

Biomecánica, 14 (1), 2006, pp. 67-71

Entrenamiento combinado de electroestimulación concéntrica y pliometría frente a entrenamiento voluntario

J.A. HERRERO ALONSO¹, J.C. MORANTE RÁBAGO², J. GARCÍA LÓPEZ²

¹Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Europea Miguel de Cervantes, Valladolid, España.

²Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, Universidad de León, León, España.

Resumen

Se analizó si el entrenamiento con electroestimulación neuromuscular (EENM) dinámica podría mejorar la velocidad, la fuerza explosiva y la fuerza máxima. Se formaron 5 grupos de entrenamiento: EENM concéntrica (Ed), EENM concéntrica más pliometría (EdP), voluntario (V), voluntario con pliometría (VP) y grupo control (GC). Los grupos experimentales entrenaron el cuádriceps durante 4 semanas (16 sesiones), valorándose el tiempo de carrera en 20 m (T-20), los saltos verticales SJ y CMJ y la fuerza máxima isométrica de los extensores de la rodilla (FMI). Los protocolos de entrenamiento realizados no modificaron los tests T-20, SJ ni CMJ, pero se observaron incrementos significativos en la FMI (+30.5% entre T1 y T2 y entre T1 y T3). La EENM dinámica parece no mejorar las acciones explosivas y de velocidad, sin embargo mejora la fuerza máxima isométrica en la misma cuantía que lo hace el entrenamiento voluntario.

Palabras clave: Duty cycle, velocidad, salto vertical, fuerza.

Introducción

En trabajos llevados a cabo por nuestro grupo de investigación se ha observado que un programa de entrenamiento combinado de electroestimulación (EENM) y pliometría de 4 semanas de duración produce incrementos significativos en la velocidad de carrera, el salto vertical, la fuerza máxima isométrica y el área de sección transversal (Herrero y cols., 2005). Sin embargo, cuando la EENM se aplicó durante ese mismo periodo de tiempo como único método de entrenamiento, sólo se obtuvieron mejoras en la fuerza máxima isométrica y en el área de sección transversal, no modificándose el salto vertical y empeorándose la velocidad de carrera (Herrero y cols., 2005).

Otros estudios en los que la EENM se combinó con otros métodos de entrenamiento voluntario en los que predominaban las acciones pliométricas también obtuvieron mejoras en el salto vertical

(Maffiuletti y cols., 2000 y 2002; Malatesta y cols., 2003). Asimismo, los trabajos en los que se combinó la EENM con un entrenamiento específico de la modalidad que practicaban los sujetos de estudio, obtuvieron mejoras en tests de velocidad específicos de las disciplinas deportivas que realizaban los sujetos (Pichon y cols., 1995; Brocherie y cols., 2005). Sin embargo, ningún estudio ha demostrado que la EENM por sí sola, utilizada como único método de entrenamiento, tenga un efecto positivo sobre las acciones explosivas o de velocidad. Se ha sugerido que si la EENM se aplicase de forma dinámica, quizás las contracciones producidas por este método de entrenamiento pudiesen automatizarse por parte del sistema nervioso central, y a su vez, hacer que las contracciones musculares producidas se asemejen más a las producidas bajo circunstancias voluntarias. Son pocos los estudios que han estudiado los efectos de la EENM dinámica (Portmann y Montpetit, 1991; Ruther y cols., 1995; Willoughby y cols., 1996; Van Gheluwe, 1997; Stevenson y Dudley, 1995). Todos estos trabajos se centraron en analizar la influencia de este método de entrenamiento sobre diferentes manifestaciones de la fuerza muscular, sin embargo, ninguno de ellos

Correspondencia:

E-mails autores por orden según el artículo:

jaherrero@uemc.edu, inejmr@unileon.es,

inejgl@unileon.es.

evaluó la influencia de la EENM dinámica sobre las acciones explosivas o la velocidad. Por este motivo, los objetivos de este trabajo son: 1) analizar los efectos de un programa de entrenamiento con EENM concéntrica sobre la velocidad de carrera, el salto vertical y la fuerza máxima isométrica; 2) comparar las adaptaciones producidas por el entrenamiento con EENM concéntrica y el entrenamiento con EENM concéntrica combinado con pliometría; 3) comparar las adaptaciones producidas en cada uno de los casos anteriores con otros dos grupos que realicen el mismo entrenamiento de forma voluntaria sin EENM.

