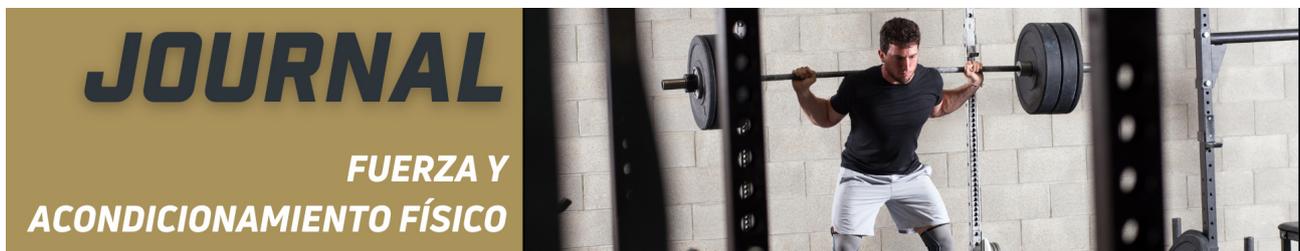


Efectos agudos de varios protocolos de activación de sentadillas traseras sobre la rigidez de los músculos, los tendones y el rendimiento del salto



Artículo traducido por: Marcos Celada Gómez

Krzysztofik, Micha?; Wilk, Micha?; Pisz, Anna; Kolinger, Dominik; Tsoukos, Athanasios; Zaj?c, Adam; Stastny, Petr; Bogdanis, Gregory C.

Abstract

La intensidad, la velocidad del movimiento y el volumen son los principales factores para utilizar con éxito el aumento del rendimiento posterior a la activación. Por lo tanto, 15 jugadores de voleibol entrenados en resistencia completaron 3 configuraciones diferentes de sentadillas como actividad de acondicionamiento (CA, por sus siglas en inglés) en orden aleatorio: (a) 3 series de 3 repeticiones al 85% de 1RM (HL); (b) una única serie de sentadillas al 60% de 1RM hasta una pérdida de velocidad media del 10% (VB); (c) y 2 series de sentadillas al 60% de 1RM hasta una pérdida de velocidad media del 10% (2VB), evaluando el rendimiento en salto de contramovimiento, la rigidez del tendón de Aquiles y del vasto lateral junto con la temperatura de la superficie de la piel del muslo frontal. Las mediciones se realizaron 5 minutos antes de la CA y a los 2, 4, 6, 8 y 10 minutos después. La altura del salto aumentó significativamente en el segundo minuto y en el pico posterior a la CA en comparación con el valor inicial en todas las condiciones ($p = 0.049$; $ES = 0.23$ y $p < 0.001$; $ES = 0.37$). La temperatura de la superficie de la piel aumentó significativamente en todos los puntos de tiempo posteriores a la CA en comparación con el valor inicial en la condición 2VB (p de <0.001 a 0.023 ; $ES = 0.39$ a 1.04) y en el cuarto minuto y en el pico posterior a la CA en la condición HL ($p = 0.023$;

ES = 0.69 y $p = 0.04$; ES = 0.46), mientras que en la condición VB se encontró una disminución significativa en el pico posterior a la CA ($p = 0.004$; ES = -0.54). La rigidez del tendón de Aquiles disminuyó significativamente en el segundo, cuarto, octavo, décimo y pico posterior a la CA en comparación con el valor inicial en todas las condiciones (p de 0.004 a 0.038; ES = -0.47 a -0.69). La rigidez del vasto lateral disminuyó significativamente en el pico posterior a la CA en comparación con el valor inicial en todas las condiciones ($p = 0.017$; ES = -0.42). Recomendamos utilizar una sola serie de sentadillas con una pérdida de velocidad del 10% como mecanismo de control de la fatiga para mejorar agudamente el rendimiento en altura de salto y evitar aumentos innecesarios en el volumen de entrenamiento.

