PubliCE, (PubliCE) 2011

Monograph

Influencia del Tipo de Contracción Muscular y del Género sobre la Potenciación Post-Activación de los Miembros Superiores e Inferiores durante Movimientos Explosivos en Esgrimistas de Elite

Charilaos K Tsolakis, Gregory C Bogdanis, Anni Nikolaou y Elias Zacharogiannis

Department of Physical Education and Sport Science, University of Athens, Greece.

RESUMEN

El propósito de este estudio ha sido evaluar el efecto de la potenciación post-activación (PAP) con contracciones isométricas y pliométricas sobre el rendimiento explosivo de los miembros superiores e inferiores en atletas de elite masculinos y femeninos. Trece esgrimistas masculinos y femeninos de nivel internacional realizaron cuatro protocolos de press de banco y pierna isométricos (3 series de 3 s) o pliométricos (3 series de 5 repeticiones), con un diseño aleatorio inter-sujeto. Antes e inmediatamente después del tratamiento de PAP y después de 4, 8, 12 min, se midió el rendimiento explosivo por medio de un salto con contra-movimiento (CMJ) o un lanzamiento en press de banco. El análisis estadístico reveló un efecto de tiempo significativo para la potencia pico de las piernas durante el CMJ ($p < 0.001$) solo para los hombres, con valores menores que los iniciales después del PAP isométrico en los minutos 8 y 12 (del 7.5% (CI95% = 3.9-11.2%) y del 8.7% (CI95% = 6.0-11.5%, respectivamente), mientras que después del PAP pliométrico la potencia pico de las piernas permaneció sin cambios. Se observó una correlación negativa y significativa entre la fuerza de las piernas (según lo expresado por el rendimiento en 1 RM en el ejercicio de press de pierna) y el cambio en la potencia pico de las piernas entre los valores iniciales y los registrados al minuto 12 de la recuperación, solo en los esgrimistas masculinos ($r = -0.55$, $p < 0.05$), sugiriendo que los individuos más fuertes pueden mostrar una mayor disminución en la potencia pico de las piernas. En base a los resultados mencionados, se concluye que el rendimiento de la potencia del tren inferior en los esgrimistas de nivel internacional puede verse afectado de manera negativa luego de la realización de contracciones isométricas y, por lo tanto, debería desaconsejarse la utilización de ejercicios isométricos para inducir la PAP con el protocolo prescrito en el presente estudio. Además, se deben tener en cuenta el género y el nivel de fuerza en la aplicación práctica de la PAP.

Palabras Clave: entrada en calor, salto vertical, press de banco, fatiga, isometría, pliometría

INTRODUCCIÓN

La esgrima se caracteriza por series breves y frecuentes de ejercicios de alta intensidad, espaciadas por períodos de actividad de baja intensidad y recuperación. Los esgrimistas en una típica competencia de esgrima se ven obligados a seguir repetidos patrones cinéticos precisos defensivos y ofensivos, que a menudo requieren de una elevada fuerza y potencia muscular (Barth y Beck, 2007). Recientemente, se ha investigado la importancia de la fuerza y la potencia y su relación con el rendimiento funcional en la esgrima (Tsolakis et al., 2010). Los resultados de dicho estudio indicaron que los ciclos de fuerza explosiva concéntrica y de estiramiento-acortamiento rápido de los músculos de las piernas son importantes para elevar al máximo las características de la potencia funcional de las piernas en los esgrimistas de elite.

Debido a la importante función de la potencia muscular y la explosividad de las acciones musculares para mejorar el rendimiento, varios estudios han analizado la efectividad de diferentes métodos de entrenamiento propuestos para mejorar la potencia (Kraemerand Newton, 2000; Newton y Kraemer, 1994). La potenciación post-activación (PAP) es una técnica común utilizada para inducir un incremento a corto plazo en la producción de fuerza y potencia durante el entrenamiento y la competencia (Hodgson et al., 2005; Robbins, 2005). La PAP es el fenómeno en el que las contracciones musculares intensas aumentan la posterior producción de fuerza y potencia por encima de los valores iniciales (Sale, 2002). Se ha propuesto que los mecanismos que provocan la PAP están relacionados con los cambios metabólicos dentro del músculo (i.e. la fosforilación de las cadenas livianas de la miosina; (Grange et al., 1993) como también con una alteración en la excitabilidad de las motoneuronas-α, lo cual se reflejaría en los cambios en el reflejo-H (Misiazek, 2003; Zucker y Regehr, 2002).

Las contracciones dinámicas (Chatzopoulos et al., 2007; Kilduff et al., 2007), isométricas (French et al., 2003; Gosen y Sale, 2000; Hamada et al., 2000) y balísticas o pliométricas (Hilficker et al., 2007; Masamoto et al., 2003; Till y Cooke, 2009) a niveles máximos o sub-máximos se han utilizado como ejercicios potenciadores para mejorar el rendimiento del tren superior e inferior en varias tareas. Sin embargo, no es claro qué tipo de contracción provoca los mayores efectos de PAP.

Entre la cantidad de factores que pueden influenciar potencialmente la magnitud de la PAP, el efecto del género ha recibido poca atención (Rixon et al., 2007; Witmer et al., 2010). Además, ha habido muy pocos estudios aplicados que comparan los diferentes métodos para generar la PAP en las poblaciones atléticas competitivas (o de elite) (Rixon et al., 2007; Till y Cooke, 2009). El estudio de los individuos altamente entrenados puede proporcionar más evidencia con respecto a la efectividad de los diferentes tipos de ejercicio utilizados para alcanzar la PAP debido a una posible mayor respuesta de la PAP de los atletas, en comparación con los individuos más débiles o sin entrenamiento (Hamada et al., 2000; Rixon et al., 2007; Terzis et al., 2009; Witmer et al., 2010).

Por lo tanto, el objetivo principal de este estudio ha sido analizar el efecto de las contracciones isométricas y pliométricas sobre el rendimiento explosivo de los miembros superiores e inferiores, según lo medido por los lanzamientos en press de banco y los saltos con contramovimiento (CMJ), y comparar su efectividad en los esgrimistas masculinos y femeninos de nivel de elite. Se ha planteado la hipótesis de que los hombres y, en general, los participantes más fuertes tendrían un efecto de PAP mayor en comparación con las mujeres y los participantes más débiles. Un segundo objetivo ha sido determinar el tiempo óptimo entre la intervención de la PAP y la posterior actividad explosiva.

