

EFFECTO DE LA POTENCIACIÓN POSTACTIVACIÓN MEDIANTE ELECTROESTIMULACIÓN COMO COMPLEMENTO AL CALENTAMIENTO PARA PRUEBAS DE CARÁCTER EXPLOSIVO

José Enrique Gallach¹, Luis-Millán González¹, David Pérez¹, José Pinsach², Samuel Rodríguez², Toni Martínez².

¹Facultad de Ciencias de la Actividad Física y Deporte (Valencia)

²MediCompex Ibérica

RESUMEN

El presente estudio busca comparar la eficacia de un calentamiento estándar con la de un calentamiento estándar+estimulación eléctrica muscular (EEM), en pruebas de fuerza explosiva. Se llevó a cabo con 22 sujetos, los cuales se sometieron a seis sesiones de adaptación a la EEM, mejorando la tolerancia a la electricidad un 189.65%. Se tomaron medidas del ácido láctico en sangre, de la altura alcanzada en SJ y CMJ, así como en velocidad en 20 m, inmediatamente después de realizar los dos métodos de calentamiento. Ninguna diferencia significativa en las pruebas se encontró entre ambos métodos de calentamiento. Se halló una mayor acumulación de ácido láctico en sangre cuando los sujetos realizaron calentamiento + electroestimulación ($t(21) = 2.89$ $p < 0.01$). Asimismo los sujetos que toleraron más EEM en las sesiones previas obtuvieron mejores resultados en la prueba de CMJ.

PALABRAS CLAVE.- Electroestimulación, potenciación-postactivación, calentamiento, ácido láctico.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad es bastante usual recurrir a técnicas previas a la actividad física o deportiva para influir en la respuesta del músculo esquelético en dicha actividad. Si bien estas técnicas pueden tanto aumentar como disminuir la capacidad de rendimiento neuromuscular en función de la fatiga que lleguen a producir (*para revisión 8,11*)

Entendemos por potenciación postactivación (PPA) el proceso por el cual se consigue incrementar la velocidad de aplicación de la Fuerza. Dicho de otro modo, tras someter a PPA a una fibra muscular, para desarrollar un grado de fuerza idéntico, el sistema nervioso central debe descargar a una frecuencia menor, lo que economiza el esfuerzo (economía) y permite alcanzar un nivel de fuerza concreto más rápidamente (eficacia). La PPA se puede desencadenar de modo endógeno, por medio de pulsos de alta frecuencia como los producidos al principio de los movimientos balísticos. O de modo exógeno, lo que conocemos como potenciación postactivación, entre las que destacan la PPA mediante estimulación eléctrica muscular (EEM), que será el objeto de estudio de nuestro trabajo.

Consultada la bibliografía encontramos diversos trabajos que se ocupan de la PPA mediante EEM, como los de Hamada et al. (2000), los de O'Leary et al. (1997 y 1998) o el trabajo de revisión de Requena et al. (2003) pero tanto los que recurren a la EEM como los que producen la PPA con contracciones musculares voluntarias (CMV) miden su efecto en acciones monoarticulares y con contracciones isométricas aisladas, que no siempre tienen una relación directa con las acciones propias de la mayoría de deportes.

Como bien apuntan Requena et al. (2003) sería conveniente evaluar el efecto de la PPA sobre acciones de tipo concéntrico en humanos, cuestión que hemos investigado en nuestro trabajo, centrándonos en la influencia que tiene la PPA del músculo cuádriceps femoral, tras un calentamiento convencional, en el rendimiento en pruebas de carácter explosivo como

son el detente vertical, el salto con contramovimiento y la carrera de 20 m a la máxima velocidad, más cercanas a las acciones de cualquier deporte.

MATERIAL Y MÉTODOS

Sujetos

22 sujetos, estudiantes de la Licenciatura de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte de la Universidad de Valencia, 4 mujeres y 18 hombres, dejaron firmado por escrito su consentimiento a participar de forma voluntaria en la presente investigación. Las características de los sujetos (media \pm desviación estándar (SD)) fueron las siguientes: edad, 18.64 ± 6.36 años; talla 174.46 ± 16.54 cm y un peso de 69.04 ± 16.34 kg. Ninguno de ellos padecía alteración o lesión alguna que les impidiera realizar actividad física similar a la desarrollada en la experimentación.