Introducción

Los entrenadores y atletas que buscan mejorar agudamente el rendimiento de potencia a menudo incluyen una actividad de acondicionamiento (CA) como parte de su calentamiento previo a la competición o sesión de entrenamiento (4). Un ejemplo de este procedimiento es la combinación de sentadillas con carga alta (>80% de una repetición máxima [1RM]) como CA para potenciar el ejercicio explosivo posterior con una estructura de movimiento similar, como el salto vertical (35). Los mecanismos fisiológicos que subyacen al efecto agudo de un CA aún son motivo de debate. El aumento en el rendimiento voluntario generalmente ocurre de 5 a 7 minutos después del CA y se conoce como mejora del rendimiento posterior a la activación (PAPE, por sus siglas en inglés), que está asociada con cambios comúnmente observados durante el calentamiento, como el aumento de la temperatura muscular, el contenido de agua en las fibras musculares y la excitación muscular (3). Sin embargo, no se puede descartar que los mecanismos que sustentan el fenómeno de potenciación postactivación, como la fosforilación de las cadenas ligeras reguladoras de la miosina, también contribuyan a un aumento en el rendimiento, especialmente porque el CA puede aumentar el rendimiento posterior por encima y más allá del del calentamiento.

Aunque el aumento de la temperatura muscular inducido por el ejercicio se informa a menudo como una de las explicaciones de los efectos agudos del rendimiento de CA, según el conocimiento de los autores, no se ha evaluado directamente en estudios dedicados al fenómeno de PAPE. Se sabe que un aumento en la temperatura muscular está asociado con una mejora en el rendimiento, y un aumento tan pequeño como 0.3-0.9 °C puede contribuir a mejoras en el rendimiento neuromuscular (33). Sin embargo, en algunos estudios, se informan mejoras en el rendimiento después de un volumen muy bajo de CA, que no parece causar un aumento significativo en la temperatura muscular (41,43). Por ejemplo, en un estudio de Tsoukos et al. (41), una sola serie de press de banca con el 80% de una repetición máxima (1RM) con una disminución del 10% en la velocidad media, lo que permitió a los participantes realizar entre 2 y 5 repeticiones, contribuyó a una mejora significativa en la velocidad propulsiva media en el lanzamiento posterior de press de banca. Refiriéndonos a la investigación dedicada a los cambios en la temperatura de los músculos causados por el ejercicio, parece que ese volumen de entrenamiento podría incluso provocar una disminución en la temperatura muscular, no su aumento. Por ejemplo, Weigert et al. (45) observaron una ligera y no significativa disminución de la temperatura después de 10 repeticiones de curl de bíceps al 70% de 1RM. Este fenómeno ya ha sido confirmado en otros estudios por Formenti et al. (9) y

Merla et al. (27) y podría deberse a la vasoconstricción reactiva de los vasos de la piel y podría indicar una redistribución de la sangre inmediatamente después de un breve período de actividad intensa. Por lo tanto, otros mecanismos podrían respaldar el efecto de PAPE después de un volumen bajo de CA (2-5 repeticiones, como en el estudio de Tsoukos et al. (41).