MÉTODOS

Participantes

La muestra consistió de 23 (13 hombres y 10 mujeres) esgrimistas de nivel internacional. Todos los atletas eran miembros del equipo nacional griego y contaban con una considerable experiencia en competencias internacionales. En la Tabla 1 se muestran las características físicas de los participantes. Todos los individuos tenían al menos un año de experiencia en entrenamientos con sobrecarga y estaban familiarizados con el press de banco y de pierna, como parte de sus sesiones de entrenamiento habitual. Antes de la recopilación de los datos y luego de una minuciosa descripción de los riesgos implicados, todos los participantes dieron su consentimiento informado. El estudio fue aprobado por el Comité de Revisión Institucional local y todos los procedimientos se llevaron a cabo según la Declaración de Helsinki de 1975, revisada en 1996. Este estudio se realizó durante las últimas dos semanas de un campamento de entrenamiento de 4 semanas de fuera de temporada, en el que los esgrimistas realizaron juegos recreativos de equipo (voleibol, fútbol, baloncesto).

	Hombres (n =13)	Mujeres (n =10)
Edad (años)	21.8 (3.7)	22.7 (4.8)
Altura (m)	1.79 (.05)	1.69 (0.07) **
Peso (kg)	76.1 (7.8)	60.9 (4.6) **
Grasa corporal (%)	13.5 (4.4)	21.5 (4.6) **
1RM press de pierna (kg)	219 (44)	118 (29) **
1RM press de banco (kg)	77 (8)	38 (5) **

Tabla 1. *Características descriptivas y fuerza máxima (1 repetición máxima; 1 RM) de los participantes. Los datos son medias (± DE). **p < 0.01 en comparación con los hombres.*

Diseño Experimental y Procedimientos

Este estudio fue diseñado para investigar el efecto de la PAP sobre el rendimiento explosivo del tren superior e inferior en esgrimistas de nivel internacional de ambos géneros. De manera más específica, se utilizó un diseño intra-sujeto aleatorio con medidas repetidas, que incluyó 2 tratamientos (ejercicios isométricos y pliométricos) para la comparar los efectos de la PAP sobre el rendimiento en lanzamientos desde press de banco y sobre el salto. Además, a fin de evaluar las interacciones entre fatiga y PAP sobre la producción de potencia del tren superior e inferior, las pruebas de rendimiento se realizaron inmediatamente después de las intervenciones y se repitieron cada 4 min hasta los 12 min (Behm et al., 2004; Kilduff et al., 2007).

A cada participante se le pidió que asistiera al laboratorio al menos en cinco ocasiones separadas por 48 horas, durante un período de 2 semanas. En la primera sesión de entrenamiento (sesión de familiarización) se midió la estatura, la masa corporal y los pliegues cutáneos, y los participantes se familiarizaron con los procedimientos del estudio realizando series de saltos con contramovimiento y lanzamientos balísticos en banco con 2-3 minutos de recuperación. Además, se determinó la fuerza en una repetición máxima (1 RM) de los participantes para los ejercicios de press de banco y el press de pierna utilizando una máquina Smith estándar y una máquina de press de pierna de 45o, respectivamente. Las dos pruebas estuvieron separadas por 30 min de descanso. El protocolo utilizado en ambas pruebas fue el que diseñaron Baechle et al. (2000) y la 1 RM se definió como la sobrecarga máxima que puede levantarse una vez utilizando la técnica apropiada. Para el press de pierna, los sujetos adoptaron la posición de press con las rodillas flexionadas a 90o. El ángulo de la rodilla se evaluó con un goniómetro y el asiento se ajustó según correspondía. Antes de cada prueba se realizó una entrada en calor general estandarizada de 5 min de trote leve y estiramientos. Todos los procedimientos de prueba fueron supervisados y evaluados de acuerdo a las directrices del Colegio Americano de Medicina Deportiva (2000).

Durante cada día experimental (visitas 2, 3, 4 y 5) y antes de las mediciones de los valores iniciales del rendimiento (salto con contramovimiento o lanzamiento desde press de banco), los participantes realizaron una entrada en calor estandarizada de 5 min de trote leve, seguido de un estiramiento estático leve, sostenido durante 15 s, de la musculatura de los miembros superiores (bíceps, tríceps, deltoides y el pectoral mayor) o inferiores (cuádriceps, músculos isquiotibiales, gemelos y glúteos), similar a la que realizan antes de la competencia. Después de la entrada en calor se realizaron dos series de entrada en calor específicas de 10 repeticiones al 50% de 1RM y 5 repeticiones al 75% de 1RM. Se utilizó un descanso de 3 min entre las series (Hanson et al., 2007). Luego, los sujetos completaron ya sea tres CMJ o bien tres lanzamientos en press de banco (BP) a fin de obtener los valores iniciales con 60 s entre los esfuerzos [ICC = 0.983 $p < 0.001$ y coeficiente de variación (CV) = 2.7% para CMJ e ICC = 0.994, $p < 0.001$ y CV = 2.0% para BP]. Antes de las intervenciones de PAP (isométricas o pliométricas en orden aleatorio), los participantes realizaron un período de descanso de 3 min sentados. Luego, inmediatamente después del tratamiento de PAP (dentro de los 15 seg) y cada 4 min hasta 12 min (4, 8 y 12 min), se repitieron las pruebas de rendimiento. Este intervalo de tiempo (4 min) se eligió porque representa aproximadamente la pausa entre dos *matchs* consecutivos durante las competencias de esgrima (www.fie.ch/fencing/rules.aspx).