Material

Tanto para la medición del salto como para la velocidad sobre 20 m, se emplearon células fotoeléctricas conectadas a un cronómetro de precisión modelo ChronoMaster, marca Sportmetrics con una precisión de 0.001 s. Para las medidas de ácido láctico se empleó un analizador LT 1710 Lactate Pro™ (Arkay, Japón), con un rango de medida $0.8 \sim 23.3$ mmol/l y una precisión del 3 %, así como tiras reactivas lactate pro test.

La estimulación eléctrica muscular (EEM), tanto en la experimentación como en el proceso de adaptación, se llevó a cabo con electroestimuladores de la marca Compex®, modelo Sport Mi-500 dotados de sensores con tecnología Muscle Intelligence (Mi) los cuales disponen de una intensidad de corriente máxima de impulso de 120 mA y una carga eléctrica máxima por impulso de $96 \mu\text{C}$. Se utilizó lápices de búsqueda de punto motor desarrollados por la marca Compex®, gel conductor para electroterapia y electrodos flexibles autoadhesivos del tipo easy snaps de 5×5 cm y de 5×10 cm de la misma marca.

Para el control de la intensidad de la carrera durante el calentamiento recurrimos a cardiofrecuenciómetros de la marca Polar, modelo X-Trainer.

Las angulaciones de las articulaciones de rodilla y cadera fueron determinadas mediante goniómetro manual. Se utilizó báscula electrónica y tallímetro para la toma de datos antropométricos.

Procedimientos experimentales

Para habituar a los sujetos a soportar intensidades máximas en la EEM, durante las dos semanas previas a la toma de datos, fueron sometidos a un proceso de seis sesiones de EEM con el mismo programa que utilizaron el día de la experimentación. La evolución de la intensidad de EEM aumentó una media de un 189.65 % respecto de la primera sesión, llegando a una intensidad máxima promedio de $357 \mu\text{C}$.

La experimentación fue realizada en dos sesiones distanciadas en el tiempo 48 horas, entre las 14 y las 17 horas.

Cada sujeto realizó, las pruebas de salto y velocidad bajo dos condiciones previas distintas, a saber: a) calentamiento, b) calentamiento + EEM. Para elegir el orden en que los sujetos efectuaban las pruebas, se realizó un contrabalanceo, asignando a los sujetos a cada grupo de forma aleatoria. Así, la mitad de los sujetos en la primera sesión realizaron las pruebas bajo la condición (a) y la otra mitad bajo la (b), alternando un sujeto condición (a) y uno (b). En la siguiente sesión, se realizó las mismas pruebas bajo las mismas condiciones estándar de humedad, temperatura y hora pero variando las condiciones previas a las que se habían sometido los sujetos.

El orden en que se realizaron los protocolos fue el siguiente: (1) Búsqueda del punto motor, (2) calentamiento o calentamiento + EEM, (3) toma de lactato, (4) *squat jump* (SJ), (5) velocidad en 20 m, (6) *countermovement jump* (CMJ).

Protocolo de calentamiento

Se realizó un calentamiento estándar que comenzaba por una carrera continua de 15 min a una intensidad controlada con cardiofrecuenciómetros, de entre 130~140 ppm. A continuación se ejecutaban ejercicios de estiramiento, empleando el método descrito por Anderson (2002), de los siguientes grupos musculares: cuádriceps, isquiotibiales, gemelos y adductores. Durante los siguientes 10 min, los sujetos realizaron ejercicios de coordinación, y soltura (a trote suave: skipping, giros de tronco, circunducciones de brazos, trote lateral

cruzando piernas, trote hacia atrás, trote subiendo una rodilla al pecho). Para finalizar y como parte específica, se realizaron dos carreras progresivas de 40 m, en las que los últimos 10 m fueron a la máxima velocidad posible y dos ensayos de detente vertical. En total el calentamiento estándar duró 25 min.

