otro, un entrenamiento de potencia. A nivel funcional demostraron que ambos tipos de entrenamiento, aumentaron la tasa de desarrollo de la fuerza, lo que indica que las proyecciones corticoespinales juegan un papel en la adaptación inducida por el entrenamiento del control motor.

Un estudio transversal realizado por Nicolai et al. en el año 2001, cogió una muestra de sujetos cuyo deporte practicado, se basaba en movimientos de potencia, otra muestra de deportistas de resistencia y otra muestra de sujetos no entrenados. Tras su evaluación, se observó que el entrenamiento de la potencia aumentó la producción de fuerza del conjunto de las unidades motoras, con lo que compensa la menor eficacia de la transmisión reflejo entre la entrada aferente del huso y las a-motoneuronas del sóleo.

ENTRENAMIENTO CONCURRENTE DE FUERZA Y RESISTENCIA

En la investigación realizada en 2003, por Häkkinen et al., se llevó a cabo un programa de entrenamiento de la fuerza de carácter hipertrófico (con las características convencionales) y otro concurrente con el entrenamiento de resistencia, que además de la sesión de fuerza, realizaba sesenta minutos de carrera continua a diferentes intensidades por debajo del umbral aeróbico. Basándose en los resultados de su investigación, no apoya el efecto de interferencia del entrenamiento de resistencia para el de fuerza, a la hora de desarrollar la fuerza y la hipertrofia muscular, aunque sí interfiere en el desarrollo de la fuerza explosiva asociada a los cambios en la rápida activación neural de los músculos.

5. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

Llegados a este punto, debemos hablar sobre las adaptaciones que pretendemos conseguir y de qué método de entrenamiento llevar a cabo para aproximarnos a dichas adaptaciones, puesto a que no todas las metodologías de entrenamiento de la fuerza desembocan a las mismas modificaciones sobre el sistema nervioso. En resumen, podría decirse que los estudios de esta revisión, que han dado lugar a las mejores adaptaciones del sistema nervioso, para aumentar la fuerza, han sido los que se basaban en un programa de entrenamiento de la fuerza de carácter hipertrófico, sin embargo parece que muestran mayores modificaciones sobre el sistema nervioso el entrenamiento con cargas elevadas, por tanto, a continuación se presenta un programa de entrenamiento de la fuerza máxima focalizado en las adaptaciones de tipo neural.

Para sujetos jóvenes de alrededor de los veinte años. Los ejercicios a realizar, serían dándole mayor importancia a los que necesitan la intervención de numerosas articulaciones para favorecer mayores efectos adaptativos; sentadillas, zancadas, prensa del tren inferior, peso muerto, press de banca, dominadas, jalón, aperturas de pecho con mancuernas, push press y también, para los más expertos, aconsejaríamos movimientos olímpicos como la arrancada y el dos tiempos, siguiendo las siguientes pautas:

- Duración: mínimo de cuatro semanas, ya que es el mínimo de tiempo que se ha utilizado en las investigaciones anteriores.
- Días/semana: tres días semanales sería el mínimo para no perder los efectos del entrenamiento.
- Intensidad: 85-100%, siendo más alta cuanto más entrenado esté el sujeto.
- Series: cuatro series al menos para asegurar que se produzcan adaptaciones.
- Repeticiones: 1-5 repeticiones en función de la intensidad trabajada.
- Descanso entre series: 3'-5' dependiendo de la intensidad, las repeticiones realizadas y la dificultad del movimiento.
- Ratio: 2:1 el doble de tiempo de contracción.
- Velocidad de ejecución: máxima

