

2013

Eduardo
Morán
Camacho



EL FENÓMENO POTENCIACIÓN POST-ACTIVACIÓN ASOCIADO AL ENTRENAMIENTO MUSCULAR CON SOBRECARGA EXCÉNTRICA: EFECTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SALTO Y LA VELOCIDAD EN JÓVENES FUTBOLISTAS DE ÉLITE

Trabajo Fin de Grado

Grado en ciencias de la actividad física y del deporte

Universidad de Sevilla

Facultad ciencias de la educación

Curso 2012 - 2013

Tutor: D. Moisés de Hoyo Lora

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. Resumen	página 3
2. Marco teórico	página 4-10
2.1 Fenómeno potenciación post-activación	página 4-8
2.1.1 Definición de PAP	página 4
2.1.2 Mecanismos de la potenciación	página 4-6
2.1.2.1 Fosforilación de las cadenas de miosina	página 5
2.1.2.2 Reclutamiento de unidades motoras	página 5-6
2.1.2.3 Disminución del ángulo de penación	página 6
2.1.3 Potenciación y fatiga	página 7-8
2.1.4 El fenómeno PAP según el tipo de contracción muscular	página 8
2.2 Entrenamiento con sobrecarga excéntrica y potenciación	página 9-10
3. Objetivos	página 11
4. Metodología	página 12-16
4.1 Diseño del estudio y procedimiento	página 12
4.2 Muestra	página 12-13
4.3 Ejercicios y dispositivos de entrenamiento	página 13-14
4.4 Test	página 15-16
4.4.1 Test de potencia máxima	página 15
4.4.2 Test de salto con contramovimiento	página 15
4.4.3 Test de velocidad 20 m	página 16
4.5 Análisis estadístico	página 16
5. Desarrollo	página 17-20
5.1 Resultados	página 17-18
5.2 Discusión	página 19-20
6. Conclusión	página 21
7. Referencias bibliográficas	página 22-25

1. Resumen

El objetivo de la presente investigación ha sido analizar el efecto de una sesión tradicional de entrenamiento de musculación con una carga submáxima y con sobrecarga excéntrica sobre el fenómeno de potenciación post-activación (PAP). Para ello, dieciocho jugadores de fútbol (edad = 17 ± 1.2 años; altura = $178 \pm 2,34$ cm; peso = 71 ± 4.56 kg) pertenecientes a la cantera de un equipo profesional de fútbol de la liga española, participaron de forma voluntaria en la presente investigación. Una semana previa al comienzo del estudio, durante la fase de familiarización, se calculó la carga individual con la que cada sujeto desarrollaba la máxima potencia ($P_{\text{máx}}$) en fase concéntrica para un ejercicio de leg curl y otro de $\frac{1}{2}$ squat en dispositivo inercial caracterizado por producir una sobrecarga excéntrica. Posteriormente, los sujetos participaron en tres sesiones de forma aleatoria a razón de una por semana: una sesión de entrenamiento con ejercicio de leg curl (EXP-ISQ), una sesión de entrenamiento con ejercicio de $\frac{1}{2}$ squat (EXP-Q) y una sesión control (CON). Una vez finalizada cada sesión, tras 4 min de descanso, se examinó el fenómeno de PAP mediante la evaluación de la altura en un salto con contramovimiento (CMJ), la capacidad de aceleración en 0-10 m y la velocidad en 10-20 m y 0-20 m. Todas las intervenciones fueron precedidas de un calentamiento estándar en cicloergómetro durante 5 min (80 W y 80 rpm). Los resultados mostraron, en relación al CMJ, un incremento estadísticamente significativo sólo para EXP-Q ($p < 0.01$) en relación a CON. Respecto a la variable velocidad, sólo para EXP-Q en la distancia de 10-20 m se pudo observar un descenso del tiempo estadísticamente significativo ($p < 0.01$) en relación a CON. En base a los resultados obtenidos podemos concluir que un entrenamiento con carga equivalente a la $P_{\text{máx}}$ y con sobrecarga excéntrica supone una activación del fenómeno de PAP manifestada sólo cuando el ejercicio realizado es un $\frac{1}{2}$ squat y no cuando es un leg curl.

Palabras clave: potenciación post-activación; sobrecarga excéntrica; potencia máxima; velocidad; capacidad de salto.

2. Marco teórico

2.1 *El fenómeno potenciación post-activación*

2.1.1 *Definición de potenciación post-activación*

Según diversos autores podemos entender el fenómeno potenciación post-activación (PAP) como: a) “el mecanismo por el cual el rendimiento muscular mejora después de una acción de alta intensidad” (Tsimachidis et al., 2003); b) “mecanismos subyacentes responsables de una actividad para inducir la mejora en el rendimiento” (Hamada et al., 2000); c) “el acondicionamiento de los músculos a través de ejercicios intensos para producir un efecto agudo de mejora en actividades como sprint, lanzamientos y levantamiento de peso” (Crewther et al., 2011); d) “contracciones musculares anteriores que facilitan la generación de fuerza posterior” (Esformes et al., 2011); e) “fenómenos por los que las características del rendimiento muscular se ven muy mejoradas como resultado de su historia contráctil” (Tillin y Bishop, 2009).

2.1.2 *Mecanismos de la potenciación*

Tras hacer una revisión de la literatura científica podemos identificar tres mecanismos esenciales responsables del fenómeno de PAP. El primer mecanismo es la fosforilación de las cadenas de miosina, la cual provoca que los filamentos proteicos de actina y miosina sean más sensibles a la liberación de calcio, lo que desencadena en una serie de eventos para mejorar la respuesta muscular (Crewther et al., 2011). El segundo mecanismo responsable de este fenómeno es un aumento del reclutamiento de unidades motoras. En este sentido, Esformes et al. (2011) nos indican que las contracciones musculares pueden aumentar el potencial de excitación, lo que conllevará, a su vez, un mayor reclutamiento de unidades motoras en las contracciones subsiguientes. Como tercer mecanismo podemos citar la disminución en el ángulo de penación, el cual tiene su base en que cuanto menor sea este ángulo mayor ventaja mecánica tendrá la estructura muscular para realizar una contracción (Tillin y Bishop, 2009).

