

Efecto del entrenamiento combinado de pliometría y electroestimulación en salto vertical

Effect of combined plyometric and electrostimulation training on vertical jump

Elisa Benito Martínez
Lara Sánchez Amador
Emilio J. Martínez-López
Universidad de Jaen

Resumen

En este estudio se han analizado los efectos del entrenamiento combinado de pliometría y electroestimulación en un entrenamiento de fuerza muscular de los miembros inferiores. El estudio incluyó tres grupos experimentales, que trabajaron ambos métodos en orden diferente y de forma simultánea, y uno de control. Participaron 78 atletas, 40 mujeres y 38 hombres, de disciplinas de velocidad (100 y 200 m lisos y 100 y 110 m vallas), con una edad de $17,94 \pm 1,44$ años y una masa de $58,53 \pm 8,05$ kg. El programa incluyó dos días a la semana de entrenamiento pliométrico y dos sesiones utilizando un electroestimulador Megasonic 313-P4. Tras dos meses de entrenamiento, se midió con plataforma de contacto ORGANISER PSION 2 la altura de salto vertical y potencia del tren inferior en test de Abalakov y Drop Jump. Las mayores diferencias pre/post test ($p < 0.001$) de altura y potencia de salto se obtuvieron en el programa que realizó ejercicios pliométricos posteriores a la aplicación de la electroestimulación. El entrenamiento de electroestimulación y pliometría llevado a cabo de forma simultánea produjo un estancamiento en el rendimiento de los atletas.

Palabras clave: fuerza muscular; componente explosivo-elástico; potencia muscular; salto Abalakov; drop jump.

Abstract

This paper analyses the effects of combined electrostimulation and plyometric training on lower body strength training. The training program was applied to three experimental groups and one control group. The experimental groups used both methods simultaneously but in different order. The participants were 78 sprinters (100m and 200m, and 100m and 110m hurdles), 38 male and 40 female. Their average age was $17,94 \pm 1,4$ years and their average weight was $58,53 \pm 8,05$ kg. The training program consisted in two days a week of plyometric training and two sessions with a Megasonic 313-P4 electrostimulation unit. After two months training, vertical jump height and lower body power were measured in Abalakov and Drop Jump test with PSION ORGANISER II. The most significant pre- and post-test ($p < 0.001$) improvements in height and jump power were obtained in the program combining electrostimulation with subsequent plyometric exercises. Simultaneous electrostimulation and plyometric exercises caused performance stagnancy.

Key words: muscle strength; explosive-elastic component; muscle power; Abalakov jump; drop jump.

Correspondencia/correspondence: Emilio J. Martínez-López
Campus de Las Lagunillas. Edificio Humanidades y Ciencias de la Educación
Universidad de Jaén. 23071 Jaén (España)
e-mail:emilioml@ujaen.es

Introducción

La electroestimulación neuromuscular (EE NM) consiste en la aplicación de una corriente eléctrica al músculo o al nervio periférico con el fin de lograr su contracción involuntaria (Lake, 1992). Desde su origen (Osborne, 1951; Eriksson, Haggmark, Kiesseimg, Karisson, y Enect, 1981), su uso fue enfocado generalmente a pacientes lesionados incapaces de realizar una contracción voluntaria por sí mismos, sin embargo, en la década de los 70 Kots y Hvilon (1971) emplearon este tipo de técnicas en atletas de élite sanos con el fin de mejorar la fuerza muscular, empleando este método como complemento al entrenamiento convencional.

Tras estos primeros estudios, han sido muchos los autores que han hecho uso de la EE NM para mejorar la fuerza muscular en atletas, sin embargo, la gran heterogeneidad de los parámetros de corriente utilizados en sus diferentes protocolos continúan en la actualidad siendo objeto de debate entre los investigadores. Así por ejemplo, respecto al tipo de corriente empleada, ya Kramer, Lindsay, y Magee (1984) compararon la eficacia de diferentes tipos de corriente, donde la corriente bifásica asimétrica rectangular fue percibida como más comfortable. Desde la década de los 90, en que Lake (1992) concluyó que la corriente bifásica era la más efectiva para provocar el mayor porcentaje de fuerza isométrica, y que la bifásica simétrica conseguía mejores resultados que la asimétrica, se comenzaron a establecer las bases para protocolos de entrenamiento, sirviendo de referente a estudios posteriores (Duchateau y Hainaut, 2003; Brocherie, Babault, Cometti, Maffiuletti, y Chatard, 2005; Babault, Cometti, Bernardm, Pousson, y Chatard, 2007).

Otro aspecto controvertido en la aplicación de la EE NM ha sido la frecuencia (Hz) a emplear Child, Brown, Day, Saxton, y Donnelly (1998), Meaños, Alonso, Sánchez, y Téllez, (2002), aunque finalmente, las frecuencias entre 70 y 120 Hz son las más empleadas para aumentar la fuerza explosiva y las comprendidas entre 120 y 150 Hz las utilizadas para mejorar la fuerza explosiva-elástica (Maffiuletti, Cometti, Amiridis, Martin, Pousson, y Chatard, 2000; Vanderthommen y Crielaard, 2001; Valli, Boldrini, Bianchedi, Brizzi, y Miserocchi, 2002; Gondin, Guetie, Ballay, y Martin, 2006; Lyons, Robb, Irrgang, y Fitzgerald, 2005; Paillard, Noé, Passelergue, y Dupui, 2006; Toca-Herrera, Gallach, Gómis y González, 2008).