Otro posible fenómeno que puede contribuir al efecto de PAPE es la rigidez muscular (1), pero todavía existe poca investigación en relación a este tema (10,29). Pożarowski et al. (29) encontraron un aumento inducido por la CA en la rigidez del tendón de Aquiles (después de repeticiones únicas de sentadillas progresivas con cargas del 60 al 100% de 1RM con incrementos del 10%); sin embargo, los autores no evaluaron los cambios posteriores en el rendimiento. Por otro lado, un estudio de Gago et al. (10) no mostró cambios en la rigidez del tendón de Aquiles a pesar de reportarse el efecto de PAPE (aumento significativo en el pico de contracción y en la velocidad de desarrollo del torque en los flexores plantares). Dado que el ciclo estiramiento-acortamiento está fuertemente relacionado con la rigidez (23), un aumento en la rigidez debería tener un efecto positivo en la aptitud física desde el punto de vista teórico. Curiosamente, se ha informado una reducción en la rigidez del tendón después de contracciones musculares breves (20), sin influencia en el rendimiento, mientras que un aumento en la rigidez muscular se ha asociado con fatiga aguda (40,44). Por lo tanto, parece que el aumento agudo de la rigidez puede estar asociado con un aumento en la fatiga que puede reducir el efecto de PAPE. Se especula que una rigidez elevada puede ser un mecanismo compensatorio o protector del cuerpo contra la fatiga (24). Un aumento en la rigidez puede ir acompañado de microinflamaciones dentro de las fibras musculares, como se informó en el estudio de Proske y Morgan (32). Otra explicación puede ser un aumento en los metabolitos musculares inducido por la fatiga, lo que hace que los puentes cruzados de miosina se adhieran más firmemente a las fibras de titina (7) y reduzcan el tiempo de relajación del músculo a través de una tasa de desprendimiento de puentes cruzados más baja (8). Por lo tanto, parece que el aumento agudo de la rigidez puede estar asociado con un aumento en la fatiga en lugar del efecto de PAPE. Evaluar las sutiles modificaciones de la rigidez muscular y las propiedades viscoelásticas de los músculos puede ayudar a identificar el desarrollo temprano de la fatiga muscular (36,40). Esto puede ser de gran importancia al optimizar el efecto individual de PAPE, ya que la mejora del rendimiento depende del nivel de fatiga y potenciación inducido por la CA. Por lo tanto, cuando el estado de fatiga supera la potenciación, se produce una falta o incluso una disminución en el rendimiento, mientras que se observan mejoras cuando el estado de potenciación supera la fatiga (35).

En cuanto a la variabilidad interindividual previamente reportada en las respuestas de PAPE debido al equilibrio entre fatiga y potenciación (5), se debe considerar el volumen individualmente determinado de la CA y el intervalo de descanso entre la CA y el ejercicio de postactivación. La determinación del volumen adecuado de la CA se puede investigar registrando la pérdida de velocidad durante repeticiones sucesivas de la CA, ya que este enfoque ha demostrado ser un indicador sensible de fatiga neuromuscular (34) y efectivo para provocar PAPE (41,43). El intervalo de descanso óptimo se puede determinar cuándo se alcanza la respuesta máxima de PAPE para cada atleta (22), lo que se denomina puntos de tiempo de rendimiento máximo individualizados.

Debido a que la influencia del volumen de la CA, la intensidad, el tiempo de recuperación y la velocidad de ejecución sobre la rigidez musculotendinosa, la temperatura y el

rendimiento aún no se ha resuelto, el objetivo del presente estudio fue comparar los efectos agudos de 3 configuraciones diferentes de sentadillas traseras como CA: (a) 3 series de 3 repeticiones al 85% de 1RM; (b) una serie única de sentadillas traseras al 60% de 1RM hasta una pérdida de velocidad media del 10%; (c) y 2 series de sentadillas traseras al 60% de 1RM hasta una pérdida de velocidad media del 10%; sobre el rendimiento posterior en el salto de contramovimiento, la rigidez del tendón de Aquiles y del vasto lateral con evaluación simultánea de la temperatura superficial de la piel del muslo anterior. Se planteó la hipótesis de que todas las CA examinadas aumentarían significativamente la altura del salto de contramovimiento, con una disminución simultánea de la rigidez del tendón de Aquiles y del músculo vasto lateral, mientras que la temperatura de la piel del muslo permanecería sin cambios.

Métodos

Enfoque experimental del problema

Los participantes realizaron una sesión de familiarización y 3 sesiones experimentales en un período de 4 semanas. La sesión de familiarización incluyó la determinación de la carga de 1RM para la sentadilla trasera, seguida de la realización de 2 series al 60% de 1RM hasta una pérdida del 10% de la velocidad vertical de la barra. Las sesiones experimentales se realizaron en un orden aleatorio, con una semana de diferencia entre ellas, donde cada participante realizó: (a) 3 series de 3 repeticiones al 85% de 1RM (HL); (b) una serie única de sentadillas traseras al 60% de 1RM hasta una pérdida del 10% de la velocidad media (VB); (c) y 2 series de sentadillas traseras al 60% de 1RM hasta una pérdida del 10% de la velocidad media (2VB). Para examinar los efectos agudos del ejercicio de sentadilla trasera en la altura del salto de contramovimiento posterior, se realizó una serie única de 2 repeticiones del salto de contramovimiento 5 minutos antes y a los 2, 4, 6, 8 y 10 minutos después de cada protocolo de activación (Figura 1). Además, se realizaron evaluaciones de la rigidez del tendón de Aquiles y del vasto lateral, así como de la temperatura superficial de la piel del muslo anterior aproximadamente 30 segundos antes de cada serie de saltos.