La potencia del tren superior antes y después del tratamiento PAP se evaluó mediante lanzamientos balísticos en press de banco utilizando una máquina Smith con una carga del 40% de la 1RM individual (Kilduff et al., 2007). En cada lanzamiento en press de banco, se les ordenó a los participantes que lanzaran la barra de manera explosiva y enérgica tan alto como les fuera posible desde la posición inicial sobre el pecho (Cronin et al., 2003; Newton et al., 1996). El ICC para esta prueba fue de (0.993, $p < 0.001$). Se registró la ubicación de las manos y se mantuvo constante en todas las sesiones (Murphy et al., 1995). La estructura de la máquina permitió una inmovilización segura de la barra, protegiendo el cuerpo de los participantes de cualquier posible impacto. Para obtener el desplazamiento en relación con el tiempo se utilizó un encoder rotatorio (Ergotest Technology, A.S. Langensud, Noruega), que se ha utilizado previamente (Baker, 2003; Wilson

et al, 1993), fijado al extremo de la barra. Los resultados se introdujeron en un microcomputador, y se calculó la velocidad lineal y la producción de potencia.

Para la medición del rendimiento del tren inferior, los participantes realizaron un salto con contramovimiento (CMJ) con las manos en las caderas y los codos arqueados hacia afuera. La producción de potencia pico de las piernas se calculó utilizando la ecuación de Sayers et al. (1999), a partir de la altura de salto medida con una plataforma de contacto Ergojump (Ergojump, Psion XP, MA.GI.CA., Roma, Italia), según la descripción de Bosco et al. (1983). A todos los participantes se les ordenó dejar la plataforma con las rodillas y los tobillos extendidos y tomar contacto con el suelo en posición erguida. El ICC para la producción de potencia pico durante las pruebas de CMJ fue de 0.98 ($p < 0.001$).

Actividades de Potenciación Post-Activación para el Tren Inferior

La actividad pliométrica para inducir PAP en el tren inferior fue el salto con elevación de rodillas. Los participantes realizaron 3 series de 5 repeticiones máximas del ejercicio de salto con elevación de rodillas, con 60 s de recuperación entre cada esfuerzo. Este ejercicio pliométrico da como resultado un elevado reclutamiento de las fibras musculares (Masamoto et al., 2003; Till y Cooke, 2009) y los esgrimistas lo utilizan de manera empírica como parte de las actividades de entrada en calor justo antes de la competencia para mejorar su rendimiento.

La actividad isométrica de PAP para el tren inferior fue el press de pierna isométrico máximo. Se fijó una cadena de eslabones de 8 mm al press de pierna de 45°, permitiendo una inmovilización completa del sujeto en la posición deseada (flexión de rodilla de 90°), que se midió por medio de un goniómetro. Las tres pruebas de PAP isométrica máxima en la máquina de press de pierna inmóvil duraron 3 s cada una y estuvieron separadas por períodos de recuperación de 15 s (French et al., 2003; Till y Cooke, 2009).

Actividades de Potenciación Post-Activación para el Tren Superior

La actividad pliométrica de PAP para el tren superior fue la de flexo-extensiones de brazo con aplauso. Este es un ejercicio simple que los esgrimistas utilizan como parte de las sesiones de entrenamiento de fuerza (Barth y Beck, 2007). Desde una posición de flexión de brazos modificada, con las rodillas en contacto con el suelo, los participantes realizaron 3 series de 5 flexiones explosivas a intensidad máxima, con 60 s de recuperación entre cada esfuerzo, intentado alejar el cuerpo del suelo y aplaudir antes de regresar a la posición de inicio (Faigenbaum et al., 2006).

El press de banco estático se utilizó como actividad de PAP isométrica para el tren superior. El press de banco isométrico máximo se llevó a cabo fijando la barra de una máquina de press Smith con una cadena de 8 mm a la altura apropiada. Con el participante ubicado en posición supina, con la cabeza, los omóplatos y los glúteos en contacto con el banco, se ajustó la barra de manera que la articulación del codo se fijara en 90° (Murphy et al., 1995). El ángulo se midió utilizando un goniómetro. Los participantes realizaron tres contracciones isométricas máximas contra la barra inmóvil de la máquina de press de banco, con una duración de 3 s cada una y separadas por períodos de 15 s de descanso.

Análisis Estadísticos

Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo usando SPSS para Windows versión 16.0 (SPSS Inc, Chicago, IL). Los datos se presentan como medias y desviaciones estándar. Se utilizó un ANOVA para medidas repetidas de 3 vías (tipo de contracción muscular, género y tiempo) para evaluar las posibles diferencias en la producción de potencia durante las pruebas de CMJ y press de banco (inmediatamente después y en los minutos 4, 8 y 12) entre los dos géneros. Además, se utilizó un ANOVA para medidas repetidas de 2 vías (tipo de contracción muscular × tiempo) para comparar los cambios en el rendimiento después de las dos intervenciones de PAP en hombres y mujeres, por separado. Cuando fue necesario ($p < 0.05$) se realizó prueba *post-hoc* de Tukey para localizar las diferencias entre las medias. Se utilizaron Correlaciones Bivariadas (Pearson) a fin de evaluar la relación entre la fuerza y los cambios en el rendimiento explosivo del tren superior e inferior después de la PAP. El tamaño del efecto para los efectos principales y la interacción se estimó mediante el cálculo de valores parciales de Eta cuadrado (η^2), utilizando el paquete estadístico SPSS v.16. El tamaño del efecto para realizar comparaciones apareadas se obtuvo mediante el cálculo d de Cohen. Los tamaños del efecto se clasificaron como pequeños (0.2), medianos (0.5) y grandes (0.8). La significancia estadística se aceptó en $p < 0.05$. Los intervalos de confianza en el nivel del 95% (CI 95%) se presentan donde corresponde.

RESULTADOS

Rendimiento del Tren Inferior

El ANOVA de 3 vías reveló efectos principales significativos para el tiempo ($F = 9.2$, $p<0.000$, $\eta^2 = 0.31$) y el género ($F = 34.7$, $p < 0.000$, $\eta^2 = 0.62$), como también una interacción significativa de tiempo × sexo ($F = 2.51$, $p<0.05$, $\eta^2 = 0.11$), indicando que los hombres se desempeñaron mejor que las mujeres y que la producción de potencia pico de las piernas disminuyó con el transcurso del tiempo. Otros análisis con un ANOVA de 2 vías mostraron una interacción de tiempo × tipo ($F = 2.42$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.14$) y los análisis *post-hoc* localizaron una disminución significativa ($p < 0.01$) en la potencia pico de las piernas después de 8 y 12 minutos de recuperación solo en los hombres que realizaron el protocolo isométrico (Figura 1). La magnitud de esta disminución fue del 7.5% (CI95%=3.9-11.2%) y el 8.7% (CI95%=6.0-11.5%). Los correspondientes tamaños del efecto (d de Cohen) para estas diferencias fueron de 0.53 y 0.65, respectivamente.