2.1.2.1 Fosforilación de las cadenas de miosina.

Una molécula de miosina presenta un hexámero compuesto por dos cadenas pesadas, los aminotérminos de cada cadena contienen, a su vez, dos cadenas reguladoras y cada una de ellas cuenta con un lugar específico para la unión de una molécula de fosfato. Cuando se produce una contracción muscular se liberan moléculas de calcio del retículo sarcoplasmático y se unen a una proteína reguladora llamada calmodulina. Esto hace que se activen las cadenas ligeras de miosina que ya han sido catalizadas por la enzima kinasa. Se ha demostrado que la fosforilación de las cadenas ligeras de miosina hace que la interacción entre actina-miosina sea más sensible al calcio mioplasmático, por lo que se produciría una mejora en la respuesta muscular (Tillin y Bishop, 2009). En base a esto, Stuart et al. (1998) realizaron un estudio en el cual registraron valores elevados de fosfato en las cadenas ligeras de miosina en el vasto lateral después de una contracción máxima voluntaria isométrica de 10 s. En contrapartida, Smith y Fry (2007) tomaron muestras del vasto lateral del cuádriceps 7 min antes y después de realizar una contracción máxima voluntaria isométrica (MVC) de 10 s para analizar el rendimiento máximo de extensión de rodilla y finalmente afirmaron que no hubo ningún cambio significativo en las cadenas ligeras de miosina ni en el rendimiento máximo de la extensión de rodilla.

2.1.2.2 Aumento de unidades motoras reclutadas.

Las contracciones musculares anteriores también pueden aumentar el potencial de excitación dando como resultado un mayor reclutamiento de unidades motoras. Esta excitación puede durar varios minutos, incrementando los potenciales post-sinápticos que conducen a una generación de mayor fuerza (Esformes et al., 2011).

Recientemente Tillin y Bishop (2009) tras una investigación en animales han corroborado que tras una contracción isométrica tetánica inducida, producida

por la estimulación de fibras nerviosas eferentes, se origina un aumento de los potenciales de excitación a través de uniones sinápticas en la médula espinal. Este estado de acomodamiento puede durar varios minutos después de la contracción y como resultado se produce un aumento de los potenciales post-sinápticos.

Bajo este punto de vista, Luscher et al. (1983) propusieron un posible mecanismo subyacente a la elevada transmisión de los potenciales de acción, de forma que, la liberación del receptor pre-sináptico debe coincidir con la sensibilidad del receptor post-sináptico. Sin embargo, es muy frecuente que se produzca un fallo en el transmisor de varias uniones sinápticas durante las respuestas reflejas o voluntarias. Por ello Tillin y Bishop (2009) sugirieron una contracción tetánica para disminuir el fallo del transmisor durante la actividad posterior.

2.1.2.3 Disminución del ángulo de penación.

El ángulo de penación es aquel que refleja la orientación de las fibras musculares en relación con el tejido conectivo o tendón. Éste, por lo tanto afectará a la fuerza de transmisión a los tendones y los huesos. La suma de las fuerzas de todas las fibras individuales que se están aplicando al tendón durante la contracción muscular se reduce por el factor coseno del ángulo de penación. Consecuentemente, menores ángulos de penación tienen ventaja mecánica respecto a la fuerza transmisión al tendón (Tillin y Bishop, 2009). Usando un ecógrafo, Mahlfeld et al. (2004) midieron el ángulo de penación del vasto lateral antes de realizar 3 s de MVC isométrica. Inmediatamente después de la MVC el ángulo de penación no tuvo cambios significativos (15.7°) respecto a la medición pre-test (16.2°). No obstante, 3-6 min después de la MVC el ángulo de penación se vio reducido significativamente (14.4° ; $p < 0.05$). Este cambio significó un incremento del 0.9% en la fuerza de transmisión a los tendones.

2.1.3 Potenciación post-activación y fatiga.

La activación repetida del músculo esquelético conduce a una deficiencia funcional conocida como fatiga, caracterizada por una reducida capacidad de producir fuerza y una contracción enlentecida, afectándose tanto la velocidad de acortamiento como la de relajación (Requena et al., 2005).

Para que no haya aparición de fatiga será de vital importancia el tiempo de recuperación o descanso que el sujeto realice antes de llevar a cabo el ejercicio destinado a conseguir mejoras mediante la PAP. El tiempo de recuperación debe ser el óptimo para que se produzca la desaparición de fatiga y para que el fenómeno PAP continúe llevándose a cabo. Pasado un periodo inicial de fatiga, la PAP es máxima y, a partir de ese momento, va disminuyendo progresivamente hasta que llega a los valores de control e incluso superior, aproximadamente unos 4-10 min después (Baudry y Duchateau, 2004). Así Crewther et al. (2011) obtuvieron que el tiempo indicado de descanso para conseguir que el fenómeno PAP consiguiese mejoras en el rendimiento en 4 y 8 min de recuperación, produciéndose los mayores aumentos de rendimiento tras 4 min. Para los tiempos 15 s y 16 min los resultados mostraron una disminución del rendimiento en salto con contramovimiento (CMJ). Los autores atribuyeron este descenso a la aparición de fatiga tras el descanso en 15 s y a la desaparición del fenómeno PAP tras el descanso de 16 min. Por su parte, Gouvea et al. (2011), después de hacer una revisión de 14 artículos relacionados con el fenómeno PAP en la que los intervalos de descanso incluidos fueron 0-3, 4-7, 8-12 y ≥ 16 min, indicaron que se produjo un efecto de tamaño medio de mejora para los intervalos 0-3 y 8-12 min y un pequeño efecto de mejora para los demás intervalos (3-7 y ≥ 16). Un descanso de 0-3 min indujo un efecto perjudicial sobre el rendimiento de salto. El rango 8-12 min tuvo un impacto positivo en la altura del salto. Los resultados sugieren que la manipulación del intervalo de descanso parece afectar a la magnitud de la PAP y la altura del salto. En coincidencia con estos datos, Kilduff et al. (2008) compararon los resultados en CMJ ante diferentes tiempos de recuperación tras realizar 3 series de 3 repeticiones de sentadilla con una carga del 87% de