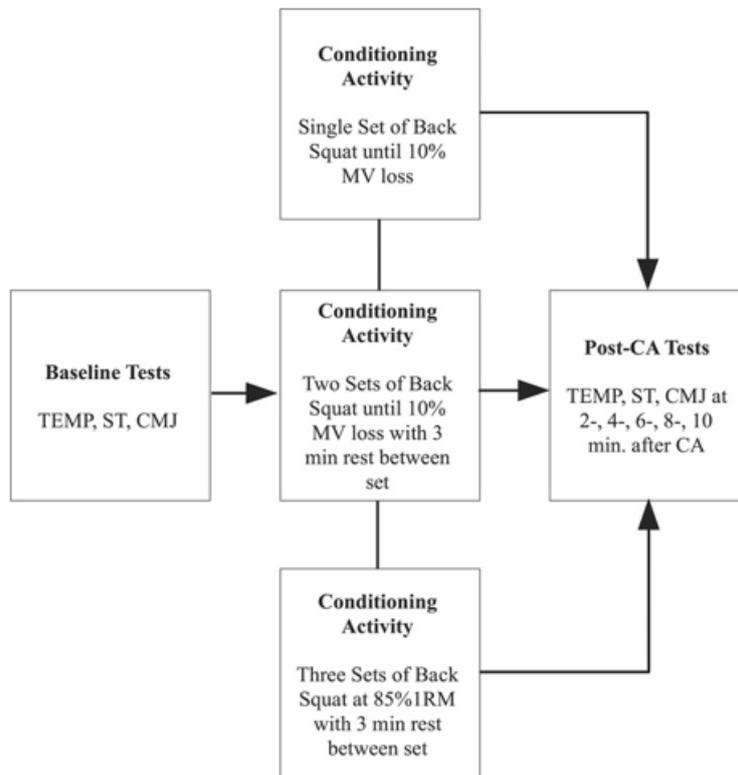


Figure 1.

Schematic representation of the study design. TEMP = skin surface temperature; ST = Achilles tendon and vastus lateralis stiffness; CMJ = countermovement jump; MV = mean velocity; CA = conditioning activity. 1RM = one repetition maximum.

Sujetos

Quince jugadores de vóley masculino entrenados en fuerza (edad: 20-39 años; masa corporal: $92,1 \pm 9,3$ kg; altura: 198 ± 10 cm; grasa corporal: $8,7 \pm 3,8\%$; experiencia en entrenamiento de vóley: 15 ± 7 años; máximo relativo de una repetición en sentadilla trasera [1RM]: $1,63 \pm 0,15$ kg/masa corporal) participaron en el estudio. Los participantes tenían al menos 3 años de experiencia en entrenamiento de fuerza y no presentaban lesiones musculoesqueléticas en los 3 meses previos al estudio. Durante el estudio, los atletas estaban involucrados en un período típico de preparación previa a la temporada de vóley. Dos semanas antes del inicio del experimento, los atletas realizaron acondicionamiento general como parte de la preparación previa a la temporada. Las mediciones se realizaron los lunes por la mañana, ya que los atletas habían descansado durante el fin de semana. Después de las mediciones, los participantes realizaron su entrenamiento de fuerza de tren inferior según el programa establecido, mientras que los jueves se llevaron a cabo otras sesiones de entrenamiento de resistencia de tren superior e inferior. Además, los participantes realizaron entrenamiento específico de vóley, que incluía habilidades y ejercicios, juegos en espacios reducidos y ejercicios de competición los martes, miércoles y viernes. Además, se les pidió que mantuvieran sus hábitos dietéticos y de sueño normales durante todo el estudio, y que no utilizaran suplementos o estimulantes durante las 24 horas previas a las pruebas. Los participantes del estudio tuvieron la opción de retirarse en cualquier momento y no presentaban trastornos