Existen además tres parámetros para los que el consenso entre autores es mayor. Respecto al ancho de impulso la mayoría de los estudios apuntan hacia protocolos próximos a los 300 Ms (Vanderthommen y Crielaard, 2001; Linares, Escalante, y LaTouche, 2004; Babault et al., 2007; Toca-Herrera et al., 2008). En segundo lugar, en cuanto a la intensidad se refiere, muchos autores recomiendan elevarla hasta conseguir un 60 % de la contracción isométrica voluntaria máxima obtenida mediante dinamómetro (Colson, Martín, y Van Hoecke, 2000; Maffiuletti, Dugnani, Folz, Di pierno, y Mauro, 2002; Valli et al., 2002; Brocherie et al., 2005; Holcomb, 2005; Babault et al., 2007), aunque se considera que a medida que pasan los días de entrenamiento con EE NM, se produce una mayor tolerancia a la intensidad de corriente (Ward y Shukuratova, 2002), debiendo ésta adaptarse tanto al momento de la temporada o microciclo, como a las características del sujeto (Meaños et al., 2002; Petrofsky, 2008). Y finalmente, respecto a la relación existente entre el tiempo de paso de la corriente y el tiempo de reposo durante la sesión, se considera que el entrenamiento de la fuerza explosiva debe asegurar tiempos de reposo elevados. La principal justificación a lo anterior está relacionada con la inversión del reclutamiento de fibras, ya que durante la EE NM se activan primero las fibras tipo II y no las tipo I como ocurre durante el ejercicio voluntario, lo que contribuye a un aumento de la fatiga muscular (Raquena, Radial, y González-Badillo, 2005). Así, mientras algunos autores consideran más acertada una relación de 1:5 entre el

tiempo de paso de la corriente y el tiempo de reposo (Coarsa, Morós, Marco, y Mantiha, 2000; Linares et al., 2004), otros utilizan una proporción menor (1:3) (Maffiuletti et al., 2000; Brocherie et al., 2005; Holcomb, 2005; Lyons et al., 2005).

Referente a la posología semanal en una sesión de electroestimulación muscular, empleada para aumentar la fuerza muscular explosiva, Meañes et al. (2002) recomiendan 72 horas de recuperación, ya que es necesario entre 48 y 72 horas para reponer los depósitos energéticos (Cometti, 1998). Por la similitud del EE NM con dichos entrenamientos, resultaría complicado realizar sesiones de EE NM diarias tal y como establecieron Ward y Shkuratova (2002) y Cigdem, Ozlen, Aylin, y Elif (2002). Dentro de cada sesión de entrenamiento, y respecto al tiempo total de aplicación, parece existir mayor consenso, estableciéndose tiempos de entre 10 y 15 minutos en la mayoría de los autores (Ward y Shkuratova, 2002; Parker, Bennet, Hieb, Hollar, y Roe, 2003; Brocherie et al., 2005; Babult et al., 2007).

Finalmente, en cuanto al tipo de ejercicio a combinar con la EE NM, Cometti (1998) muestra como el uso de la EE NM reduce el tiempo necesario en una proporción de 1:3 al compararse con un programa de contracción voluntaria. Además, Vanderthommen y Crielaard (2001) apoyaron que las adaptaciones fisiológicas producidas en la terapia son mucho mayores que las que se producen en terapias aisladas, ya sea de EE NM o de ejercicio voluntario. Tras la revisión de los estudios de Verkhoshansky (1991), Herrero, Izquierdo, Maffiuletti, y García-López (2006), y Maffiuletti (2008), se constató que la pliometría es un método muy eficaz para la preparación especial de la fuerza ya que favorece la fuerza reactiva y la fuerza explosiva.

De forma general, los estudios sobre EE NM llevados a cabo en atletas han tenido como principal objetivo la mejora de la potencia muscular, sin embargo, uno de los principales problemas que aún perduran, es definir qué manifestación de la fuerza mejora mediante el protocolo de EE NM y la que realmente se mide con los test empleados para su evaluación. En este sentido, Vittori (1990) clasificó las diferentes manifestaciones de la fuerza diferenciándolas entre activas (compuestas de un único ciclo de contracción), y reactivas (en las que intervienen dos ciclos diferentes: estiramiento y contracción).

Para evaluar estas manifestaciones de la fuerza en la musculatura extensora de las extremidades inferiores, se han utilizado frecuentemente tests de salto vertical, especialmente en deportes que implican saltos o acciones de velocidad (Martínez López, 2002; Berdejo y González, 2009; Martínez-López, Lara, Cachón, y Rodríguez, 2009). Actualmente, los test de salto vertical están estandarizados, son sencillos en su aplicación y se dispone de suficiente información según las diversas disciplinas deportivas (Lara, Abián, Alegre, y Aguado, 2004). No obstante, la necesidad de obtener datos más fiables ha fomentado el uso de plataformas de fuerza (González-Badillo y Ribas, 2002; Lara, Abián, Alegre, Linares, y Aguado, 2006; Juarez, Navarro, y Aceña, 2008), que permiten obtener indicadores adecuados para evaluar la manifestación explosiva y explosiva elástica de la fuerza desarrollada por la musculatura de las extremidades inferiores durante el salto vertical.

Aunque las evidencias de los estudios referidos anteriormente han constatado que el entrenamiento de fuerza de forma aislada, tanto mediante EE NM como de pliometría, ofrecen una alta efectividad sobre la manifestación explosiva y explosiva-elástica de la fuerza, no conocemos el efecto combinado de ambos. Por tanto, los objetivos del presente estudio consistieron en primer lugar en analizar la mejora producida por un programa de entrenamiento que combina el ejercicio de EE NM con la Pliometría, y en segundo lugar, conocer el orden de trabajo más adecuado de ambos métodos durante la sesión entrenamiento.

Partiendo de la hipótesis de que el entrenamiento de ejercicios pliométricos tras la aplicación de la EE NM conseguiría mayores mejoras en la altura y potencia de salto ABK y DJ.

Material y método

Participantes

Participaron 78 atletas de nivel medio, 40 mujeres y 38 hombres, procedentes de disciplinas de velocidad (100 y 200 m lisos, y 100 y 110 m vallas). Las características del grupo son las siguientes: una edad de 17.94 ± 1.44 años, un índice de masa corporal (IMC) de 20.5 ± 1.68 , una masa de 58.53 ± 8.05 kg; y una estatura de 1.68 ± 0.07 m. La media de tiempo que llevaban entrenando los participantes en su disciplina es de 5.64 ± 2.13 años. Ningún atleta había experimentado previamente con entrenamiento de electroestimulación.