Protocolo de estimulación eléctrica muscular (EEM)

Los dos días de la experimentación, previo al inicio del calentamiento, buscamos el punto motor óptimo para la colocación de los electrodos. Para encontrar dicha ubicación en el músculo cuádriceps femoral, los sujetos se sentaban colocando las piernas en flexión de $\approx 80^\circ$ sobre la extensión máxima. A una distancia de 7 cm del pliegue inguinal (16), en la parte central del músculo, se colocó un electrodo de 50 cm^2 , unido por un cable por su extremo negativo, mientras que el extremo positivo se unió a un "lápiz de punto motor". Sobre la zona del vasto externo del cuádriceps femoral se extendió gel conductor para electroterapia. Utilizando un programa de electroestimulación a una frecuencia de 8 Hz y aplicando una intensidad baja, se recorrió la superficie del vasto externo con la punta del lápiz de punto motor, hasta encontrar el lugar exacto en el que la respuesta muscular era más amplia. Tras retirar el gel conductor, se marcó el citado punto con un rotulador indeleble. Éste será el lugar donde posteriormente se situará el electrodo de 25 cm^2 para el extremo positivo. A continuación se procedió del mismo modo para encontrar el punto motor sobre el vasto interno.

Una vez localizado el punto motor y tras finalizar el calentamiento los sujetos del grupo de PPA mediante EEM se sentaban en una silla preparada de tal forma que el ángulo de flexión de cadera se situara $\approx 90^\circ$, con una flexión de rodillas de $\approx 80^\circ$ sobre la extensión máxima de la misma. Antes de aplicar la EEM se colocó una cinta alrededor de las piernas, que quedó fijada a la propia silla durante toda la experimentación y que impidió la extensión de rodillas más allá de la angulación anteriormente citada. Se empleó otra cinta, ajustada a la morfología de cada individuo, para sujetar la cadera e inmovilizar al sujeto en la silla evitando que se levantase a causa de la contracción del cuádriceps.

La forma de los impulsos aplicados en la EEM fue rectangular, con una corriente constante compensada, con la finalidad de excluir cualquier componente galvánico continuo, evitando así, la polarización residual de la piel. La anchura del impulso eléctrico estaba comprendida entre 30 y 400 microsegundos, aunque el propio electroestimulador mediante la función "Mi-SCAN" realizó ajustes individuales durante un test previo al comienzo del programa, averiguando la cronaxia individual y personal del músculo concreto de cada sujeto en el momento determinado en que se le aplica el programa. La duración total del programa fue de 3 min 27 s, desempeñando un total de 9 contracciones tetánicas de entre 3 y 6 s de duración con un tiempo de reposo de entre 11 y 21 s entre ellas. La frecuencia de la parte inicial, el reposo y la parte final del programa fue de 2 Hz mientras que la frecuencia de las contracciones tetánicas fue de 15 a 50 Hz aumentando en cada una de las contracciones tetánicas. La intensidad que se aplicó a cada sujeto el día de la experimentación, durante todo el programa de EEM, fue de un 90% de la intensidad máxima que cada uno de ellos fue capaz de soportar durante el proceso de adaptación.

Medición del ácido láctico

Una vez finalizado el periodo de calentamiento (a) o (b) se determinó, a través de un protocolo estándar descrito por Pyne et al. (2000), la concentración de ácido láctico, tomando muestras del dedo índice de los sujetos. Tras un minuto, con el resultado de esta prueba, en aquellos casos en que no se sobrepasó los $4 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ (24) se pasó a realizar los saltos y la carrera de 20 m, en aquellos casos en que el láctico acumulado fue mayor, se esperó tres minutos para pasar a las pruebas siguientes.

Test de salto vertical, SJ y CMJ

Ambos test de salto fueron realizados según el protocolo descrito por Finni (2000), pudiendo realizar los sujetos dos intentos separados entre sí 3 min. Para el posterior análisis se eligió el mejor de los intentos tanto de SJ como de CMJ, expresados en segundos.