musculoesqueléticos. Se les informó sobre los beneficios y los posibles riesgos del estudio antes de proporcionar su consentimiento informado por escrito para participar. El protocolo del estudio fue aprobado por el Comité de Bioética para la Investigación Científica (3/2021) de la Academia de Educación Física Jerzy Kukuczka y se llevó a cabo de acuerdo con los estándares éticos de la Declaración de Helsinki de 2013. Para calcular el tamaño de la muestra, se utilizó un software estadístico (G*Power, Dusseldorf, Alemania). Considerando el análisis de varianza de dos vías aplicado (3 condiciones y 6 medidas repetidas), un tamaño de efecto general pequeño (ES) = 0,31, un error alfa <0,05, la potencia deseada (1 - error β) = 0,5 y una correlación entre las medidas repetidas = 0,85, el tamaño total de la muestra resultó en 15 participantes. Este valor de tamaño de efecto fue elegido de acuerdo con los hallazgos de Seitz y Haff (35) sobre el impacto del PAPE en el rendimiento del salto.

Procedimientos

Sesión de familiarización y prueba de fuerza 1RM

La sesión de familiarización comenzó a la misma hora del día que las próximas sesiones experimentales (entre las 9:00 y las 11:00 a.m.). Los sujetos realizaron un calentamiento estandarizado que consistió en pedalear en una bicicleta estática durante 5 minutos (Keiser M3 Indoor Bike, Keiser Corporation, Fresno CA) con una resistencia de aproximadamente 100 W y una cadencia entre 70 y 80 rpm. Luego, realizaron ejercicios corporales: sentadillas, zancadas, flexiones de brazos, inclinaciones hacia adelante, rotaciones de tronco y flexiones laterales, así como saltos verticales submáximos. A continuación, los participantes realizaron 10, 6, 4 y 3 repeticiones de sentadilla, con una carga de 20 kg y al 40, 60 y 80% de su estimación de 1RM, respectivamente. La primera carga de prueba se estableció en un 80% estimado de 1RM y se aumentó de 2.5 a 5 kg en cada intento posterior hasta que el participante no pudo realizar un levantamiento con la técnica adecuada. La duración de cada repetición fue controlada por un metrónomo y se fijó en 2 segundos en la fase excéntrica y velocidad máxima en la fase concéntrica del movimiento. Los participantes comenzaron desde una posición erguida, con las rodillas y las caderas completamente extendidas, la postura (aproximadamente a la anchura de los hombros) y la posición de los pies (planos en el suelo en paralelo o rotados externamente hasta un máximo de 15°) se ajustaron individualmente y se replicaron cuidadosamente en cada levantamiento. La barra debía estar en contacto con la espalda y los hombros en todo momento (a la altura del acromion). Desde esta posición, los participantes tenían que descender hasta hacer contacto con el banco y luego realizar la fase concéntrica del movimiento de manera explosiva. La altura del banco se seleccionó individualmente y permitió que cada participante descendiera con las caderas por debajo de la línea de las rodillas. La carga máxima completada sin ninguna ayuda de los asistentes se definió como 1RM. Se permitieron intervalos de descanso de cinco minutos entre los intentos de 1RM, y todos los valores de 1RM se obtuvieron en un máximo de 5 intentos. Después de la prueba de 1RM, todos los participantes realizaron 2 series de sentadillas hasta una pérdida media de velocidad del 10% al 60% de 1RM y una serie de 3 repeticiones al 85% de 1RM.