Métodos

Sujetos: En el presente estudio participaron de forma voluntaria 47 estudiantes de educación física. Tras ser informados del proceso experimental del que iban a formar parte, y antes de someterse a él, cada sujeto dio su consentimiento por escrito aceptando los riesgos y beneficios del estudio. Ninguno de los sujetos realizó algún tipo de ejercicio estandarizado por su cuenta a lo largo de la fase experimental. Los sujetos se distribuyeron aleatoriamente en 5 grupos, mostrándose las características de cada uno de ellos en la tabla 1.

Métodos: El entrenamiento con EENM concéntrica de los extensores de la rodilla consistió

en realizar 8 series de 10 extensiones de cuádriceps en una máquina de musculación (Salter Fitness, Tarragona, España). El ritmo de ejecución del ejercicio consistía en 1 s para realizar una extensión desde 90° a 180°, 1 s para flexionar hasta la posición inicial, y 1 s de reposo hasta la siguiente contracción. Durante la fase concéntrica de cada contracción se aplicaba un estímulo eléctrico (Compex Sport-P, Medicompex SA, Ecublens, Switzerland) de onda rectangular, bifásica y simétrica (400 is, 120 Hz) con un tiempo de contracción de 1 s y una relajación de 2 s entre contracciones. La intensidad de la corriente fue manejada por el investigador, ajustándose en cada contracción a la máxima que el sujeto podía tolerar (intensidad media: 58.2±15.1 mA). La recuperación entre cada serie fue de 3 minutos. Se utilizaron 3 electrodos autoadhesivos en cada muslo: un electrodo negativo (10x5 cm) se colocaba en la parte proximal del muslo, unos 10 cm por debajo de la espina iliaca anterosuperior; y dos electrodos positivos (5x5 cm) se colocaban sobre los puntos motores del vasto externo y vasto interno. Durante cada una de las extensiones los sujetos vencían una resistencia igual al 80% de su fuerza máxima isométrica es un test realizado en la misma máquina de musculación.

Cada sesión de entrenamiento pliométrico tenía una duración aproximada de 50 minutos (15 minutos de calentamiento, 25 minutos de trabajo pliométrico

GRUPO	CÓDIGO	EDAD(años)	TALLA(m)	PESO(kg)
Grupo de entrenamiento con EENM dinámica concéntrica (n=10)	Ed	21.4±1.4	1.76±0.05	79.2±10.8
Grupo de entrenamiento con EENM dinámica concéntrica más pliometría (n=11)	EdP	21.0±1.6	1.82±0.07	78.7±5.4
Grupo control de entrenamiento voluntario (n=8)	V	21.1±1.6	1.75±0.07	77.8±12.0
Grupo control de entrenamiento voluntario más pliometría (n=8)	VP	20.9±2.5	1.72±0.22	79.0±8.4
Grupo control (n=10)	GC	20.6±2.0	1.77±0.05	71.6±6.2

Tabla 1. Características de los 5 grupos de estudiantes de educación física que participaron en el presente estudio. Media ± desviación estándar

y 10 minutos de estiramientos). El trabajo pliométrico consistió en multisaltos horizontales y drop jumps. Durante las primeras 4 sesiones predominaron los multisaltos horizontales, habiendo una media de 87.5 saltos por sesión (350 saltos). En las últimas 4 sesiones hubo una predominancia de los drop jumps, con una media de 102.5 saltos por sesión (410 saltos).

Excepto el grupo control, todos los grupos realizaron 16 sesiones de entrenamiento a lo largo de 4 semanas. Los grupos Ed y V realizaron todos los entrenamientos de fuerza en la máquina de musculación mientras que los grupos EdP y VP realizaron 8 entrenamientos de fuerza y 8 entrenamientos de pliometría. Los grupos de entrenamiento voluntario (V y VP) realizaron el mismo trabajo que Ed y EdP respectivamente, pero sin la superimposición de EENM en cada una de las contracciones del entrenamiento de fuerza.