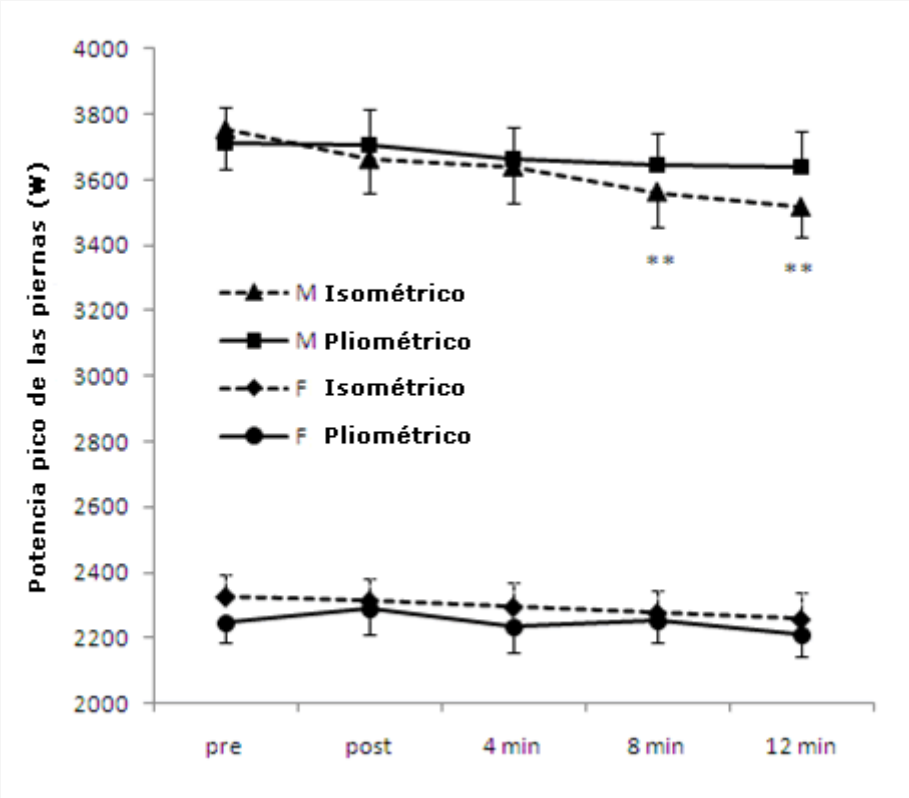

Figura 1. *Potencia pico de las piernas durante un salto con contramovimiento antes (pre), inmediatamente después (post) y luego de 4, 8 y 12 min de recuperación después de las intervenciones isométricas y pliométricas de PAP del tren superior para hombres (M isométricas y M pliométricas) y mujeres (F isométricas y F pliométricas). ** p < 0.01 desde el valor inicial (pre) en la prueba isométrica para hombres (M isométrica).*

Se halló una correlación negativa significativa entre la fuerza de las piernas (según lo expresado en el rendimiento de press de pierna de 1RM) y el cambio en la producción de potencia pico de las piernas entre los valores iniciales y los valores obtenidos al minuto 12 de la recuperación, en la condición isométrica solo en los esgrimistas masculinos ($r = -0.55$, $p < 0.05$), sugiriendo que los individuos más fuertes pueden tener una mayor disminución en la potencia pico de las piernas.

Rendimiento del tren superior

El ANOVA de 3 vías reveló solo un efecto principal significativo para el género ($F = 140.6$, $p<0.000$, $\eta^2 = 0.87$), los hombres se desempeñaron significativamente mejor que las mujeres en la prueba de lanzamiento en press de banco, el rendimiento permaneció igual con el transcurso del tiempo (Figura 2).

DISCUSIÓN

Este estudio se diseñó principalmente para evaluar si el rendimiento explosivo del tren superior e inferior de los esgrimistas masculinos y femeninos de nivel internacional mejoraba luego de dos formas diferentes de ejercicios de potenciación isométrica o balística, reduciendo al máximo los efectos de la fatiga. Un segundo objetivo ha sido determinar un período de tiempo de recuperación y sus efectos sobre la respuesta potenciadora de la PAP.