Instrumentos

Una báscula y tallímetro *Seca* (sensibilidad de 100 mg y 1 mm respectivamente) fue empleada para la toma de datos. El IMC se calculó mediante la fórmula de Quetelec: $IMC = \text{masa (kg)} / \text{altura (m)}^2$. Para registrar los tests de salto se empleó una plataforma de contacto ORGANISER PSION 2 modelo CM, a partir de los datos de tiempo de vuelo y altura se calculó la potencia de salto según la fórmula de Lara et al. (2004). Para la aplicación del protocolo de EE NM se empleó un electroestimulador Megasonic 313-P4 Sport de Medicarim.

Procedimiento

Los atletas fueron distribuidos en 4 grupos por medio de un muestreo probabilístico aleatorio simple. La distribución y tratamiento de los cuatro grupos fue la siguiente:

Grupo 1 (Control): Formado por 20 atletas (9 mujeres y 11 hombres) de 17.05 ± 1.47 años, con un IMC de 20.0 ± 1.5 . Estos atletas realizaron dos veces por semana los saltos pliométricos pautados y recibieron como placebo una corriente analgésica del tipo TENS. En ningún caso se informó a los atletas de la diferencia respecto al tipo de corriente aplicada para eliminar posibles errores derivados del hecho. Se aplicó tanto la EE NM como la corriente TENS con el mismo aparato de electroterapia y se aplicó la corriente TENS de forma pulsátil de forma que se conseguía una contracción muscular. De este modo, aunque una corriente, la EE NM, tenía como finalidad el desarrollo de la fuerza y la otra, TENS, era meramente analgésica, los atletas percibían en ambos casos la contracción muscular salvándose así posibles errores derivados del hecho de conocer los atletas el tipo de corriente aplicada.

Grupo 2 (EE NM + Pliometría): Formado por 20 atletas (11 mujeres y 9 hombres) de 17.65 ± 1.47 años y un IMC de 20.7 ± 1.3 . Este grupo recibió primero el entrenamiento de EE NM y posteriormente realizó el protocolo de saltos pliométricos.

Grupo 3 (Pliometría + EE NM): Compuesto por 19 atletas (10 mujeres y 9 hombres) de 16.16 ± 1.72 años y 20.5 ± 2.2 de IMC. En este caso realizaron primero los saltos pliométricos y a continuación se les aplicó los 12 min de EE NM.

Grupo 4 (Simultáneo): Formado por 19 atletas (10 mujeres y 9 hombres), con una edad de 17.7 ± 1.49 años y un IMC de 20.7 ± 1.6 . Este grupo realizó el entrenamiento simultáneo, que consistió en realizar el mismo protocolo de saltos pliométricos que los tres grupos anteriores, pero al mismo tiempo que la EE NM, es decir, el atleta saltaba cuando sentía la corriente eléctrica y descansaba en el tiempo de reposo de la misma.

Protocolo de pliométricos

Los atletas realizaron un periodo de familiarización de dos días previo al entrenamiento, se les demostró visualmente y explicó repetidas veces la técnica de ejecución del salto pliométrico hasta que realizaron una correcta ejecución. Todos los atletas dieron voluntariamente su consentimiento informado por escrito, cumpliendo el estudio con las normas de la Declaración de Helsinki (rev. 2008).

1º Ejercicio: Consistió en 2 series de 8 repeticiones de saltos máximos elevando las rodillas hacia el pecho. No se permitió realizar botes pequeños en la recepción de los mismos, siendo la fase de amortiguación de un salto la fase excéntrica del siguiente salto. En el caso del grupo “Simultáneo”, este ejercicio se hacía de forma aislada, es decir, sin superponer la corriente eléctrica por la imposibilidad de cumplir el tiempo de recuperación del impulso eléctrico entre cada salto.

2º Ejercicio: Consistió en 2 series de saltos de 8 repeticiones partiendo desde la posición de cuclillas (flexión de rodillas y caderas manteniendo un ángulo libre de flexión pero siempre superior a 100°), donde se realizaban tres pequeños saltos previos a un cuarto salto máximo, ayudándose del impulso de las extremidades superiores. La amortiguación del mismo se hacía in situ, y se realizaban tres pequeños saltos de nuevo. En el grupo “Simultáneo” el atleta realizaba el salto máximo cuando sentía el paso de la corriente eléctrica.

3º Ejercicio: Incluyó 2 series de 8 repeticiones. Se realizó igual que el 2º ejercicio, con la salvedad de que la recepción del salto se efectuaba con una de las extremidades inferiores adelantada y en el primer pequeño rebote volvían a colocarse de forma paralela para realizar los otros dos botes desde esa posición.

Protocolo de electroestimulación

Se utilizaron electrodos adhesivos, tres de ellos de 5 x 5 cm² de tamaño y uno de 10 x 5 cm². Se colocaron a través de dos canales diferentes, uno para el vasto externo y otro para vasto interno y recto anterior. El electrodo proximal constaba de dos salidas, una de ellas conectaba con el electrodo del vasto externo para formar el canal 1 y la otra se unía con un cable bifurcado a los electrodos distales del vasto medial y del recto anterior formando el canal 2 (Basas, 2003). Se realizó el anterior procedimiento debido a que las diferencias de excitabilidad del vasto interno y el externo hacen necesaria la utilización de dos canales diferentes de EE NM (Coarasa et al., 2000), ya que la utilización de un sólo canal podría provocar desequilibrios musculares (Cometti, 1998). Se colocó el electrodo activo en el punto motor del músculo (Paillard et al., 2006; Babault et al., 2007; Benito, 2008), y el otro en la zona proximal, a la altura del triángulo femoral (Vanderthommen y Crielaard, 2001; Holcomb, 2005). Los electrodos fueron colocados, siguiendo este protocolo, por tres personas instruidas y entrenadas previamente.

Los parámetros de corriente utilizados fueron los siguientes: frecuencia de 150 Hz, un ancho de impulso de 350 Hz, un tiempo de contracción – reposo de 3 – 12 s, una posología de 2 d / sem y un tiempo total de aplicación de 12 min. La intensidad de corriente aplicada fue la máxima tolerada por el atleta, que arrojó una intensidad promedio de 26.39 ± 7.11 y 26.22 ± 5.88 mA en hombres y mujeres respectivamente. El ejercicio combinado con la EE NM se basó en ejercicios pliométricos.