Medición de la velocidad en 20 m

La prueba de 20 m de velocidad se realizó colocándose el sujeto en posición de salida en pie (piernas ligeramente separadas, brazos en oposición a las piernas), tras la línea de

salida determinada por el primer par de fotocélulas. El propio sujeto decidió el inicio del test, intentando recorrer los 20 m que separan los dos pares de fotocélulas en el menor tiempo posible. Los sujetos dispusieron de 2 intentos separados entre sí 3 min. Se analizó posteriormente la mejor marca de las dos carreras.

Análisis estadístico

Se utilizó la Hoja de Cálculo Microsoft® Excel 2000, para el registro de los datos y su tratamiento gráfico, y el programa SPSS-11.5 para Windows, para el tratamiento estadístico, todos bajo licencia de la Universidad de Valencia. Los resultados aparecen como valores medios y desviación estándar (SD). Para el estudio de las diferencias entre condiciones de calentamiento, se utilizó una prueba t-test para muestras relacionadas. El análisis de las relaciones entre variables se llevó a cabo mediante un coeficiente de correlación de Pearson. Para ambas pruebas se han aceptado como significativas aquellas diferencias, cuya probabilidad de ser debidas al azar, fue inferior al 5% ($p < 0.05$).

RESULTADOS

CMJ, SJ y velocidad 20 m

Los estadísticos descriptivos de las tres pruebas realizadas arrojaron los datos que se pueden observar en la tabla 1. Tanto en las dos pruebas de salto, como en la velocidad de desplazamiento en 20 m, no se encontraron diferencias significativas entre las dos condiciones de calentamiento a las que se sometieron los sujetos.

Tabla 1. Descriptivos de las pruebas de salto vertical (SJ y CMJ) y la velocidad de desplazamiento sobre 20 m

	N	calentamiento		Calentamiento + EEM	
		Media	SD	Media	SD
SJ (cm)	22	48.15	0.45	47.85	0.34
CMJ (cm)	22	41.92	0.33	42.20	0.92
Velocidad 20 m (s)	22	3.07	0.15	3.07	0.14

Durante la experimentación, los sujetos se sometieron a electroestimulación, siendo la media de la intensidad de $319 \pm 86.67 \mu\text{C}$. Esta variable cuando fue relacionada con las mejores marcas realizadas por los sujetos, independientemente del calentamiento que realizaran, mostró una correlación positiva ($r = 0.48$, $p < 0.05$) con respecto a la variable CMJ ($45.95 \pm 0.78 \text{ cm}$), como se puede observar en la figura 1.

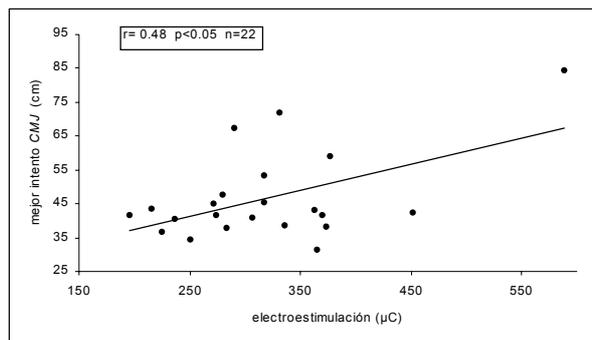


Figura 1. Relación entre la variable intensidad de la electroestimulación y el mejor salto en CMJ

Ácido láctico en sangre

Los niveles de ácido láctico en sangre fueron medidos inmediatamente después de terminar el calentamiento, como se puede observar en la figura 2. Entre ambas condiciones de calentamiento (calentamiento/calentamiento + EEM), se encontró diferencias significativas $t(21) = 2.89$ $p < 0.01$. En concreto, cuando los sujetos realizaron el calentamiento y EEM acumularon un 56% más de ácido láctico de media que cuando tan sólo realizaron calentamiento.