Antes del entrenamiento (T1), al término de los mismos (T2), y dos semanas después de haberlos finalizado (T3) todos los sujetos fueron evaluados mediante la siguiente batería de tests: a) Test de carrera de velocidad de 20 m con células fotoeléctricas (AFR Systems®); b) Test de saltos verticales SJ y CMJ sobre plataforma de contacto (Globus Italia, Codogno, Italy); c) Test de fuerza máxima isométrica realizado con una célula de carga (Globus Italia, Codogno, Italy) en la misma

máquina y con el mismo ángulo que en los entrenamientos.

Análisis de datos: Para el estudio de las diferencias entre los valores de las 3 sesiones de tests se utilizó un ANOVA de dos factores, donde el grupo de entrenamiento (Ed, EdP, V, VP y GC) y el tiempo (T1, T2 y T3) fueron las variables independientes. En el factor tiempo se realizó un ANOVA para medidas repetidas, con el objetivo de analizar las modificaciones producidas en cada grupo tras el entrenamiento. Para analizar las diferencias entre las modificaciones acaecidas en cada uno de los grupos entre las diferentes sesiones de valoración se realizó un análisis de la varianza de un factor (one way ANOVA). Cuando el estadístico F de ambos ANOVA resultaba estadísticamente significativo, se realizaba un análisis post-hoc de Newman Keuls.

Resultados y Discusión

Los datos obtenidos en cada una de las tres sesiones de valoración (T1, T2 y T3) para cada uno de los grupos de entrenamiento se muestran en la tabla 2.

Los protocolos de entrenamiento con EENM concéntrica con o sin pliometría, así como los protocolos de entrenamiento voluntario con o sin pliometría no tuvieron ninguna influencia en la

GRUPO DE ENTRENAMIENTO					
TEST	Ed	EdP	V	VP	GC
T1 T-20 (s)	3.07±0.19	2.97±0.08	3.03±0.11	3.09±0.10	3.03±0.14
SJ (cm)	35.6±5.5	37.3±6.1	33.0±4.7	32.0±2.5	31.1±6.3
CMJ (cm)	40.6±6.1	40.6±6.1	40.6±6.1	40.6±6.1	34.7±5.8
FMI (kg·kg ⁻¹)	1.17±0.35	1.17±0.35	1.17±0.35	1.17±0.35	
T2 T-20 (s)	3.06±0.15	3.06±0.15	3.06±0.15	3.06±0.15	3.05±0.14
SJ (cm)	34.0±5.5	34.0±5.5	34.0±5.5	34.0±5.5	31.4±5.9
CMJ (cm)	38.1±6.1	38.1±6.1	38.1±6.1	38.1±6.1	34.6±5.4
FMI (kg·kg ⁻¹)	1.64±0.47	1.64±0.47	1.64±0.47	1.64±0.47	
T3 T-20 (s)	3.06±0.17	3.06±0.17	3.06±0.17	3.06±0.17	3.03±0.12
SJ (cm)	34.3±6.5	34.3±6.5	34.3±6.5	34.3±6.5	30.5±5.4
CMJ (cm)	38.6±7.3	38.6±7.3	38.6±7.3	38.6±7.3	33.4±5.0
FMI (kg·kg ⁻¹)	1.74±0.52	1.74±0.52	1.74±0.52	1.74±0.52	

Tabla 2. Resultados obtenidos en cada una de las sesiones de valoración (T1, T2 y T3) en los cinco grupos de estudiantes de educación física. Los valores se expresan como media ± desviación estándar. T-20 = tiempo de carrera en 20 metros; SJ = salto desde posición de squat; CMJ = salto con contramovimiento; FMI = fuerza máxima isométrica de extensión de cuádriceps

velocidad de carrera ni en la altura de los saltos verticales realizados. No obstante, todos los protocolos de entrenamiento realizados mejoran la fuerza máxima isométrica de los extensores de la rodilla sin que existan diferencias entre los protocolos de entrenamiento voluntario y los protocolos de entrenamiento con EENM.