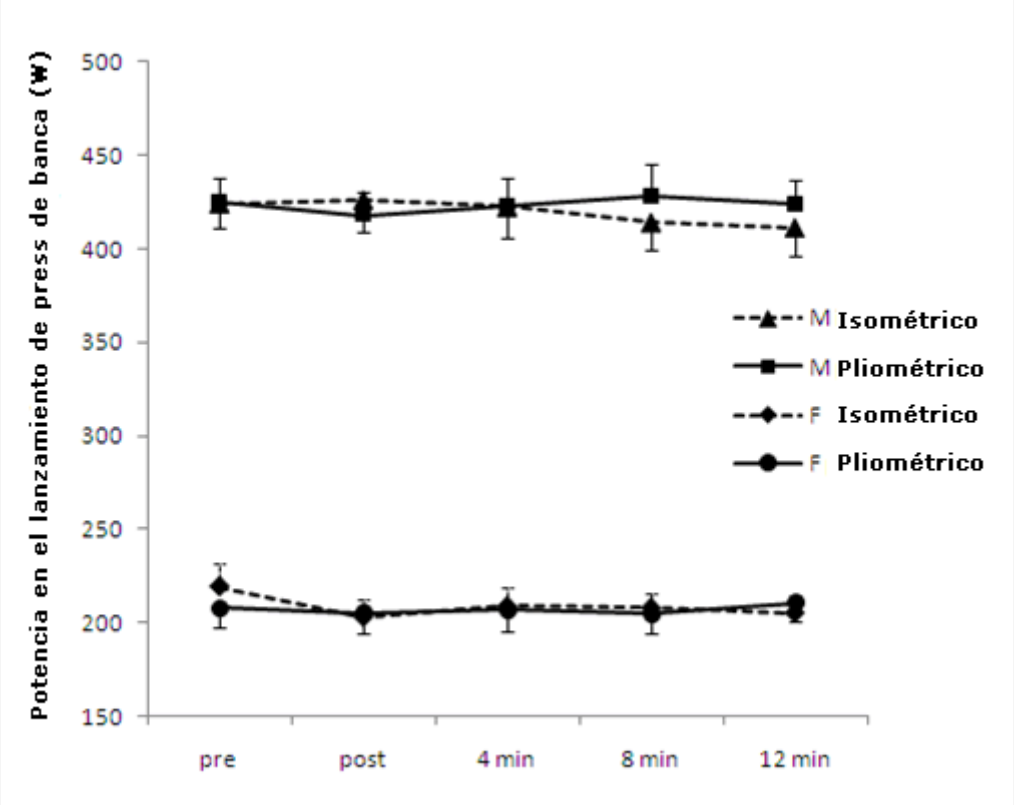

Figura 2. *Potencia de press de banco antes (pre), inmediatamente después (post) y luego de 4, 8 y 12 min. de recuperación después de las intervenciones isométricas y pliométricas de PAP del tren superior para hombres (M isométricas y M pliométricas) y mujeres (F isométricas y F pliométricas).*

El principal hallazgo del presente estudio ha sido que la producción de potencia pico de las piernas disminuyó, en lugar de aumentar, luego del protocolo isométrico de PAP solo en los esgrimistas masculinos, sin cambios en el rendimiento de las esgrimistas femeninas. Es importante advertir que los hombres fueron casi dos veces más fuertes en comparación con las mujeres y, por lo tanto, se puede argumentar que los individuos más fuertes pueden mostrar una disminución en la potencia de las piernas luego del protocolo de PAP isométrica. Esto también está respaldado por la correlación significativamente negativa entre la fuerza del press de piernas y la disminución en la producción de la potencia pico de las piernas, que solo se halló en los esgrimistas masculinos. Por otro lado, el rendimiento del tren superior no fue afectado por ninguno de los protocolos de PAP en ninguno de los dos géneros.

Los resultados del presente estudio sugieren que el ejercicio de potenciación que consistió de 3 series de 3 s de press de piernas isométrico con 15 s de descanso entre ellas, no solo no logró aumentar la potencia pico de las piernas, sino que en realidad la disminuyó y, por lo tanto, el equilibrio entre los ejercicios de potenciación y la fatiga parece favorecer a esta última. De este modo, un tiempo de contracción máxima relativamente corto (9 s en total) indujo una fatiga muscular que fue suficiente para enmascarar un posible efecto beneficioso de la PAP, acrecentando el efecto fatigante con el transcurso del tiempo. La disminución en la producción de potencia pico de las piernas después de 8 y 12 min de recuperación puede explicarse teniendo en cuenta el equilibrio entre la potenciación y la fatiga luego de una contracción de pre-acondicionamiento. Después de un estímulo previo de corta duración del ejercicio de alta intensidad, el músculo se encuentra tanto en un estado de fatiga como potenciado, y el posterior rendimiento muscular depende de la interacción

entre estos dos factores y el índice de recuperación posterior a la actividad de rendimiento (Tillin y Bishop, 2009). Por lo tanto, es posible que el efecto potenciador sea al menos igual al efecto de la fatiga durante los primeros 8 min de recuperación, mientras que después de este momento el efecto de PAP se desequilibre por el efecto de la fatiga. Con anterioridad (Behm et al., 2004; Hamada et al., 2003) se han reportado hallazgos similares de fatiga de larga duración después del ejercicio isométrico. Se ha argumentado que la PAP puede desarrollarse más rápido que la fatiga y que un volumen mayor de contracción de PAP puede dar como resultado el predominio de la fatiga en la relación PAP-fatiga (Tillin y Bishop, 2009).

Hasta la fecha, no existe un acuerdo uniforme sobre el método y el protocolo más efectivo para generar una respuesta de PAP. Rixon et al. (2007) analizaron la influencia de un protocolo isométrico o dinámico de sentadillas sobre la PAP, valorado a partir de los cambios en el rendimiento del CMJ. Ambos protocolos produjeron resultados significativos de PAP con la condición isométrica para provocar mayores mejoras en comparación con las condiciones dinámicas y de control respectivamente. Por otro lado, en un estudio reciente, Till y Cooke, (2009) compararon una máxima extensión dinámica voluntaria de la rodilla (5 series de 5RM) e isométrica (3 series de 3 s) y un tratamiento de PAP pliométrico (5 saltos con elevación de rodillas) y no hallaron diferencias significativas entre las condiciones en el rendimiento de esprint y salto vertical.

Muchos estudios han utilizado una variedad de métodos para generar una respuesta de PAP (Hodgson et al., 2005; Sale, 2002). Solo algunos estudios han evaluado los efectos de la PAP en el rendimiento del salto vertical comparando los protocolos dinámicos e isométricos (Rixon et al., 2007; Till y Cooke, 2009), y solo se ha llevado a cabo un estudio para examinar ambas actividades explosivas en el tren inferior y superior después de un estímulo de pre-carga de 3RM (Kilduff et al., 2007). A pesar de una cantidad de estudios de PAP que muestra una mejora en el rendimiento (Baker, 2003; Chatzopoulos et al., 2007; Gourgoulis et al., 2003), hay varios estudios no han reportado efectos o siquiera una leve disminución en la producción de potencia después de diferentes estímulos de pre-carga, períodos de descanso y utilizando participantes de diferentes estados de entrenamiento (Ebben et al., 2000; Hanson et al., 2007; Till y Cooke, 2009).