Protocolo de realización de los tests de salto sobre la plataforma de contacto

Los participantes realizaron una batería de test compuesta por los saltos ABK y DJ el primer y último día del estudio, ambas pruebas presentan una fiabilidad de 0.96 (Bosco, 1994) y 0.92

(Peso, 2005) respectivamente. Con el fin de que los atletas se familiarizaran con los saltos y disminuir así la posibilidad de sesgo por una deficiente técnica del ejercicio, se realizaron dos días de entrenamiento la semana previa al comienzo del estudio. Tras un calentamiento reglado y dirigido por el investigador, consistente en 5 minutos de carrera, 10 minutos de estiramientos, 10 ejercicios de técnica de carrera y dos progresivos de 80 metros, los atletas realizaron en primer lugar el test de salto de ABK seguido del DJ. El primero consistió en realizar desde la posición de bipedestación, una flexión de rodillas para a continuación, y sin realizar parada en el movimiento, saltar lo más alto posible impulsándose con los miembros superiores (González, Machado, Navarro, y Vilas-Boas, 2006). El segundo consistió en dejarse caer desde una altura de 0,42 m, dejando libre el ángulo de flexión de rodillas, y colocando las manos en las caderas para rebotar rápidamente en el suelo con el menor tiempo de contacto y saltar lo más alto posible (Rodríguez, 1995; Cometti, 1998). Cada atleta realizó cuatro saltos máximos de cada tipo, de los que solo se tuvo en cuenta el de mayor altura. El tiempo de recuperación entre repeticiones fue de 60 s y entre los distintos saltos de 90 s.

Variables dependientes y análisis estadístico

Para el análisis estadístico se empleó el software SPSS v. 15. Aunque el agrupamiento de atletas se aleatorizó mediante sorteo, el análisis de datos (pre) en tests ABK y DJ ofreció algunas diferencias iniciales de altura de salto (m) entre los diferentes grupos, muy probablemente determinadas por el variado número de años de entrenamiento de los atletas. Debido a la necesidad de ajuste de estos valores y para anular su efecto diferencial se ha llevado a cabo un análisis de covarianza (ANCOVA), donde la covariante fue la medida pre de altura y potencia en cada prueba, también se empleó análisis de correlación de Pearson para establecer la relación entre variables dependientes. Se utilizaron como variables dependientes (VD) la altura y la potencia tras salto de ABK y DJ, y como variable independiente (VI) el tipo de entrenamiento. Para todas las pruebas estadísticas se utilizó el nivel de significación de $p < 0.05$.

Resultados

Análisis de diferencias en la altura (m) de salto Abalakov (ABK) y Drop jump (DJ)

En la Fig. 1 se representan las puntuaciones medias de altura de salto ABK y DJ en cada momento (pre/post) y grupo de atletas. El ANCOVA 4 (Grupo) x 2 (Momento), realizado sobre la altura (m) de salto Abalakov, mostró un incremento significativo ($p_s < 0.01$) de la altura de salto del grupo EE + PLIO (Media = 0.44 ± 0.6), respecto al grupo Simultáneo (Media = 0.42 ± 0.08), grupo PLIO + EE (Media = 0.40 ± 0.10) y grupo de Control (Media = 0.36 ± 0.07). No se hallaron diferencias entre el grupo de Control y los grupos PLIO + EE, ni respecto al grupo Simultáneo ($F < 1$). Por otra parte, el ANCOVA 4 (Grupo) x 2 (Momento) realizado sobre la medida de Drop Jump, mostró también un incremento significativo ($p < 0.05$) de la altura de salto del grupo EE + PLIO (Media = 0.36 ± 0.10) respecto al grupo de Control (Media = 0.29 ± 0.05), sin embargo, no se halló ningún otro efecto diferencial significativo entre el resto de grupos.