Los protocolos de entrenamiento con EENM no mejoraron las acciones explosivas ni la velocidad. La razón que justificar este hecho puede ser el *duty cycle* utilizado en las sesiones de entrenamiento. El *duty cycle* o relación entre el tiempo de contracción y el tiempo total de un ciclo contracción-reposo, debe ser aquel que minimice los efectos de la fatiga (Hainaut y Duchateau, 1992). En el ámbito del entrenamiento con EENM, se ha propuesto que el *duty cycle* óptimo es 20% (ej. 10 s contracción y 40 de reposo), y que debería incrementarse gradualmente con la disminución de la fatiga, sin embargo, cuando las frecuencias de estimulación son muy elevadas (>50 Hz), esta relación debe ser mayor a fin de permitir a la musculatura recuperarse adecuadamente para la siguiente contracción (Holcomb, 1997). Lieber y Kelly (1993) compararon la fuerza generada por dos *duty cycles* (50% y 70%) y tres frecuencias de corriente (50, 30, 10 Hz), observando que cuanto mayor es la frecuencia, los *duty cycles* menores mantienen la fuerza de cada contracción durante más tiempo. En los grupos Ed y EdP, el *duty cycle* fue 33%, ya que la contracción se aplicaba durante 1 s, habiendo un tiempo de relajación entre cada dos contracciones consecutivas de 2 s. Sin embargo, esta relación podría analizarse de otro modo, ya que de los 2 s de reposo, uno de ellos lo empleaban los sujetos para frenar la carga mediante una contracción excéntrica del cuádriceps, por lo que el *duty cycle* podría ser de 66%. La razón por la cual se eligió

desde un principio este ritmo de ejecución del ejercicio (unos 90°•s-1), fue por ser uno de los ritmos más utilizados en los entrenamientos de fuerza convencionales. Sin embargo, la relación entre el tiempo de contracción y de reposo pudo resultar escasa, produciendo una exagerada fatiga en la musculatura y ocasionando una falta de especificidad entre los ritmos de entrenamiento (acciones de fuerza resistencia con una carga elevada y pequeños periodos de recuperación) y el ritmo de ejecución de los saltos verticales (acción máxima y explosiva, con una recuperación completa). Esta pudo ser la causa de la no mejora de los saltos verticales los grupos de entrenamiento. El estudio de cuáles deben ser los *duty cycle* óptimos para el entrenamiento isométrico y dinámico con EENM debe ser objeto de futuros estudios.

Las mejoras producidas en la fuerza máxima isométrica de los extensores de la rodilla fue de un 30.5% entre T1 y T2, manteniéndose esta mejora entre T1 y T3. Al igual que ha sido sugerido en otros trabajos, la EENM es un método eficaz para la mejora de la fuerza máxima, sin embargo y debido a la ausencia de diferencias significativas en la intersección entre ambas variables independientes, la EENM no es más efectiva que el entrenamiento voluntario de similares características (Hainaut y Duchateau, 1992; Bax y cols., 2005). Queda por saber si estas mejoras en la fuerza máxima se debieron a adaptaciones producidas a nivel neural o estructural. Aunque este aspecto no fue evaluado en el presente trabajo, teniendo en cuenta la duración del programa de entrenamiento (4 semanas), la mayoría de los estudios consultados parecen indicar que estas mejoras se obtuvieron como consecuencias de adaptaciones neurales (Maffiuletti y cols., 2000 y 2002; Gondin y cols., 2005).

VARIABLE	TIEMPO	GRUPO	AMBOS
T-20	0.455	0.000	0.994
SJ	0.890	0.000	0.997
CMJ	0.788	0.000	0.989
FMI	0.000	0.090	0.829

Tabla 3. Resultados del ANOVA de dos factores. T-20 = tiempo de carrera en 20 metros; SJ = salto desde posición de squat; CMJ = salto con contramovimiento; FMI = fuerza máxima isométrica de extensión de cuádriceps

Conclusiones

1) El protocolo de entrenamiento con EENM concéntrica no mejora las acciones explosivas y de velocidad, pero incrementa la fuerza máxima isométrica.