la repetición máxima (1RM), siendo los tiempos de recuperación utilizados de 15 s, 4, 8, 12, 16, 20 y 24 min. Los resultados muestran que a pesar de una disminución inicial en el rendimiento del salto después del entrenamiento con resistencia pesada, éste aumentó significativamente después de 8 min de recuperación.

2.1.4 El fenómeno PAP según el tipo de contracción muscular.

Existen resultados muy variables en cuanto al tipo de contracción más efectiva para que este efecto se produzca, lo que se puede explicar por la utilización de diferentes métodos y protocolos a la hora de realizar las investigaciones. Tras la revisión realizada en este trabajo encontramos tanto estudios que nos muestran una mejora del rendimiento tras contracciones isométricas (Babault et al., 2008; Gullich et al., 1996), como estudios que nos muestran aumento del rendimiento tras acciones dinámicas (Kilduff et al., 2007; Young et al., 1998). En contraposición también hemos encontrado estudios que no muestran mejoras tanto tras contracciones isométricas (Folland et al., 2008; Robbins et al., 2005) como tras acciones dinámicas (Esformes et al., 2010; Jones et al., 2003). Los ejercicios más utilizados para estudiar este fenómeno son el squat para miembros inferiores (Crewther et al., 2011; Kilduff et al., 2007; Crewther et al., 2011) y el press banca para miembros superiores (Esformes et al., 2011).

En este sentido, Baudry y Duchateau (2004) realizaron un análisis del fenómeno de PAP comparando entre contracciones isométricas, concéntricas y excéntricas en el músculo tibial anterior en nueve sujetos, obteniendo resultados similares de mejora de rendimiento tras los tres tipos de contracción. En contraposición el estudio llevado a cabo por Rixon et al. (2007) nos informa de que las contracciones isométricas producen una mejora en el rendimiento mayor a la que producen acciones submáximas que alternan contracciones concéntricas y excéntricas.

2.2 Efectos del entrenamiento con sobrecarga excéntrica.

Como se ha podido observar, la utilización de ejercicios dinámicos con cargas submáximas y con sobrecarga de la fase excéntrica no han sido utilizados como medio de entrenamiento para el desarrollo de la PAP. Sin embargo, esta vertiente del entrenamiento de fuerza ha aparecido en los últimos años en estudios e investigaciones debido a todas sus ventajas y beneficios sobre la prevención de lesiones (Askling et al., 2003; Lastayo et al., 2003). Tenemos que señalar que existen diversos artículos (Whitehead et al., 2001; Norrbrand et al., 2008) que intentan demostrar las mejoras de rendimiento en potencia, fuerza y eficiencia neuromuscular tras la aplicación de este tipo de entrenamiento pero son escasos los artículos de investigación que tratan sobre el fenómeno PAP relacionado con el entrenamiento muscular de sobrecarga excéntrica (Pasquet et al., 2000).

Las ventajas del entrenamiento muscular con sobrecarga excéntrica pueden resumirse en los siguientes aspectos: a) las acciones musculares excéntricas son capaces de generar mayores niveles de fuerza con menores niveles de activación muscular (Tesch et al., 1990; Moritani et al., 1987); b) requieren un menor coste metabólico (Bigland-Ritchie y Woods, 1976; Dufour et al., 2007), y c) producen un daño muscular mayor que las contracciones musculares de tipo concéntrico que genera un efecto protector a largo plazo (Moore et al., 2004; Newham et al., 1983).

Tras la revisión de textos científicos realizados podemos obtener tres mecanismos principales por los que se producen las adaptaciones musculares después del entrenamiento con sobrecarga excéntrica. Así, el primero de ellos hace referencia a efectos de tipo neural. En este sentido, tras diversos estudios se ha observado que se produce un efecto cruzado en la extremidad no entrenada, lo que nos sugiere que existe una conexión con el sistema nervioso central (Farthing et al., 2003; Howatson et al., 2007). En segundo lugar debemos hacer referencia a los efectos mecánicos. En base a éstos, se han encontrado aumentos de la longitud de los fascículos musculares (Reeves et al., 2009; Seynnes et al., 2007) y reducción del ángulo de penetración (Potier et

al., 2009). Por último encontramos los efectos celulares. Así, varios estudios muestran las mejoras de las características contráctiles y la masa muscular (Tesch et al., 1990; Hortobagyi et al., 1996).

En cuanto a estudios que nos hablen del fenómeno PAP relacionado con acciones de sobrecarga excéntrica, como se ha comentado antes, solo hemos encontrado el realizado por Pasquet et al. (2000). En dicho estudio se procedió a comparar la producción del fenómeno PAP tras acciones concéntricas y excéntricas, los resultados corroboran que después de realizar 30 repeticiones de contracciones excéntricas de 6 s se obtuvo una mayor PAP que tras la realización del mismo ejercicio pero de carácter concéntrico.

En base a los datos mostrados y siendo conscientes de la escasa literatura científica existente en cuanto al fenómeno PAP y su relación con las acciones musculares de sobrecarga excéntrica, en el presente trabajo nos planteamos el siguiente problema de investigación: ¿se puede poner en marcha el fenómeno de PAP después de un entrenamiento con sobrecarga excéntrica?