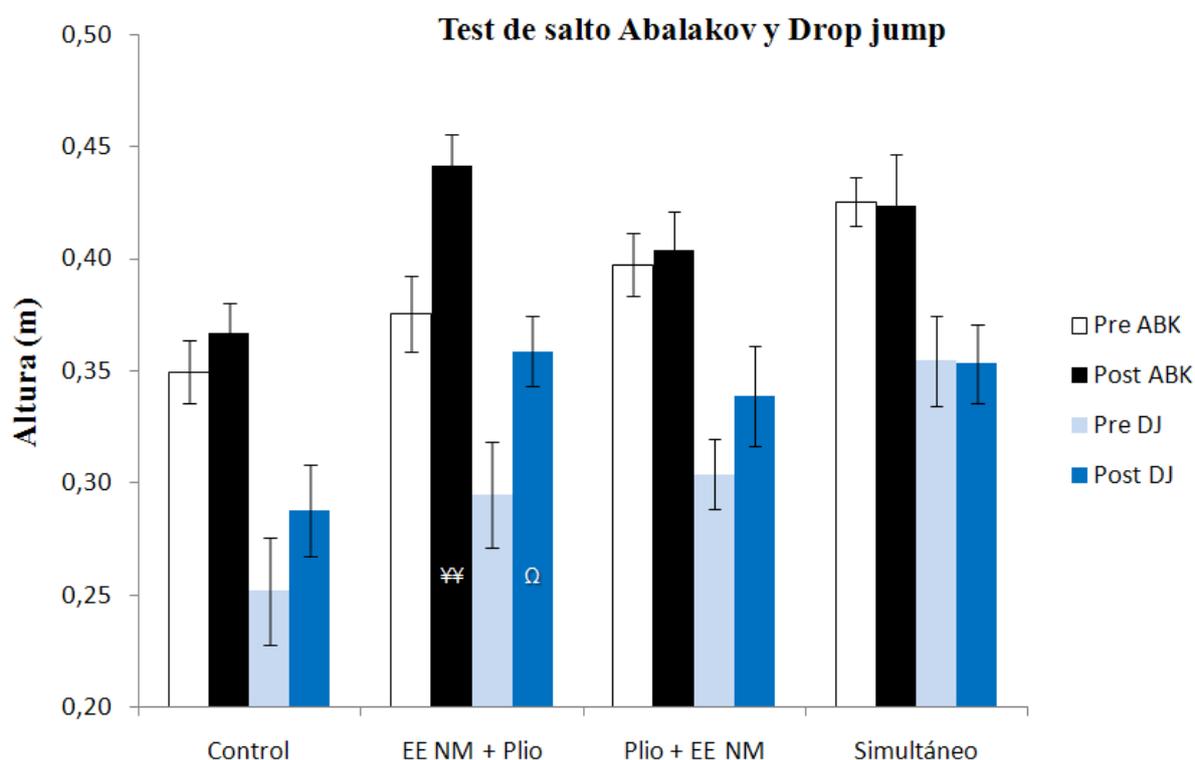


Fig. 1 Representación gráfica de las medidas de altura inicial (pre) y final (post) de salto Abalakov y Drop jump tras dos meses de entrenamiento. Efecto producido por el entrenamiento en cada grupo de atletas. Grupo 1 = Control, Grupo 2 = entrenamiento de electroestimulación (EE NM) + Pliometría (Plio), Grupo 3 = Plio + EE NM, y Grupo 4 = entrenamiento Simultáneo. El efecto intergrupos se indica: Ω denota $p < 0.05$ comparado con el grupo de Control de la misma medida. ¥¥ denota $p < 0.01$ comparado con el grupo de Control de la misma medida.

Análisis de diferencias en la potencia (W/kg) de salto Abalakov y Drop jump

En la Fig. 2 se representan las puntuaciones medias de potencia de salto ABK y DJ en cada grupo de atletas. El ANCOVA 4 (Grupo) x 2 (Momento), realizado sobre la potencia de salto Abalakov, mostró un incremento significativo ($p < 0.001$) de la potencia de salto del grupo EE + PLIO (Media = 59.97 ± 6.09), respecto al grupo de Control (Media = 51.81 ± 8.31), y también ($p_s < 0.01$) respecto al grupo PLIO + EE (Media = 55.81 ± 10.53) y grupo Simultáneo (Media = 57.73 ± 6.58). No se hallaron diferencias entre el grupo de Control y grupo PLIO + EE, ni respecto al grupo Simultáneo ($F < 1$). Por otra parte, el ANCOVA 4 (Grupo) x 2 (Momento) realizado sobre la potencia de Drop Jump, mostró también un incremento significativo ($p < 0.05$) de la potencia de salto del grupo EE + PLIO (Media = 50.76 ± 11.12) respecto al grupo de Control (Media = 43.35 ± 5.81), sin embargo, no se halló ningún otro efecto diferencial significativo entre el resto de grupos.

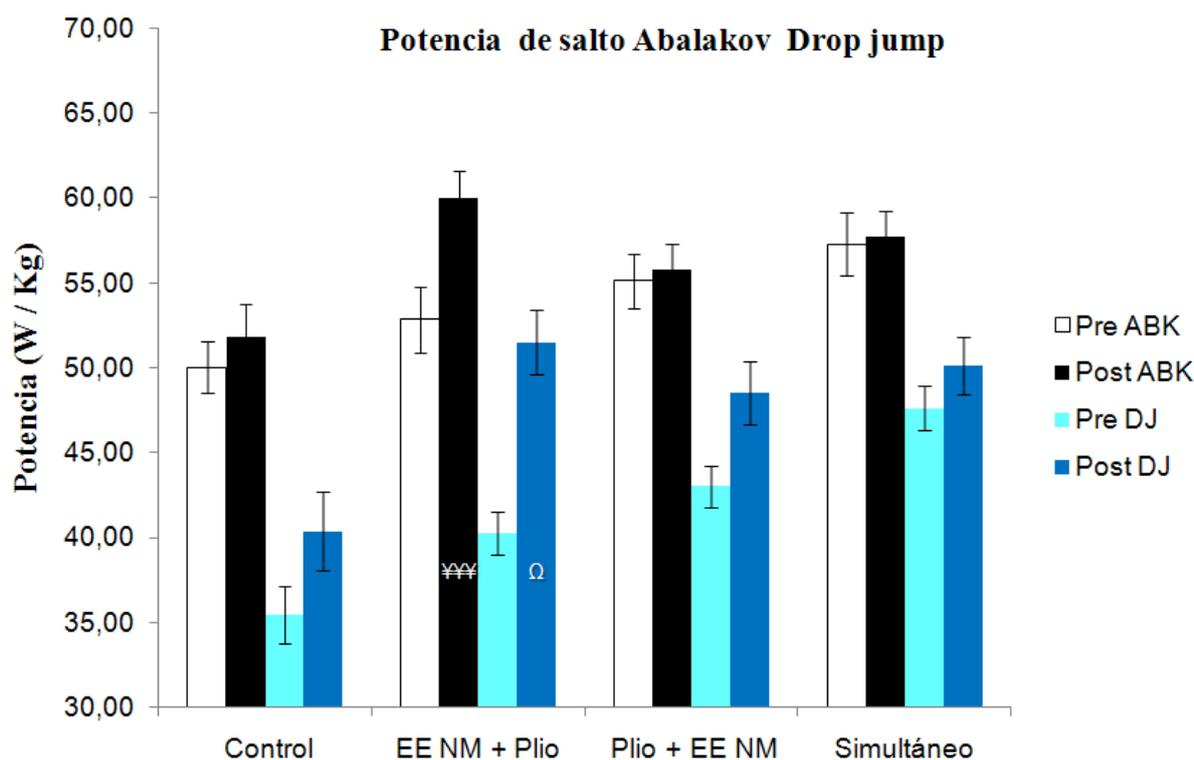


Fig. 2. Representación gráfica de las medidas de potencia inicial (pre) y final (post) de salto Abalakov y Drop jump tras dos meses de entrenamiento. Efecto producido por el entrenamiento en cada grupo de atletas. Grupo 1 = Control, Grupo 2 = entrenamiento de electroestimulación (EE NM) + Pliometría (Plio), Grupo 3 = Plio + EE NM, y Grupo 4 = entrenamiento simultáneo. El efecto intergrupos se indica: Ω denota $p < 0.05$ comparado con el grupo de Control de la misma medida. $\Xi\Xi\Xi$ denota $p < 0.001$ comparado con el grupo de Control de la misma medida.