Los hallazgos ambiguos entre los estudios mencionados anteriormente pueden deberse a una cantidad de factores que incluyen la intensidad y el volumen del ejercicio de pre-carga, la duración de los intervalos de descanso entre las series consecutivas y antes de la ejecución de la actividad de rendimiento y el género, el nivel y la fuerza relativa o absoluta parecen influenciar la capacidad de los participantes para utilizar la PAP. En el presente estudio se han comparado diferentes tipos de contracciones musculares (isométricas contra pliométricas) en el rendimiento superior e inferior en esgrimistas masculinos y femeninos, mientras que se tuvo en cuenta la fuerza de los participantes. Un estudio reciente de PAP ha utilizado 5 saltos en cuclillas con las dos piernas, que pudo no haber sido suficiente para mejorar la excitabilidad de las unidades motoras de contracción rápida para crear un efecto PAP (Till y Cook, 2009). Por lo tanto, en el presente estudio se utilizó un protocolo de 3 series como propusieron Till y Cooke (2009), a fin de inducir un mayor volumen de ejercicio, que a su vez pueda aumentar la potencia pico de las piernas durante un CMJ. Sin embargo, el rendimiento del CMJ de los esgrimistas después de este protocolo pliométrico permaneció sin cambios. Esformes et al. (2010) también presentaron resultados similares, y no hallaron ningún beneficio adicional después de una serie de 24 contactos pliométricos en el rendimiento de salto con contra-movimiento posterior en trece participantes masculinos entrenados de manera anaeróbica. Este ejercicio pliométrico fue elegido porque los entrenadores de esgrima lo utilizan y recomiendan de manera empírica como parte de la entrada en calor y los programas de fuerza para los esgrimistas bien entrenados. Es posible que la carga utilizada en el presente estudio haya sido fatigante y que la fatiga haya enmascarado cualquier PAP (Sale, 2002). Desafortunadamente, en el presente estudio, como también en otros (Esformes et al., 2010; Masamoto et al., 2003), no se ha podido realizar una electromiografía, que explique los mecanismos por los que los ejercicios pliométricos mejoran el rendimiento de los ciclos de estiramiento-acortamiento.

El protocolo isométrico del presente estudio (3 series de 3 seg.) se ha utilizado anteriormente en otros estudios (French et al., 2003; Till y Cook, 2009). No obstante, el período de descanso entre las contracciones parece ser importante para generar una respuesta de PAP. French et al. (2003) utilizaron un período de descanso adecuado de 3 min y hallaron un mejor rendimiento del salto vertical y la extensión de la rodilla, mientras que el breve descanso de 15 s, utilizado por Till y Cook (2009), no cambió de manera significativa el rendimiento del esprint ni del salto vertical. Los resultados del presente estudio concuerdan con la ausencia de efectos positivos, con una verdadera disminución del rendimiento en los hombres.

La mayoría de los estudios han utilizado períodos de recuperación de aproximadamente 4 minutos (Comyns et al., 2006; Jenseny Ebben, 2003; Kilduff et al., 2007), mientras que Terzis et al. (2009) reportaron efectos de PAP significativos inmediatamente después de la intervención del ejercicio de pre-carga. Los resultados del presente estudio no concuerdan con los estudios de entrenamiento complejo que utilizaron intervalos de aproximadamente 4 min., revelando mejoras en el ejercicio pliométrico posterior (Gullich y Schmidtbeicher, 1996). Sin embargo, la investigación previa relacionada con el entrenamiento complejo ha advertido que el período de descanso entre el estímulo de sobrecarga y el rendimiento pliométrico debería determinarse de manera individual (Commyns et al., 2006). Kilduff et al. (2007) han examinado el período de recuperación óptimo para elevar al máximo el efecto de PAP después del estímulo de pre-carga de 3RM en el

rendimiento del lanzamiento en press de banco y del CMJ. Se reportó una disminución significativa similar en el rendimiento de la potencia en el tren superior e inferior cuando la actividad explosiva se realizó inmediatamente después del estímulo de pre-carga, como en el presente estudio. Es posible que mecanismos similares sean responsables de la fatiga asociada con los ejercicios pliométricos de pre-carga del presente estudio.

Con respecto a la potencia del tren inferior, los resultados de este estudio concuerdan con los hallazgos de Commyns et al. (2006), que reportaron una disminución en el rendimiento del CMJ después de 6 min de recuperación. Aunque no fueron evidentes cambios significativos inmediatamente después del protocolo isométrico para el rendimiento superior e inferior, se halló que el rendimiento del CMJ y del lanzamiento en press de banco disminuyó inmediatamente después del tratamiento de PAP. También observaron resultados similares Jensen y Eben (2003), quienes analizaron en profundidad el efecto de la PAP dentro de un período de recuperación de 4 minutos y no reportaron diferencias significativas en ningún momento. Además, Smith y Fry (2007) sugirieron que 7 minutos de descanso después de un estímulo que induce la PAP isométrica, no parecen afectar la potencia, la fuerza o la velocidad durante el rendimiento de la extensión de la rodilla. Por otro lado, Evans et al. (2000) y Young et al. (1999) hallaron efectos ergogénicos significativos después de 4 minutos de descanso de los ejercicios que inducen la PAP.

El estado de entrenamiento y/o el nivel de fuerza y el género pueden afectar la capacidad de respuesta para la PAP. Se ha sugerido que los individuos altamente entrenados (Ebben et al., 2000), los atletas más fuertes (Gourgoulis et al., 2003; Rixon et al., 2007) y aquellos con el mayor porcentaje de tipo II (Hamada et al., 2000) se desempeñan mejor y podrían beneficiarse con ejercicios de entrada en calor que inducen la PAP, en comparación con los atletas entrenados de manera recreativa y más débiles. Los resultados del presente estudio mostraron correlaciones moderadas significativas entre la fuerza de las piernas y las diferencias en el rendimiento después de 12 min en comparación con los valores iniciales para la intervención isométrica, sugiriendo que la fuerza puede ser un factor de interés, pues al parecer tiene influencia sobre el equilibrio entre la fatiga y la capacidad para utilizar la PAP (Jensen y Ebben, 2003; Kilduff et al., 2007; Robbins y Docherty, 2005). En teoría, los individuos que ejercitaron a niveles más elevados pueden tener una mayor activación muscular, lo que a su vez puede incrementar la fosforilación de las cadenas liviana reguladoras de miosina y causar una mayor alteración en la excitabilidad de la motoneurona-α que están ligadas al fenómeno de la PAP (Hodgson et al., 2005). Sin embargo, dichos individuos también pueden tener una fatiga mayor y de duración más prolongada que, de hecho, puede dar como resultado una disminución en lugar de un incremento del rendimiento (Hamada et al., 2003).