3. Objetivos

Este estudio pretende conocer si la utilización del ejercicio de sobrecarga excéntrica es válido para el desarrollo fenómeno conocido como PAP. Este objetivo general puede concretarse en los siguientes objetivos específicos:

- Analizar el efecto de un entrenamiento de la musculatura isquiotibial en el curl femoral con carga de Pmax y sobrecarga excéntrica sobre el salto vertical con contramovimiento.
- Analizar el efecto de un entrenamiento de la musculatura isquiotibial en el curl femoral con carga de Pmax y sobrecarga excéntrica sobre la velocidad en 0-10 m.
- Analizar el efecto de un entrenamiento de la musculatura isquiotibial en el curl femoral con carga de Pmax y sobrecarga excéntrica sobre la velocidad lanzada en 10-20 m.
- Analizar el efecto de un entrenamiento de la musculatura isquiotibial en el curl femoral con carga de Pmax y sobrecarga excéntrica sobre velocidad en distancia total de 20 m.
- Analizar el efecto de un entrenamiento de la musculatura cuádriceps en ½ squat con carga de Pmax y sobrecarga excéntrica sobre el salto vertical con contramovimiento.
- Analizar el efecto de un entrenamiento de la musculatura cuádriceps en ½ squat con carga de Pmax y sobrecarga excéntrica sobre la velocidad en 0-10 m.
- Analizar el efecto de un entrenamiento de la musculatura cuádriceps en ½ squat con carga de Pmax y sobrecarga excéntrica sobre la velocidad lanzada en 10-20 m.
- Analizar el efecto de un entrenamiento de la musculatura cuádriceps en ½ squat con carga de Pmax y sobrecarga excéntrica sobre velocidad en distancia total de 20 m.

4. Metodología.

4.1 Diseño del estudio y procedimiento.

Se procedió mediante un estudio randomizado cruzado consistente en tres intervenciones, bien un entrenamiento muscular con carga de pico de potencia máxima y sobrecarga excéntrica mediante un ejercicio de leg curl para isquiotibiales (EXP-ISQ), el mismo tipo de entrenamiento con ejercicio de ½ squat para cuádriceps (EXP-Q), o bien una situación control donde sólo se procedió ejecutando el calentamiento (CON). En las sesiones EXP-ISQ y EXP-Q se realizaron 4 series de 6 repeticiones con un descanso entre éstas de 90 s utilizando una carga con la que el sujeto desarrollaba la máxima potencia en fase concéntrica. Dicha carga fue calculada para cada ejercicio en dos sesiones separadas por 72 h una semana antes del inicio del estudio, durante la fase de familiarización. Todas las sesiones estuvieron precedidas por un calentamiento estandarizado en cicloergómetro (80 W y 80 rpm) con una duración de 5 min. Las sesiones se programaron con una separación de una semana y siempre desarrollándose al menos 72 h después del partido. Tras cada intervención se procedió con la realización de las evaluaciones respetando un tiempo de descanso de 4 min, de acuerdo con las observaciones de Crewther et al. (2011) para garantizar la presencia del fenómeno de potenciación post-activación (PPA) y evitar la fatiga. En todos los casos se evaluó la capacidad de salto mediante prueba con contramovimiento (CMJ), aceleración en 10 m, velocidad lanzada (10-20 m) y velocidad en 20 m, atendiendo siempre a este orden de las pruebas.

4.2 Muestra

Dieciocho jugadores de fútbol (edad = 17 ± 1.2 años; altura = $178 \pm 2,34$ cm; peso = 71 ± 4.56 kg; IMC = 19.12 ± 2.45) pertenecientes a la cantera de un equipo profesional de fútbol de la liga española participaron en el estudio. Se consideró como criterio de exclusión la presencia de algún tipo de lesión en el momento del inicio del estudio o con una antelación inferior a un mes. Esta intervención se llevó a cabo de acuerdo con la Declaración de Helsinki de la

Asociación Médica Mundial y fue aprobado por el Comité Ético de la Universidad de Sevilla.

4.3 Ejercicios y dispositivos de entrenamiento.

Ambos ejercicios de entrenamiento consistieron en la sucesión de acciones concéntricas y excéntricas mediante un ergómetro con volante de inercia YoYo™ (YoYo Technology AB, Estocolmo, Suecia). El principio de trabajo de estos dispositivos está basado en el movimiento de un volante gracias a una acción concéntrica muscular seguido de la desaceleración del movimiento mediante una contracción de tipo excéntrico. Al desarrollar la acción excéntrica sobre un desplazamiento angular menor, y por tanto, con un mayor torque que durante la acción concéntrica, el ejercicio se lleva a cabo con sobrecarga excéntrica (Askling et al., 2003). En el caso del ejercicio de leg curl, los sujetos desarrollaron un flexión de rodilla bilateral en posición de decúbito prono (Figura 1), acelerando el volante por la acción concéntrica de los isquiotibiales y seguidamente desacelerado con una acción excéntrica de este mismo grupo muscular. La instrucción fue la de aplicar el máximo esfuerzo desde una posición de extensión de rodilla hasta una flexión de 130-140°. A continuación, durante la fase de vuelta al inicio se comienza la fase de frenado al pasar la posición de 90°, continuando con la fase excéntrica hasta que las rodillas están en la posición de extensión. Respecto al ejercicio de ½ squat la fase excéntrica se produjo hasta una posición de 90° gracias a la acción bilateral de ambos cuádriceps fundamentalmente, para, seguidamente, mediante una acción a máxima velocidad proceder con la acción concéntrica hasta que ambas rodillas se encontraban en posición de máxima extensión (Figura 2). En ambos casos cuando el volante se paraba se comenzaba el siguiente ciclo.