Discusión

Los resultados de mejora obtenidos en esta investigación están en consonancia con estudios previos, donde se han aplicado técnicas de EE NM en el entrenamiento, tal y como resume la Tabla 1. A continuación, se discuten y señalan algunos aspectos de interés referentes a las contracciones voluntarias en los entrenamientos, tipo de ejercicios (saltos pliométricos), características de los sujetos (novatos/profesionales), así como otras variables (intensidades, frecuencias, etc...) relacionadas con la EE NM.

En una primera aproximación, Babault et al. (2007) consiguieron mejoras del 6,6% en la altura de salto DJ desde 0.40 m, un porcentaje inferior comparado con el 7.8 y 11.2% obtenido por este estudio, en DJ y ABK respectivamente, tras recibir un entrenamiento de EE NM + pliometría. Posiblemente, esta diferencia sea debida a que Babault et al. (2007) no aplicaron ninguna contracción voluntaria en sus entrenamientos, mientras que los atletas del grupo 2 realizaban tras la EE NM ejercicios pliométricos. Señalar además, que la intensidad de corriente que utilizamos fue muy superior a la que utilizó Babault, máxima intensidad tolerada frente al 60% de la contracción máxima voluntaria respectivamente.

Aunque los resultados de investigaciones sobre los efectos de la EE NM en la fuerza son mayoritariamente satisfactorios, también existe disparidad en los mismos. Así, el porcentaje de mejora anterior (11.3%) contrasta con los obtenidos por Hainaut et al. (1992), los cuales no

encontraron diferencias entre la utilización de un protocolo de EE NM sin combinar con ejercicios voluntarios, o los de Venable et al., (1991), que no consiguieron incremento significativo de la altura de salto entre un grupo que realizaba entrenamiento de musculación 3 días por semana y un segundo grupo al que además del entrenamiento de musculación se le aplicó EE NM. Es posible que las diferencias en cuanto a los resultados obtenidos en otros estudios se deba a la baja frecuencia que utilizaron, 50 Hz, muy lejos de la necesaria para aumentar la fuerza explosiva según Meañes et al. (2002). En contraposición, Duchateau y Hainaut (1993) afirmaron conseguir mejores resultados con la contracción voluntaria que con la intervención de trabajo exclusivo de electroestimulación. Como veremos, estudios posteriores concretan los efectos del entrenamiento de electroestimulación, aunque la comparación de resultados es complicada debido a la heterogeneidad de parámetros empleados.

Los resultados de la combinación de EE NM con el entrenamiento pliométrico del estudio han evidenciado un avance significativo en la mejora de salto de los atletas participantes. Una posible explicación a este hecho la ofrecieron Ward y Shkuratova (2002), que afirmaron que se conseguían mejores resultados combinando la EE NM y el ejercicio voluntario por dos motivos principales: por un lado, el hecho de realizar el doble de ejercicio, y por el otro, la inversión de reclutamiento de fibras que se produce con la EE NM. Esto último, supone un entrenamiento más completo al reclutar el ejercicio voluntario primero las fibras lentas y al hacerlo la EE NM en primer lugar con las rápidas. Además, el uso combinado de la EE NM estaría en todo momento recomendado debido a que la coordinación agonista-antagonista no se consigue sólo con la EE NM siendo necesario un ejercicio voluntario (Holcomb, 2005). Otro ejemplo más, puede atribuírsele a Maffiuletti et al. (2002) que obtuvieron mejoras del 14% en salto de DJ con caída de 40 cm desde la segunda semana de entrenamiento. Este porcentaje es superior al conseguido por el grupo 2 (EE NM seguido de saltos pliométricos) que consiguieron un 7.8%, y más alejado de Babault et al. (2007) con tan sólo un 6.6%. En este caso, Maffiuletti emplea en su protocolo la EE NM seguida de saltos pliométricos, con un protocolo bastante similar al utilizado en el presente estudio (Tabla 4).

Tabla 1. Comparativa de parámetros utilizados en entrenamiento de electroestimulación y resultados de salto de altura en estudios previos. T. contr/reposo = Tiempo de contracción o paso de corriente y tiempo de reposo, Hz (Hertzio), Ms (Microsegundos), s (segundos), min (minuto), sem (semana).

	Venable, 1991	Maffiuletti, 1995	Balbault, 2007	Actual, 2010
Frecuencia	50 Hz	115-120 Hz	100 Hz	150 Hz
Ancho de impulso	200 Ms	400 Ms	300-400 Ms	350 Ms
T. contr/reposo	15 - 60 s	4,25 - 17 s	5 - 15 s	3 - 12 s
Tiempo total	15,5 min	16 min	12 min	12 min
Frecuencia sem	3	3	3	2
Intensidad	60 % de contracción voluntaria isométrica máxima			Máx tolerada
Δ Mejora	No incremento	14 %	6.6% (DJ)	11.2 % (Grupo: EE NM + Plio)

Aunque Cometti (1998) afirmó que se obtienen mejores resultados de altura de salto y potencia cuando se combina adecuadamente el ejercicio voluntario con la EE NM, y que para alcanzar la misma fuerza el uso de la EE NM junto con el ejercicio voluntario reduce el tiempo necesario en una proporción de 1/3, se ha evidenciado que existen otros componentes que son determinantes en el procedimiento de este método de entrenamiento. Los resultados del presente estudio, revelan que entre los parámetros del protocolo de entrenamiento de la fuerza del tren inferior con EE NM cabe considerar dos aspectos más: por una parte, la

combinación de la EE NM con el entrenamiento voluntario de pliometría, y por otra, el orden de aplicación durante el entrenamiento. Estos beneficios han quedado patentes tanto en términos de altura, en los test de ABK y DJ expresados anteriormente, como en sus resultados de potencia situados en el 10.3 y 12.2% respectivamente. Estos resultados podrían ayudar a superar estados de estancamiento o retroceso, como por ejemplo Brocherie et al. (2005), que sorprendentemente obtuvieron una disminución de la altura de salto tras un entrenamiento exclusivo con EE NM.