CONCLUSIÓN

En conclusión, los resultados del presente estudio indicaron que el ejercicio pliométrico que habitualmente se utiliza como parte de las rutinas de entrada en calor de los esgrimistas de elite no ofrece ninguna ventaja en el rendimiento del CMJ ni en el lanzamiento en press de banco. Por otro lado, el ejercicio isométrico de pre-acondicionamiento dio como resultado una disminución en la producción de la potencia pico de las piernas, posiblemente debido a la fatiga neuromuscular, mientras que el nivel de fuerza del esgrimista y el género cumplieron una función importante en el equilibrio entre la PAP y la fatiga. En consecuencia, se les debería desaconsejar a los esgrimistas la utilización de ejercicios isométricos para inducir la PAP en los volúmenes y cargas prescritas en el presente estudio cuando deseen aumentar el rendimiento de la potencia del tren inferior.

Aplicaciones Prácticas

Los resultados del presente son específicos para la esgrima y no necesariamente puedan ser directamente aplicables a otros deportes, aunque la PAP pueda utilizarse en las disciplinas relacionadas con la potencia y las actividades deportivas que requieren de altos niveles iniciales de desarrollo de fuerza (Sale, 2002). Debería advertirse que la PAP varió en gran medida entre los individuos (Till y Cooke, 2009), sin embargo, es necesario realizar más estudios a fin de determinar el mejor protocolo de actividades de acondicionamiento y los factores de diseño más apropiados que afectan el rendimiento posterior. Además, aún debe clarificarse si los efectos de la PAP mejoran la producción de potencia durante los patrones cinéticos específicos de la esgrima, como la estocada o la flecha.

Puntos Clave

- Se advirtieron valores significativamente más bajos para la potencia pico de las piernas en los hombres a 8 y 12 min de la recuperación en respuesta al protocolo de la PAP utilizado en este estudio.
- Existe cierta evidencia que sugiere que los individuos más fuertes pueden tener una fatiga mayor y de duración más prolongada que, de hecho, puede dar como resultado una disminución en lugar de un incremento del rendimiento después de un protocolo de PAP.

- Debería advertírseles a los esgrimistas que eviten la utilización de los ejercicios isométricos en las rutinas de entrada en calor para aumentar el rendimiento explosivo.

REFERENCIAS

1. American College of Sports Medicine (2000). Guidelines for exercise testing and prescription. *6th edition. Baltimore: Williams and Wilkins*
2. Baker, D (2003). Acute effect of alternating heavy and light resistances on power output during upper-body complex power training. *Journal of Strength and Conditioning Research 17, 493-497*
3. Barth, B. and Beck, E (2007). The complete guide to fencing. *Oxford: Meyer & Meyer Sport (UK) Ltd*
4. Beachle, T.R., Eachle, R.W. and Wathen, D (2000). Resistance training. *In: Essentials of strength training and conditioning. Eds: Beachle, T.R. and Earle, R.W. Champaign IL: Human Kinetics, 395-425*
5. Behm, D.G., Button, D.C., Barbour, G., Butt, J.C. and Young, W.B (2004). Conflicting effects of fatigue and potentiation on voluntary force. *Journal of Strength and Conditioning Research 18, 365-372*
6. Bosco, C., Luhtanen, P. and Komi, P.V (1983). A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *European Journal of Applied Physiology 50, 273-282*
7. Chatzopoulos, D.E., Micailidis, C.J., Giannakos, A.K., Alexiou, K.C., Patikas, D.A., Antonopoulos, C.B. and Kotzamanidis, C.M (2007). Postactivation potentiation effects after heavy resistance exercise on running speed. *Journal of Strength and Conditioning Research 21, 1278-1281*
8. Commyns, T.M., Harrison, A.J., Hennessy, L. and Jensen, R.L (2006). The optimal complex training rest interval for athletes from anaerobic sports. *Journal of Strength and Conditioning Research 20, 471-476*
9. Cronin, J.B., McNair, P.J. and Marshall, R.N (2003). Force-velocity analysis of strength training techniques and load: Implications for training strategy and research. *Journal of Strength and Conditioning Research 17, 148-155*
10. Ebben, W.P., Jensen, R.L. and Blackard, D.O (2000). Electromyographic and kinetic analysis of complex training variables. *Journal of Strength and Conditioning Research 14, 451-456*
11. Evans, A.K., Hodgkins, T.D., Durham, M.P., Berning, J.M. and Adams, K.J (2000). The acute effects of a 5RM bench press on power output (Abstract). *Medicine Science in Sports and Exercise 32, S311*
12. Esformes, J.J., Cameron, N. and Bampouras, T.M (2010). Postactivation potentiation following different modes of exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research 24, 1911-1916*
13. Faigenbaum A.D., McFarland J., Schwerdtman, J.A., Ratamess, N.A., Kang, J. and Hoffman, J.R (2006). Dynamic warm-up protocols, with and without a weighted vest, and fitness performance in high school female athletes. *Journal of Athletic Training 41, 357-363*
14. French, D.N., Kraemer, W.J. and Cooke, C.B (2003). Changes in dynamic exercise performance following a sequence of preconditioning isometric muscle actions. *Journal of Strength and Con-ditioning Research 17, 678-685*
15. Gossen, E.R. and Sale, D.G (2000). Effect of postactivation potentiation on dynamic knee extension performance. *European Journal of Applied Physiology 83, 524-530*
16. Gourgoulis, V., Aggelousis, N., Kasimatis P., Mavromatis, G. and Garas, A (2003). Effect of a submaximal half-squats warm-up program on vertical jump ability. *Journal of Strength and Conditioning Research 17, 342-344*
17. Grange, R.W., Vandenboom, R. and Houston M.E (1993). Physiological siginificance of myosin phosphorylation in skeletal muscle. *Canadian Journal of Applied Physiology 18, 229-242*
18. Gullich, A.D. and Schmidtbleicher, D (1996). MVC-induced short-term potentiation of explosive force. *New Studies in Athletics 4, 67-81*
19. Hamada, T., Sale, D.G., McDougall, J.D. and Tarnopolsky, M.A (2000). Postactivation potentiation, fiber type, and twitch contraction time in human knee extensor muscles. *Journal of Applied Physiology 88, 2131-2137*
20. Hamada, T., Sale D.G., MacDougall, J.D. and Tarnopolsky, M.A (2003). Interaction of fibre type, potentiation and fatigue in human knee extensor muscles. *Acta Physiologica Scandinavica 178, 165-173*
21. Hanson, E.D., Leigh, S. and Mynark, R.G (2007). Acute effects of heavy- and light- load squat exercise on the kinetic measures of vertical jumping. *Journal of Strength and Conditioning Re-search 21, 1012-1017*
22. Hilfiker, R., Hubner, K., Lorenz, T. and Mart, B (2007). Effects of drop jumps added to the warm-up of elite sport athletes with a high capacity for explosive force development. *Journal of Strength and Conditioning Research 21, 550-555*
23. Hodgson, M., Docherty, D. and Robbins, D (2005). Post-activation potentiation. Underlying physiology and implications for motor performance. *Sports Medicine 35, 585-595*
24. Jensen, R.L. and Ebben, W.P (2003). Kinetic analysis of complex training rest interval effect on vertical jump performance. *Journal of Strength and Conditioning Research 17, 345-349*
25. Kilduff, L.P., Bevan, H.R., Kingsley, M.I.C., Owen, N.J., Bennett, M.A., Bunce, P.J., Hore, A.M., Maw, J.R. and Cunningham, D.J (2007). Postactivation potentiation in professional rygby players: optimal recovery. *Journal of Strength and Conditioning Research 21, 1134-1138*
26. Kraemer, W.J. and Newton, R.U (2000). Training for muscle power. Physical Medicine and Rehabilitation. *Clinics of North America 11, 341-368*
27. Masamoto, N., Larson, R., Gates, T. and Faigenbaum, A (2003). Acute effects of plyometric exercise on maximum squat performance in male athletes. *Journal of Strength and Conditioning Re-search 17, 68-71*