Figura 1. Dispositivo isoinercial para leg curl (yoyo® Technology AB, Estocolmo, Suecia) descrito en la metodología.



Figura 2. Dispositivo isoinercial para ½ squat (yoyo® Technology AB, Estocolmo, Suecia) descrito en la metodología.

4.4 Tests de evaluación.

4.4.1 Test de potencia máxima.

La carga de entrenamiento fue individualizada de acuerdo a un test previo en el que se calculó la carga específica donde cada jugador desarrollaba la máxima potencia durante la fase concéntrica del movimiento en ambos ejercicios utilizados. Cada volante de inercia utilizado tenía un peso de 4.2 kg, una densidad de 1.4 kg x cm³, un diámetro de 380 mm, un grosor de 20 mm, resultando un momento de inercia de 0.11. Para calcular el número de volantes de inercia con el que cada jugador desarrollaba la máxima potencia se procedió con un protocolo incremental. En ambos ejercicios cada sujeto realizó 4 repeticiones con cada carga, incrementándose ésta hasta que la potencia desarrollada en la fase concéntrica descendía. Entre cada serie el tiempo de descanso establecido fue de 180 s. Para el cálculo de la potencia se utilizó un encoder angular (SmartCoach™, SmartCoach Europe AB, Estocolomo, Suecia).

4.4.2 Test de salto con contramovimiento.

Se realizaron tres saltos con contramovimiento (CMJ) de acuerdo con el protocolo propuesto por Cronin y McLean (2000). El ángulo de rodilla fue libre con fijación de las extremidades superiores en la cintura. Cada salto se registró con precisión de 0.1 cm. Entre salto y salto el tiempo de descanso fue de 30 s. Si la diferencia entre saltos era de más de un 5% se realizó un nuevo intento. Se anotó el mejor de los tres intentos. Para evaluar los saltos se utilizó una plataforma de contacto (MICROGATE, Bolzano, Italia). Los test de salto vertical fueron realizados registrándose el tiempo de vuelo (tf). La altura alcanzada por el centro de gravedad se calculó por medio de la fórmula (Bosco et al., 1998): $H = tf^2 * g * 1/8$ (m) (donde, H = altura alcanzada; tf = tiempo de vuelo; g = aceleración de la gravedad).

4.4.3 Test de velocidad de 20 m.

Las pruebas de velocidad se midieron a través de una doble célula fotoeléctrica OptoJump System (MICROGATE, Bolzano, Italia). Todos los sujetos fueron evaluados a través de la medición de los tiempos obtenidos en las distancias de 10 y 20 m. La posición de inicio se estandarizó para todos los participante, colocando la pierna dominante 1 m por detrás de la línea de inicio y el otro pie a la altura del talón del pie adelantado. Todos los registros fueron obtenidos mediante la realización de las pruebas en campo de fútbol de césped natural y todos los jugadores llevaron botas de fútbol para su realización. Los jugadores realizaron 3 intentos, cubriendo una distancia de 20 m y dejando un periodo de recuperación de 60 s entre cada uno de los intentos. Para el análisis estadístico se registraron los tiempos en recorrer las siguientes distancias: 0-10 m, 10-20 m y 0-20 m. Las mejores marcas de cada test serán las utilizadas para el análisis de los datos.

4.5 Análisis estadístico.

Para cada variable analizada se calculó la media y la desviación estándar de la media (SD). La prueba de Kolmogorov-Smirnov mostró la normalidad de los datos. Se procedió mediante un análisis de varianza (ANOVA) de medidas repetidas con objeto de comparar los resultados entre protocolos (CON, EXP-ISQ y EXP-Q). El nivel de significación se estableció para un valor de $p < 0.05$. Para el análisis de los datos se utilizó el programa estadístico SPSS v.18 (SPSS Inc., Chicago, IL).

5. Desarrollo del estudio.

5.1 Resultados.

Después de las diferentes intervenciones el CMJ mostró un incremento tanto para EXP-Q ($+2.07 \pm 2.48$ cm) como para EXP-ISQ (1.05 ± 2.31), si bien sólo en el primer caso esta diferencia puede considerarse como estadísticamente significativa ($p=0.003$). La figura 1 representa los valores de la variable salto en cada una de las tres intervenciones realizadas.

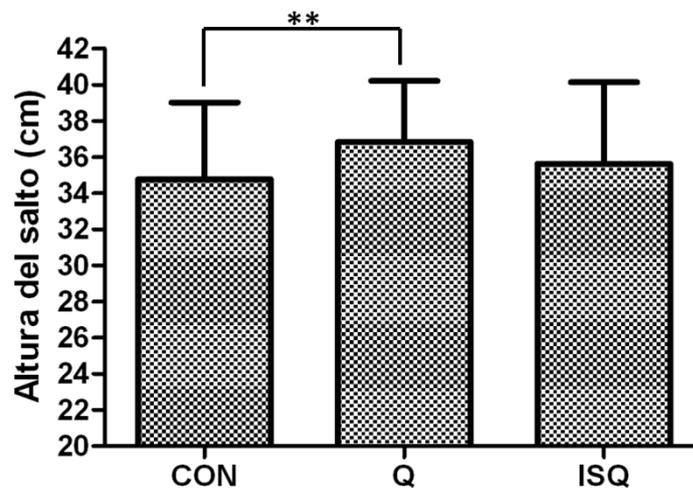


Figura 1. Altura del salto con contramovimiento (CMJ) después de las diferentes intervenciones (media \pm SD).