Finalmente, habría que considerar que la mejora obtenida tras el entrenamiento EE NM + pliometría estaría también determinada por el nivel de los atletas, ya que el margen de adquisición no sería tan amplio como en los sujetos de carácter novel (Aceña et al., 2007). En un ejemplo de aplicación práctica, podríamos estimar que si un atleta que salta 0.48 m mejora un 11.2% tras el entrenamiento de EE NM + Plio, podría llegar a conseguir una marca de 0.53 m, lo que supondría, según Vittori (1985), una mejora aproximada de 2 decimas en su marca de los 100 m lisos. Además, las diferencias encontradas en el grupo 2 (EE NM + pliometría), tanto en el test de ABK como DJ, revelan la idoneidad de este programa de entrenamiento para este tipo de pruebas que dependen de los mismos factores estructurales y neuromusculares, tal y como expresa el elevado índice medio pre/post de correlación entre ambas ($r = 0.827$, $p < 0.01$).

Conclusión

Los resultados obtenidos permiten concluir que el entrenamiento combinado y el orden de aplicación previo de EE NM a la pliometría, incrementa sustancialmente la altura y potencia del salto Abalakov y Drop Jump. Por tanto, el orden en la ejecución combinada de electroestimulación y pliometría determina sustancialmente la mejora de la potencia muscular del atleta, y se confirma la hipótesis del presente trabajo que defendía que el mejor momento para realizar la pliometría era tras la aplicación de la EE NM.

Entre las limitaciones de presente estudio, cabe señalar la imposibilidad de control de efectos derivados de condiciones medioambientales, dietéticas, y extradeportivas que podrían influir sobre los resultados, sin embargo, la excelente mejora de rendimiento obtenido a partir del entrenamiento previo de electroestimulación a la pliometría, abre un campo muy importante que es necesario continuar. En primer lugar, conociendo cómo afectaría este entrenamiento a la adaptación futura del atleta, su compatibilidad con otros métodos, así como el nivel de rendimiento obtenido en función de la categoría amateur o profesional del deportista. Quedaría además por descubrir si estos resultados son extensivos en otras manifestación de la fuerza, por ejemplo la que interviene en los salto de contramovimiento (CMJ), triple salto y velocidad, establecer posibles correlaciones entre la intensidad de corriente y el porcentaje de mejora de fuerza muscular, comprobar si existe relación entre el porcentaje de grasa magra/grasa y la intensidad de corriente aplicada, así como medir si la cantidad de masa magra del sujeto interviene en el porcentaje de mejora de fuerza muscular.

Referencias bibliográficas

- Aceña, R.M.; Díaz, G.; González, J.M.; Juárez Santos, D.; Navarro, F. (2007). Efecto sobre la mejora y retención de la fuerza de un programa de entrenamiento de fuerza con cargas concentradas en sujetos no entrenados. *Revista Internacional de Ciencias del Deporte – RICYDE*, 7(3), 24-33.
- Babault, N.; Cometti, G.; Bernardin, M.; Pousson, M., y Chatard, J. (2007). Effects of electromyostimulation training on muscle strength and power of elite rugby players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(2), 431-437.
- Basas, A. (2003). *Técnicas fisioterapéuticas aplicadas en el tratamiento de la patología de la rodilla*. Madrid: MC Graw-Hill
- Benito, E. (2008). Electroestimulación: Aumento de la fuerza muscular medido por el test de Bosco. *Fisioterapia y Calidad de Vida*, 11(1), 27-33.
- Berdejo, D., y González, J. M. (2009). El entrenamiento de fuerza en los jugadores jóvenes del tenis. *Journal of Sport and Health Research*, 1(1), 46-55.
- Bosco, C. (1994). *Valoración de la fuerza con el test de Bosco*. Barcelona: Paidotribo.
- Brocherie, F.; Babault, N.; Cometti, G.; Maffiuletti, N., y Chatard, J. C. (2005). Electrostimulation training effects on the physical performance of ice hockey players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(3), 455-460.
- Child, R. B.; Brown, S. J.; Day, S. H.; Saxton, J. M., y Donnelly, A. E. (1998). Manipulation of knee extensor force using percutaneous electrical myostimulation during eccentric actions: Effects on indices of muscle damage in humans. *International Journal of Sports Medicine*, 19(7), 468-473.
- Cigdem, B.; Ozlen, S.; Ozlen, P.; Aylin, K., y Elif, A. (2002). Efficacy of two forms of electrical stimulation in increasing quadriceps strength: A randomized controlled trial. *Clinical Rehabilitation*, 16(2), 194-199.
- Coarasa, A.; Morós, T.; Marco, C., M., y Mantilla, C. (2000). Beneficio potencial de la electroestimulación neuromuscular del cuádriceps femoral para el fortalecimiento. *Archivos de Medicina del Deporte*, 17(79), 405-412.
- Colson, S.; Martin, A., y Van Hoecke, J. (2000). Re- examination of training effects by electrostimulation in the human elbow musculoskeletal system. *International Journal of Sports Medicine*, 21, 281-288.
- Cometti, G. (1998) *Los métodos modernos de musculación*. Barcelona: Paidotribo.
- Duchateau, J., y Hainaut, K. (1993). Behaviour of short and long latency reflexes in fatigued human muscles. *The Journal of Physiology*, 471(1), 787-799.
- Eriksson, E.; Haggmark, T.; Kiesseling, K-H., y Karlsson, J. (1981). Effect of electrical stimulation on human skeletal muscle. *International Journal of Sport Medicine*, 2, 18-22.
- Gondin, J.; Guetie, M.; Ballay, Y., y Martin, A. (2006). Neural and muscular changes to detraining after electrostimulation training. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 97(2), 165-173.
- González, J.M.; Machado, L.; Navarro, F.J., y Vilas-Boas, J.P. (2006). Acute effects of strength training from heavy loads and static stretching training on squat jump and countermovement jump. *Revista Internacional de Ciencias del Deporte-RICYDE*, 2(4), 47-56.
- González-Badillo, J., y Ribas, J. (2002). *Bases de la programación del entrenamiento de fuerza*. Barcelona: Inde.