De esta forma se conseguiría una mayor inhibición cortical, un aumento de la velocidad de activación de la contracción muscular, y un aumento de la onda V y el reflejo H, con lo que se conseguirían adaptaciones a nivel de la columna vertebral y del supraespinal.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Aagaard, P., Simonsen, 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. *Journal of Applied Physiology*, 92(6), 2309-2318.
- Adkins, D. L., Boychuk, J., Remple, M. S., & Kleim, J. A. (2006). Motor training induces experience-specific patterns of plasticity across motor cortex and spinal cord. *Journal of Applied Physiology*, 101(6), 1776-1782.
- Carroll, T. J., Riek, S., & Carson, R. G. (2002). The sites of neural adaptation induced by resistance training in humans. *The Journal of physiology*, 544(2), 641-652.
- Clark, B. C., Mahato, N. K., Nakazawa, M., Law, T. D., & Thomas, J. S. (2014). The power of the mind: the cortex as a critical determinant of muscle strength/weakness. *Journal of neurophysiology*, 112(12), 3219-3226.
- Conley, M. S., Stone, M. H., Nimmons, M., & Dudley, G. A. (2002). Resistance training and human cervical muscle recruitment plasticity. *Journal of Applied Physiology*, 83(6), 2105-2111.
- Del Balso, C., & Cafarelli, E. (2007). Adaptations in the activation of human skeletal muscle induced by short-term isometric resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 103(1), 402-411.
- Griffin, L., & Cafarelli, E. (2007). Transcranial magnetic stimulation during resistance training of the tibialis anterior muscle. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 17(4), 446-452.
- Häkkinen, K., Alen, M., Kallinen, M., Newton, R. U., & Kraemer, W. J. (2000). Neuromuscular adaptation during prolonged strength training, detraining and re-strength-training in middle-aged and elderly people. *European journal of applied physiology*, 83(1), 51-62.
- Häkkinen, K., Alen, M., Kraemer, W. J., Gorostiaga, E., Izquierdo, M., Rusko, H., & Paavolainen, L. (2003). Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *European journal of applied physiology*, 89(1), 42-52.
- Hoffman, B. W., Oya, T., Carroll, T. J., & Cresswell, A. G. (2009). Increases in corticospinal responsiveness during a sustained submaximal plantar flexion. *Journal of Applied Physiology*, 107(1), 112-120.
- 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. *Journal of applied physiology*, 99(4), 1558-1568.
- Kidgell, D. J., & Pearce, A. J. (2010). Corticospinal properties following short-term strength training of an intrinsic hand muscle. *Human movement science*, 29(5), 631-641.
- Kristel, K., Goekint, M., Heyman, E. M., & Meeusen, R. (2010). Neuroplasticity—Exercise-Induced Response of Peripheral Brain-Derived Neurotrophic Factor. *Sports Medicine*, 40(9), 765-801.
- Lee, M., Gandevia, S. C., & Carroll, T. J. (2009). Short-term strength training does not change cortical voluntary activation. *Medicine and science in sports and exercise*, 41(7), 1452-1460.
- Liu-Ambrose, T., Nagamatsu, L. S., Voss, M. W., Khan, K. M., & Handy, T. C. (2012). Resistance training and functional plasticity of the aging brain: a 12-month randomized controlled trial. *Neurobiology of aging*, 33(8), 1690-1698.
- McCarthy, J. P., Pozniak, M. A., & Agre, J. C. (2002). Neuromuscular adaptations to concurrent strength and endurance training. *Medicine and science in sports and exercise*, 34(3), 511-519.
- Maffiuletti, N. A., Martin, A., Babault, N., Pensini, M., Lucas, B., & Schieppati, M. (2001). Electrical and mechanical Hmax-to-Mmax ratio in power-and endurance-trained athletes. *Journal of Applied Physiology*, 90(1), 3-9.

Palmer, H. S., Håberg, A. K., Fimland, M. S., Solstad, G. M., Iversen, V. M., Hoff, J., & Eikenes, L. (2013). Structural brain changes after 4 wk of unilateral strength training of the lower limb. *Journal of Applied Physiology*, 115(2), 167-175.

Schubert, M., Beck, S., Taube, W., Amtage, F., Faist, M., & Gruber, M. (2008). Balance training and ballistic strength training are associated with task-specific corticospinal adaptations. *European Journal of Neuroscience*, 27(8), 2007-2018.

Weier, A. T., Pearce, A. J., & Kidgell, D. J. (2012). Strength training reduces intracortical inhibition. *Acta physiologica*, 206(2), 109-119.

<http://www.iqb.es/neurologia/visitador/v002.htm>

http://www.med.ufro.cl/Recursos/neuroanatomia/archivos/1_introduccion.htm