** $p < 0.01$

En lo relativo a la prueba de velocidad, en todos los casos el tiempo en recorrer las diferentes distancias se vio reducido tras ambas intervenciones experimentales en relación a la situación control. Concretamente, para la distancia de 0-10 m en CON el tiempo fue de 1.78 ± 0.10 s, mientras que para EXP-Q fue de 1.77 ± 0.07 s (n.s.) y para EXP-ISQ de 1.77 ± 0.09 s (n.s.). Respecto a la distancia de 10-20 m los tiempos fueron de 1.32 ± 0.04 s para CON, de 1.30 ± 0.05 ($p=0.008$) para EXP-Q y de 1.31 ± 0.07 para EXP-ISQ (n.s.). Por último, en lo referente a la distancia total de 0-20 m en CON el tiempo fue de 3.10 ± 0.13 s, en EXP-Q de 3.07 ± 0.11 s (n.s.) y en EXP-ISQ

de 3.07 ± 0.15 s (n.s.). La figura 2 muestra los diferentes resultados obtenidos en las diferentes intervenciones para las diferentes distancias.

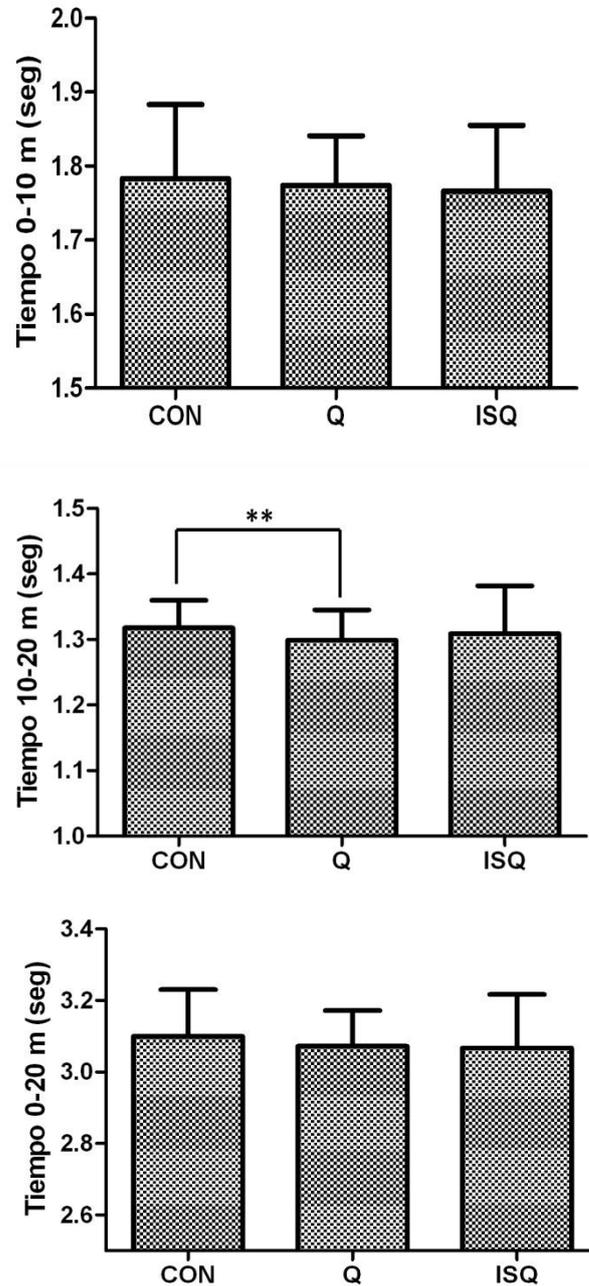


Figura 2. Tiempo en recorrer la distancia de 20 m después de las diferentes intervenciones (media \pm SD).

** $p < 0.01$

5.2 *Discusión.*

El principal propósito de este estudio fue evaluar el efecto de un ejercicio dinámico de squat y de leg curl con una carga submáxima concéntrica (Pmax) y sobrecarga excéntrica sobre el fenómeno de PAP. Los resultados obtenidos después de la realización de los dos protocolos (EXP-Q y EXP-ISQ) nos muestran que se produce mejora estadísticamente significativa en salto CMJ tras la realización del protocolo EXP-Q. En cuanto a la velocidad, tras realizar los dos protocolos obtenemos mejoras en las tres medidas (0-10, 10-20, 0-20 m), siendo éstas estadísticamente significativa sólo en 10-20 m para EXP-Q.

Los resultados observados coinciden con los obtenidos por Mitchel y Sale (2011) los cuales realizaron 1 serie de 5RM contando con un descanso de 4 min antes de la realización de 5 saltos CMJ y consiguiendo una mejora en el rendimiento en los saltos. En base a estos datos, podemos constatar que los resultados de nuestro trabajo para $\frac{1}{2}$ squat en cuanto al tiempo de descanso y el carácter máximo y dinámico del esfuerzo en el ejercicio utilizado para conseguir el efecto PAP son óptimos, pero no podemos considerarlos como apoyo debido al carácter de la contracción, ya que este estudio carece de sobrecarga excéntrica.

Atendiendo al efecto de las acciones excéntricas sobre el fenómeno de PAP, los resultados obtenidos refuerzan el estudio realizado por Pasquet et al. (2000), quienes procedieron a comparar la producción del fenómeno PAP tras acciones concéntricas y excéntricas de los músculos dorsiflexores del pie. Los sujetos participantes en el estudio realizaron 5 series de 30 contracciones máximas voluntarias a una velocidad constante de 50 °/s para un rango de 30° de movimiento de la articulación del tobillo (primero en contracción concéntrica y después en contracción excéntrica). Tras este ejercicio midieron actividad EMG mediante contracción isométrica máxima (MVC). Los resultados reflejaron, tras las contracciones excéntricas, una mayor PAP (mayor actividad electromiográfica recogida en contracciones isométricas tras cada acción) que tras la realización del mismo ejercicio pero de carácter concéntrico.