28. Misiaszek, J.E (2003). The H-reflex as a tool in neurophysiology: its limitations and uses in understanding nervous system function. *Muscle and Nerve 28, 144-160*
29. Murphy, A.J., Wilson, G.J., Pryor, J.F. and Newton, R.U (1995). Isometric assessment of muscular function: The effect of joint angle. *Journal of Applied Biomechanics 11, 205-215*
30. Newton, R.U. and Kraemer, W.J (1994). Developing explosive muscular power: Implications for a mixed methods training strategy. *Strength and Conditioning 16, 20-31*
31. Newton, R.U., Murphy, A.J., Humphries, B.J., Wilson, G., Kraemer, W.J. and Hakkinen, K (1996). Influence of load and stretch shortening cycle on the kinematics, kinetics and muscle actva-tion that occurs during explosive bench press throws. *European Journal of Applied Physiology 75, 333-342*
32. Rixon, K, P., Lamont, H.S. and Bemben, M.G (2007). Influence of type of muscle contraction, gender, and lifting experience on postactivation potentiation performance. *Journal of Strength and Conditioning Research 21, 500-505*
33. Robbins D.W (2005). Postactivation potentiation and its practical applicability: A brief review. *Journal of Strength and Conditioning Research 19, 453-458*
34. Robbins, D.W. and Docherty, D (2005). Effect of loading on enhancement of power performance over three consecutive trials. *Journal of Strength and Conditioning Research 19, 898-902*
35. Sale, D.G (2002). Postactivation potentiation: Role in human performance. *Exercise and Sport Sciences Reviews 30, 138-143*
36. Sayers, S.P., Harackiewicz, D.V., Harman, E.A., Frykman, P.N. and Rosenstein, M.T (1999). Cross validation of three jump power equations. *Medicine and Science in Sports and Exercise 31, 572-577*
37. Smith, J.C. and Fry, A.C (2007). Effects of a ten-second maximum voluntary contraction on regulatory myosin light-chain phosphorylation and dynamic performance measures. *Journal of Strength and Conditioning Research 21, 73-76*
38. Terzis, G., Spengos, K., Karampatsos, G., Manta, P. and Georgiadis G (2009). Acute effect of drop jumping on throwing performance. *Journal of Strength and Conditioning Research 23, 2592-2597*
39. Till, K.A. and Cooke, C (2009). The effects of postactivation potentiation on sprint and jump performance of male academy soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research 23, 1960-1967*
40. Tillin, N.A. and Bishop, D (2009). Factors modulating post-activation potentiation and its effects on performance of subsequent activities. *Sports Medicine 39, 147-166*
41. Tsolakis, C., Kostaki, E. and Vagenas, G (2010). Anthropometric, flexibility, strength power and sport specific correlates in elite fencing. *Perceptual and Motor Skills 110, 1-14*
42. Whitmer, C.A., Davis, A.E. and Moir, G.L (2010). The acute effects of back squats on vertical jump performance in men and women. *Journal of Sports Science and Medicine 9, 206-213*
43. Wilson, G.R., Newton, R., Murphy, A. and Humphries, B (1993). The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. *Medicine Science in Sports and Exercise 23, 1279-1286*
44. Young, W.B., Jenner, A. and Griffiths, K (1999). Acute enhancement of power performance from heavy load squats. *Journal of Strength and Conditioning Research 12, 82-84*
45. Zucker, R.S. and Regehr, W.G (2002). Short-term synaptic plasticity. *Annual Review of Physiology 64, 355-405*

Cita Original

Charilaos Tsolakis, Gregory C. Bogdanis, Anni Nikolaou and Elias Zacharogiannis. Influence of Type of Muscle Contraction and Gender on Postactivation Potentiation of Upper and Lower Limb Explosive Performance in Elite Fencers. Journal of Sports Science and Medicine (2011) 10, 577 - 583