- Hainaut, K., y Duchateau, J. (1992). Neuromuscular electrical stimulation and voluntary exercise. *Sports Medicine*, 14(2), 100-113.
- Herrero, J.; Izquierdo, M.; Maffiuletti, N., y García-López, J. (2006). Electromyostimulation and plyometric training effects on jumping and sprint time. *International Journal of Sports Medicine*, 27, 533-539.
- Holcomb, W. R. (2005). Is neuromuscular electrical stimulation and effective alternative to resistance training? *Strength and Conditioning Journal*, 27(3), 76-79.
- Juarez Navarro; F., Azaña, R.M.; Gonzalez, J.M., y Arija, A. (2008). Relación entre fuerza explosiva em Squat, acciones de salto y golpe de balón. *Revista Internacional de Ciencias del Deporte RICYDE*, 4 (10), 20-38.
- Kots, J.M., y Hvilon, V.A. (1971). *The training of muscular power by method of electrical stimulation*. Moscú: State central institute of physical culture.
- Kramer, J.; Lindsay, D., y Magee, D. (1984). Comparison of voluntary and electrical stimulation contraction torque. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 5, 324-331.
- Lake, D. (1992). Neuromuscular electrical stimulation. *Sports Medicine*, 13(5), 320-336.
- Lara, A.J.; Abián, J.; Alegre, L.M., y Aguado, X. (2004). Tests de salto con plataforma de fuerzas en voleibol femenino. *Revista de Entrenamiento Deportivo*, 2(18), 11-16.
- Lara, A.J.; Abián, J.; Alegre, L.M.; Linares, L., y Aguado, X. (2006). Jump tests on a force platform for applicants to a sports science degree. *Journal of Human Movement Studies*. 50, 133-148.
- Linares, M.; Escalante, K., y LaTouche, R. (2004). Revisión bibliográfica de las corrientes y parámetros más efectivos en la electroestimulación del cuádriceps. *Fisioterapia*, 26(4), 235-244.
- Lyons, CL; Robb, JB; Irrgang, JJ; Fitzgerald, GK (2005). Differences in quadriceps femoris torque when using a clinical electrical stimulation versus a portable electrical stimulation. *Physical Therapy* (88) 1: 44-51.
- Maffiuletti, N.; Cometti, G.; Amiridis, I.; Martín, A.; Pousson, M., y Chatard, J.(2000). The effects of electrostimulation of the training and basketball practice on muscle strength and jumping ability. *International Journal of Sports Medicine*, 21(6), 437-443.
- Maffiuletti, N.; Dugnani, S.; Folz, M.; Di Pierno, E., y Mauro, F. (2002). Effects of combined electrostimulation and plyometric training of vertical jump height. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(10), 1638-1644.
- Maffiuletti, N. (2008). Correspondence: Cautionis required when comparing the effectiveness of voluntary versus stimulated versus combined strength training modalities. *Sports Medicine*, 38(5), 437-440.
- Martínez-López, E.J.; Lara, A.J.; Cachón, J., y Rodríguez, I. (2009). Characteristics, frecuencies and type of physical exercise practiced by the adolescents. Special attention to the obese pupil. *Journal of Sport Health Research*, 1(2), 88-100.
- Martínez López, E.J. (2002). *Pruebas de aptitud física*. Barcelona: Paidotribo.
- Meañes, E.; Alonso, P.; Sánchez, J., y Téllez, G. *Electroestimulación aplicada*. (2002). Santiago de Compostela: Fundación para el desarrollo de la formación continuada
- Osborne, S.L. (1951). The retardation of atrophy in man by electrical stimulation of muscles. *Archives of Physical Medicine*, 32, 523-528
- Paillard, T.; Noé, F.; Passelergue, P., y Dupui, P. (2006). Electrical stimulation superimposed onto voluntary muscular contraction. *Sports Medicine*, 35(11), 951-966.

- Parker, M.; Bennet, M.; Hieb, M.; Hollar, A., y Roe, A. (2003). Strength response in human quadriceps femoris muscle during two neuromuscular electrical stimulation programs. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 33(12), 713-726.
- Peso, D. (2005). *Valoración de la potencia a través del Countermovement y Drop Jump en arqueros amateurs de fútbol*. Tesis doctoral. Universidad de Lomas de Zamora.
- Petrofsky, J. (2008). The effects of the subcutaneous fat on the transfer of current through skin and into muscle. *Medical Engineering and Physics*, 30(9), 1168-1176.
- Raquena, B.; Padial, P., y González-Badillo, J. J. (2005). Percutaneous electrical stimulation in strength training: An up data. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(2), 438-448.
- Rodríguez, F.F (1995). *Entrenamiento de la capacidad de Salto*. Barcelona: Stadium.
- Toca-Herrera, J. L.; Gallach, J. E.; Gómis, M., y González, L. M. (2008). Cross-education after one session of unilateral surface electrical stimulation of the rectus femoris. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(2), 614-618.
- Valli, P.; Boldrini, L.; Bianchedi, D.; Brizzi, G., y Miserocchi, G. (2002). Effects of low intensity electrical stimulation on quadriceps muscle voluntary maximal strength. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 42(4), 425-430.
- Vanderthommen, M., y Crielaard, J. M. (2001). Electromyostimulation en medicine du sport. *Revue Médicale de Liège*, 56(5), 391-395.
- Venable, M.; Collins, M.; Óbryant, H.; Denegar, C.; Sedivec, M., y Alon, G. (1991). Effects of supplemental electrical stimulation on the development of strength vertical jump performance and power. *Journal of Applied Sport Science Research*, 5(3),139-143.
- Vittori, C. (1990). El entrenamiento de la fuerza para el sprint. *Revista de Entrenamiento Deportivo*, 4 (3), 2-8.
- Ward, A. R., y Shkuratova, N. (2002). Russian electrical stimulation: The early experiments. *Physical Therapy*, 82(10), 1019-1030.