Atendiendo a los diferentes datos mostrados, sería conveniente realizar más investigaciones científicas para poder reforzar de manera contundente esta

idea e indagar en las posibles variables tales como tiempo de descanso, actividad realizada o número de series y repeticiones para optimizar el proceso por el cual se produce un mayor fenómeno PAP, ya que por falta de literatura científica no podemos catalogarlo aún como protocolo de pre-activación para actividades de carácter explosivo tales como lanzamientos, saltos, sprint...

En base a los resultados obtenidos y después del análisis de la literatura existente, la propuesta de mejora surge en relación al tiempo de descanso utilizado, puesto que está íntimamente relacionado con el estado de fatiga. Como bien muestran diversos estudios, las contracciones de carácter excéntrico producen un mayor daño muscular (Moore et al., 2004; Newham et al., 1983), lo que nos lleva a pensar que la realización de entrenamiento excéntrico como método para producción del fenómeno PAP requiere de un mayor tiempo de descanso, ya que al producirse adaptaciones diferentes a las producidas en acciones dinámicas donde predomina el carácter concéntrico no podemos realizar un descanso equitativo para ambos medios de entrenamiento. Así, probablemente, tras la sobrecarga excéntrica máxima el tiempo de descanso debe ser mayor debido a que la fatiga constará de mayor duración. Por el momento y hasta nuevas publicaciones que indiquen lo contrario estas directrices son de las pocas que existen para conseguir el fenómeno PAP mediante sobrecargas excéntricas en dispositivos isoinerciales yo-yo®, ya que los resultados así lo demuestran.

6. Conclusión.

Tras el análisis de los datos registrados, los resultados han sido estadísticamente significativos en diferentes variables. Así, una activación de carácter excéntrico para la musculatura del cuádriceps (1/2 squat) antes de una sesión de salto ha mostrado importantes resultados ya que, como observamos, para EXP-Q es un valor muy significativo respecto a la situación control, lo que demuestra que el beneficio obtenido es relevante. Por tanto podemos afirmar que, para la variable CMJ, hay una potenciación post-activación tras realizar un entrenamiento excéntrico de cuádriceps, si bien, dicho fenómeno no se produce para la musculatura isquiotibial.

Respecto a la variable velocidad, obtenemos cambios significativos solo en la distancia 10-20 m, también llamada velocidad lanzada, para el entrenamiento excéntrico de cuádriceps. Por ello concluimos que hay una PPA en velocidad lanzada para este equipo, tras un entrenamiento excéntrico. Los datos de 0-10 metros y 0-20 metros muestran mejoras pero no estadísticamente significativas, por lo que no hay un beneficio claro. Al igual que ocurriría con el CMJ, en el caso del entrenamiento con leg curl para isquiotibiales, en ningún caso se observó un efecto significativo.

Como conclusión global, se puede afirmar que una pre-activación de carácter excéntrico, previa a una sesión donde el salto y la velocidad sean parámetros relevantes del rendimiento, como es el caso del fútbol, puede aportarnos beneficios respecto a realizar un calentamiento estándar, en este caso en cicloergómetro.

7. Referencias bibliográficas

1. Askling, C., Karlsson, J. y Thorstensson, A. (2003). Hamstring injury occurrence in elite soccer players after preseason strength training with eccentric overload. *Scand J Med Sci Sports*, 13 (4), 244-250.
2. Babault, N, Maffiuletti, N, and Pousson, M. (2008). Postactivation potentiation in human knee extensors during dynamic passive movements. *Med Sci Sports Exerc*, 4, 725–743.
3. Baudry, S and Duchateau, J. (2004). Postactivation potentiation in human muscle is not related to the type of maximal conditioning contraction. *Muscle Nerve*, 30, 328–336.
4. Bigland-Ritchie B, Woods JJ. Integrated electromyogram and oxygen uptake during positive and negative work. (1976). *J Physiol.*, 260 (2), 267-77.
5. Crewther, B.T., Kilduff, L.P., Cook, C.J., Middleton, M.K., Bunce, P.J., & Yang, G.Z. (2011). The acute potentiation effects of back squats on athlete performance. *J Strength Cond Res.*, 25 (12), 3319–3325.
6. Cronin, J. y McLean, A. (2000). Functional measurement of leg extension musculature: protocols, research and clinical applications. *Nz. J. Sports Med.*, 27, 40-43.
7. Dufour SP, Doutreleau S, Lonsdorfer-Wolf E, Lampert E, Hirth C, Piquard F et al. (2007). Deciphering the metabolic and mechanical contributions to the exercise-induced circulatory response: insights from eccentric cycling. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.*, 292(4), R1641-8.
8. Esformes, JI, Cameron, N, and Bampouras, TM. (2010). Post-activation potentiation following different modes of exercise. *J Strength Cond Res.*, 24, 1911–1916.
9. Farthing JP, Chilibeck PD. (2003). The effect of eccentric training at different velocities on cross-education. *Eur J Appl Physiol.*, 89(6), 570-7.
10. Folland, JP, Wakamatsu, T, and Fimland, MS. (2008). The influence of maximal isometric activity on twitch and H-reflex potentiation, and quadriceps femoris performance. *Eur J Appl Physiol.*, 104, 739–748.
11. Gouvêa, A.L., Fernandes, I.A., César, E.P., Silva, W.A., Gomes, P.S. (2013). The effects of rest intervals on jumping performance: a meta-analysis on post-activation potentiation studies. *J Sport Sci.*, 31 (5), 37-41.