2) La suplementación de la EENM con trabajo pliométrico no resulta beneficiosa en las acciones explosivas y de velocidad. Futuros estudios deben utilizar unos *duty cycles* más específicos y combinar la EENM con pliometría para conocer si realizar ambos tipos de entrenamiento de forma conjunta resulta beneficioso en estas cualidades.

Los beneficios producidas por la EENM sobre la fuerza muscular, son similares pero no superiores a los logrados por entrenamiento tradicional con resistencias.

Bibliografía

1. **Bax L, Staes F, Verhagen A** (2005) Does neuromuscular electrical stimulation strengthen the cuadriceps femoris? A systematic review of randomised controlled trials. *Sports Med.* 35(3): 191-212.
2. **Brocherie F, Babault N, Cometti G, Maffiuletti N, Chatard JC** (2005) Electrostimulation training effects on the physical performance of ice hockey players. *Med. Sci. Sports Exerc.* 37(3): 455-460.
3. **Gondin J, Guette M, Ballay Y, Martin A** (2005) Electromyostimulation training effects on neural drive and muscle architecture. *Med. Sci. Sports Exerc.* 37(8):1291-1299.
4. **Hainaut K, Duchateau J** (1992) Neuromuscular Electrical stimulation and voluntary exercise. *Sports Med.* 14(2): 100-113.
5. **Herrero JA, Izquierdo M, Maffiuletti NA, García J.** Electromyostimulation and Plyometric Training Effects on Jumping and Sprint Time. *Int. J. Sports. Med.* 26:1-7.
6. **Holcomb WR** (1997) A practical guide to electrical therapy. *J. Sport Rehab.* 6(3): 272-282
7. **Lieber RL, Kelly MJ** (1993) Torque history electrically stimulated human quadriceps implications for stimulation therapy. *J. Orthop. Res.* 11:131-141.
8. **Maffiuletti NA, Cometti G, Amiridis IG, Martin A, Pousson M, Chatard JC** (2000) The effects of electrostimulation training and basketball practice on muscle strength and jumping ability. *Int. J. Sports Med.* 21(6): 437-443.
9. **Maffiuletti NA, Dugnani S, Folz M, Di Pierno E, Mauro F** (2002) Effect of combined electrostimulation and plyometric training on vertical jump height. *Med. Sci. Sports Exerc.* 34(10): 1638-1644.
11. **Malatesta D, Cattaneo F, Dugnani S, Maffiuletti NA** (2003) Effects of electromyostimulation training and volleyball practice on jumping ability. *J. Strength Cond. Res.* 17(3): 573-579.
12. **Pichon F, Chatard JC, Martin A, Cometti G** (1995) Electrical stimulation and swimming performance. *Med. Sci. Sport Exerc.* 27(12): 1671-1676.
13. **Portmann M, Montpetit R** (1991) Effects de l'entraînement par électrostimulation isométrique et dynamique sur la force de contraction musculaire. *Sci. Sports.* 6(3): 193-203.
14. **Ruther CL, Catherine LG, Harris RT, Dudley GA** (1995) Hypertrophy, resistance training, and the nature of skeletal muscle activation. *J. Strength Cond. Res.* 9(3):155-159.
15. **Stevenson SW, Dudley GA** (2001) Dietary creatine supplementation and muscular adaptation to resistive overload. *Med. Sci. Sports Exerc.* 33: 1304-1310.
16. **Van Gheluwe C, Duchateau J** (1997) Effects de la superposition de l'électrostimulation à l'activité volontaire au cours d'un renforcement musculaire en mode isocinétique. *Am. Kinésithér.* 24(6): 267-274.
17. **Willoughby DS, Simpson S** (1996) The effects of combined electromyostimulation and dynamic muscular contractions on the strength of collegue basketball players. *J. Strength Cond. Res.* 10(1): 40-44.