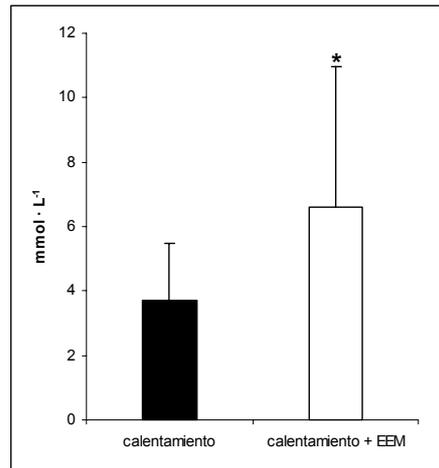


Figura 2. Ácido láctico tras calentamiento con y sin electroestimulación. El * significa diferencia significativa $p < 0.01$

DISCUSIÓN

Los dos métodos empleados en el presente estudio no han mostrado diferencias significativas en cuanto a su rendimiento en salto (SJ y CMJ), así como en la velocidad de desplazamiento (20 m) de los sujetos. En la literatura científica existente parece probado que en la EEM se produce un patrón de reclutamiento de las unidades motoras distinto (las unidades motoras que tienen los diámetros más gruesos son reclutadas en primer lugar), al que normalmente se ocasiona con contracciones voluntarias (5,8,11,14), este principio ha demostrado tener influencia directa sobre el rendimiento en actividades de tipo explosivo (20,6,17). Aunque hallamos autores que lo ponen en entredicho (15,1,4,9).

Una posible explicación a la luz de los datos ofrecidos en la presente comunicación, podría ser la mayor acumulación de ácido láctico en sangre al sumar la EEM al calentamiento estándar, 56% más que cuando los sujetos realizaron solamente calentamiento. Esta acumulación de láctico, ya apuntada por Okamoto et al. en 1995, podría tener un efecto negativo sobre la explosividad de la musculatura. Así quizá debido a la suma de esfuerzos (voluntario+EEM) que hemos diseñado en nuestro trabajo, el efecto de PPA que provocaría la EEM sola, al sumarla al completo protocolo de calentamiento ha podido provocar esta acumulación de láctico y enmascarado los efectos de la EEM.

En consecuencia, parece importante realizar investigaciones futuras en las que se realicen otros protocolos distintos, en los que quede aislada la variable EEM, para de esta manera poder conocer el verdadero alcance de la PPA.

No obstante, parece que las seis sesiones de EEM que hemos realizado a modo de adaptación, sí que pueden haber tenido influencia sobre la mejora en el salto (CMJ), hemos observado que se produce una correlación positiva entre la intensidad soportada por los sujetos durante este periodo y su mejor marca en CMJ. En investigaciones realizadas por Selkowitz en 1983 ya apuntaba que los márgenes de progresión en fuerza muscular de los sujetos estaban unidos a la facultad de los sujetos de tolerar intensidades de trabajo elevadas. A su vez, Alon et al. (1983) en una sola sesión de EEM encontraron incrementos de la fuerza del cuádriceps del orden del 13%. Por otro lado, no podemos dejar de señalar que estas mejoras pudieran ocultar el hecho de que las personas con más fuerza previa soportaran más intensidad de estimulación.