12. Gullich, A and Schmidtbleicher, D. (1996). MVC induced short-term potentiation of explosive force. *New Stud Athl.*, 11, 67–81.
13. Hamada, T., Sale, D.G., & MacDougall, J.D. (2000). Postactivation potentiation in endurance-trained male athletes. *Med Sci Sport Exerc.*, 32 (2), 403–411.
14. Hortobagyi T, Lambert NJ, Hill JP. (1997). Greater cross education following training with muscle lengthening than shortening. *Med Sci Sport Exerc.*, 29 (1), 107-12.
15. Howatson G, van Someren KA. (2007). Evidence of a contralateral repeated bout effect after maximal eccentric contractions. *Eur J Appl Physiol.*, 101(2), 207-14.
16. Jensen, R.L., & Ebben, W.P. (2003). Kinetic analysis of complex training rest interval effect on vertical jump performance., *J Strength Cond Res.*, 17 (2), 345–349.
17. Jones, P and Lees, A. (2003). A biomechanical analysis of the acute effects of complex training using lower limb exercises. *J Strength Cond Res* 17, 694–700.
18. Kilduff, L.P., Bevan, H.R., Kingsley, M.I., Owen, N.J., Bennett, M.A., Bunce, P.J., Hore, A.M., Maw, J.R. y Cunningham, D.J. (2007). Postactivation potentiation in professional rugby players: optimal recovery. *J Strength Cond Res.*, 21 (4), 1134-8.
19. Kilduff, L.P., Owen, N., Bevan, H., Bennett, M., Kingsley, M.I., Cunningham, D. (2008) Influence of recovery time on post-activation potentiation in professional rugby players. *J Sports Sci.*, 26 (8), 795-802.
20. Lindstedt, S. L., LaStayo, P.C. y Trude-Reich, E. (2001). When Active Muscles Lengthen: Properties and Consequences of eccentric Contractions. *New Physiol Sci.*, 208, 4715-4725.
21. Luscher, H.R., Ruenzel, P., Hennerman, E. (1983). Composite EPSPs in motoneurons of different sizes before and during PTP: implications for transmission failure and its relief in Ia projections. *J. Neurophysiol.*, 49 (1), 269-89
22. Mahfel, K., Frank, J. y Awiszus, F. (2004). Postcontraction changes of muscle architecture in human quadriceps muscle. *Muscle Nerve*, 29 (4), 597-600.

23. Mitchell, C.J., & Sale, D.G. (2011). Enhancement of jump performance after a 5-RM squat is associated with postactivation potentiation. *Eur J Appl Physiol.*, 111 (8), 1957–1963.
24. Moore, C. A., Weiss, L. W., Schilling, B. K., Fry, A. C. y Li, Y. (2007). Acute effects of augmented eccentric loading on jump squat performance. *J Strength Cond Res.*, 21 (2), 372-377.
25. Moritani T, Muramatsu S, Muro M. (1987). Activity of motor units during concentric and eccentric contractions. *Am J Phys Med.*, 66 (6), 338-50.
26. Newham DJ, McPhail G, Mills KR, Edwards RH. (1983). Ultrastructural changes after concentric and eccentric contractions of human muscle. *J Neurol Sci.*, 61 (1), 109-22.
27. Norrbrand, L., Pozzo, M., & Tesch, P. A. (2010). Flywheel resistance training calls for greater eccentric muscle activation than weight training. *Eur J Appl Physiol.*, 110 (5), 997-1005.
28. Pasquet, B., Capentier, A., Duchateau, J. y Hainaut, K. (2000). Muscle fatigue during concentric and eccentric contraction. *Muscle Nerve*, 23, 1727-1735.
29. Potier TG, Alexander CM, Seynnes OR. (2009). Effects of eccentric strength training on biceps femoris muscle architecture and knee joint range of movement. *Eur J Appl Physiol.*, 105 (6), 939-44.
30. Reeves ND, Maganaris CN, Longo S, Narici MV. (2009). Differential adaptations to eccentric versus conventional resistance training in older humans. *Exp Physiol.*, 94 (7), 825-33.
31. Requena, B. (2005). Efectos de la aplicación de estimulación eléctrica percutánea en relación con la potenciación postetánica y la manifestación de la fuerza y la potencia muscular. Tesis doctoral, Universidad de Granada.
32. Rixon, KP, Lamont, HS, and Bembem, MG. (2007). Influence of type of muscle contraction, gender, and lifting experience on postactivation potentiation performance. *J Strength Cond Res.*, 21, 500–505.
33. Robbins, D, Wand Docherty, D. (2005). Effect of loading on enhancement of power performance over three consecutive trials. *J Strength Cond Res.*, 19, 898–902.

34. Seynnes OR, de Boer M, Narici MV. (2007). Early skeletal muscle hypertrophy and architectural changes in response to high-intensity resistance training. *J Appl Physiol.*, 102 (1), 368-73
35. Smith, J.C., y Fry, A.C. (2007). Effects of a second maximum voluntary contraction on regulatory myosin light-chain phosphorylation and dynamic performance measures. *J Strength Cond Res.*, 103 (4), 449-59.
36. Stuart, D.S., Lingley, M.D., Grange, R.W. y Houston, M.E. (1998). Myosin light chain phosphorylation and contractile performance of human skeletal muscle. *Can J Physiol Pharmacol.*, 66 (1), 49-54.
37. Tesch PA, Dudley GA, Duvoisin MR, Hather BM, Harris RT. (1990). Force and EMG signal patterns during repeated bouts of concentric or eccentric muscle actions. *Acta Physiol Scand.*, 138 (3), 263-71.
38. Tillin, NA and Bishop, D. (2009). Factors modulating post-activation potentiation and its effect on performance of subsequent explosive activities. *Sports Med.*, 39, 147–166.
39. Tsimachidis, Dimitrios; Cesla, Petr; Hájek, Tomas; Theodoridis, Georgios; Jandera, Pavel; et al. (2008). *J separ sci.*, 6-7, 1130-1136.
40. Whitehead NP, Morgan DL, Gregory JE, Proske U. (2003). Rises in whole muscle passive tension of mammalian muscle after eccentric contractions at different lengths. *J Appl Physiol.*, 95 (3), 1224-34.