Podemos concluir que cuando el protocolo de calentamiento se añade la EEM, la suma de esfuerzos musculares (voluntarios y EEM) produce un aumento significativo del ácido láctico acumulado en sangre respecto al calentamiento sin EEM, no hallándose ninguna diferencia entre ambos métodos en el rendimiento en SJ, CMJ y velocidad en 20 m. Asimismo, parece necesario realizar procesos de adaptación, para mejorar la tolerancia a la EEM de los sujetos, ya que los progresos observados en el presente trabajo son del 189.65 % en seis sesiones de trabajo previo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Adams, G.R., Harris, R.T., Woodard, D., Dudley, G.A. (1993). Mapping of electrical stimulation using MRI. *J. Appl. Physiol.*, 74, 532-537
2. Alon, G., Allin, J., Inbar, G. (1983). Optimization of pulse duration and pulse charge during transcutaneous electrical nerve stimulation. *The Australian Journal of Physiotherapy*, 29, 195-201
3. Anderson, B. (2002). *Estirandose*. Barcelona. RBA
4. Bider-Macleod, S.A., Halden, E.E., Jungles, K.A. (1995). Effects of stimulation intensity on the physiological responses of human motor units. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 27, 556-565
5. Cabric, M., Appell, H.J., Resic, A. (1988). Fine structural changes in electrostimulated human skeletal muscle. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 57, 1-5
6. Colson S., Martin A., Cometti G., Van Hoecke J. (1999) Re-examination of training effects by electrostimulation in human elbow musculoskeletal system. Groupe Analyse du Mouvement, Université de Bourgogne. Dijon. Cedex
7. Cometti, G. (1998). *Los Métodos Modernos de Musculación*. Barcelona. Paidotribo.
8. Enoka, R.M. (1988). Muscle strength and its development: new perspectives. *Sports Med.*, 6,146-168
9. Feiereisen, P., Duchateau, J., Hainaut, K. (1997). Motor unit recruitment order during voluntary and electrically induced contractions in the tibialis anterior. *Exp. Brain Res.*, 114, 117-123
10. Finni, T., Komi, P.V., Lepola, V. (2000). In vivo human triceps surae and quadriceps femoris muscle function in a squat jump and counter movement jump. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 83,416-26
11. Hainaut, K., Duchateau, J. (1992). Neuromuscular electrical stimulation and voluntary exercise. *Sports Med.*, 14,100-113
12. Hamada T., Sale D.G., Macdougall J.D. (2000). Postactivation potentiation in endurance-trained male athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 32 (2): 403-11
13. Herrero, J.A., García, D., García, J. (2003). Influencia de la estimulación eléctrica neuromuscular sobre diferentes manifestaciones de la fuerza en estudiantes de educación física. *Efdeportes*, 58,1-5.
14. Heyters, M., Carpentier, A., Duchateau, J. Hainaut, K. (1994). Twitch analysis as an approach to motor unit activation during electrical stimulation. *Can. J. Appl. Physiol.*, 19, 451-461
15. Knaflitz, M., Merletti, R., De Luca, C. (1990). Inference of motor unit recruitment order in voluntary and electrically elicited contractions. *J. Appl. Physiol.*, 68, 1657-1667
16. Koutedakis, Y., Frischknecht, R., Vrbová, G., Craig Sharp, N.C., Bugdett, R., (1995). Maximal voluntary quadriceps strength patterns in olimpic overtrained athletes. *Med. Sci. Sport Exerc.*, 27, 566-572
17. Maffiuletti, N.A., Cometti, G., Amiridis, I.G., Martin, A., Pousson, M., Chatard J.C. (2000). The effects of electrostimulation training and basketball practice on muscle strength and jumping ability. *Int. J. Sports Med.*, 21, 437-443
18. O'Leary D.D., Hope K., Sale D.G. (1997). Posttetanic potentiation of human dorsiflexors. *J Appl Physiol.*, 83 (6): 2131-8
19. Okamoto, T., Kubota, N., Takahata, K., Takahashi, T., Goshima, K., Kishi T. (1995). Protective effect of coenzyme Q10 on cultured skeletal muscle cell injury induced by continuous electric field stimulation. *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 216,1006-12
20. Portmann, M., Montpetit, R. (1991). Effets de l'entraînement par électrostimulation isométrique et dynamique sur la force de contraction musculaire. *Science & Sport* 6, 193-203
21. Pyne, D. B., Boston, T., Martin, D. T., Logan, A. (2000). Evaluation of the Lactate Pro blood lactate analyser. *Eur. J. Appl. Physiol*, 82,112–116
22. Requena, B., Zabala, M., Cristóbal, S., Chiroso, I., Viciano, J. (2003). La potenciación post-activación muscular mediante estimulación eléctrica: una revisión. *Revista Digital*, 57. Año 8. <http://www.efdeportes.com/>
23. Selkowitz, D. (1983) Improvement in isometric strenght of the cuadriceps femoris muscle alter training with electrical stimulation. *Physical Therapy*
24. Sjodin, B., Jacobs, I. (1981). Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance. *Int. J. Sports Med.*, 2, 23–26