Sesiones experimentales

En un orden aleatorizado y contrabalanceado, después del mismo calentamiento que antes de la prueba de 1RM, los participantes realizaron 3 condiciones de prueba diferentes, separadas por una semana: (a) 3 series de 3 repeticiones al 85% de 1RM (HL); (b) una sola serie de sentadillas al 60% de 1RM hasta una pérdida media de velocidad del 10% (VB); y (c) 2 series de sentadillas al 60% de 1RM hasta una pérdida media de velocidad del 10% (2VB). Cada condición de prueba se completó a la misma hora del día para cada atleta. Durante cada CA, se les pidió a los participantes que realizaran cada repetición con una duración constante de 2 segundos en la fase excéntrica y lo más rápido posible durante la fase concéntrica del movimiento. La selección de las variables de CA se basó en estudios anteriores que demostraron su efectividad para inducir el efecto PAPE (35,43). Específicamente, en un estudio previo utilizando el ejercicio de press de banca, la activación muscular fue igual en las primeras repeticiones realizadas lo más rápido posible utilizando una carga del 60% en comparación con el 80% de 1RM (42). Además, se encontró que un protocolo de acondicionamiento utilizando el 60% de 1RM y una reducción del 10% en la velocidad media del movimiento optimizaba la potenciación postactivación durante el press de banca (43). Finalmente, el 60% de 1RM se encuentra dentro del rango de carga óptimo para la producción de potencia media durante las sentadillas (37). Para evaluar los cambios en la altura del salto (JH), se realizaron series individuales de 2 repeticiones del salto de contramovimiento (CMJ) antes y después del CA en 5 momentos de tiempo con intervalos de descanso de 2 minutos. Antes de cada serie de CMJ, se realizaron mediciones de la temperatura superficial del muslo anterior y propiedades viscoelásticas del vasto lateral y el tendón de Aquiles.

La pérdida media de velocidad durante la CA se evaluó mediante un transductor de posición lineal Tendo Power Analyzer (Tendo Sport Machines, Trencin, Eslovaquia). Este dispositivo es un sistema confiable para medir la velocidad del movimiento y la producción de potencia (12). El extremo externo del cable se sujetó al costado de la barra y no proporcionó resistencia. El dispositivo se colocó en el suelo directamente debajo de la barra.

Medición de la temperatura de la superficie cutánea

Se utilizó una cámara infrarroja FLIR E54 (FLIR Systems, Inc., Wilsonville, Oregón) para obtener imágenes termográficas, las cuales luego fueron analizadas con el software FLIR Research (FLIR Systems, Inc., Wilsonville, Oregón). Se evaluó la temperatura promedio en la zona del músculo cuádriceps de acuerdo a los criterios establecidos por Gomez Carmona (14). La cámara fue calibrada mediante un cuerpo negro, y se estableció una emisividad en el rango de 0.97-0.98. Las imágenes térmicas se tomaron siguiendo una lista de verificación dirigida a estandarizar la imagen termográfica en el deporte y la medicina del ejercicio, según Moreira et al. (28). Se instruyó a todos los participantes que evitaran comportamientos que pudieran alterar la temperatura de la piel (exposición al calor o al frío, masajes, tabaco, alcohol, cafeína, etc.). Los participantes se colocaron perpendicularmente a una distancia de 1.5 m de la cámara, frente a un fondo blanco uniforme. La temperatura de la habitación se mantuvo constante (21 °C), al igual que la intensidad de la luz, y no había ventilación directa en la sala de pruebas.

Medición de las Propiedades Musculares Viscoelásticas

Se utilizó el miómetro portátil MyotonPRO (MyotonPRO, Myoton AS, Tallin, Estonia) para la evaluación no invasiva de la rigidez del vasto lateral del miembro dominante y del tendón de Aquiles. La medición para el vasto lateral se realizó al 50% de la distancia en línea recta entre el trocánter mayor y el capitulum fibular (2), mientras que para el tendón de Aquiles se realizó a 2 cm proximales al aspecto superior del calcáneo (38). El acelerómetro del Myoton se configuró a 3,200 Hz con un valor promedio obtenido a partir de 3 mediciones consecutivas (0.4 N durante 15 ms).

Medición del Rendimiento en el Salto de Contramovimiento

Se utilizó el dispositivo Optojump con células fotoeléctricas (Microgate, Bolzano, Italia) para medir la altura del salto. Es una plataforma infrarroja con validez y confiabilidad comprobadas para evaluar la altura del salto vertical (13). El dispositivo mide el tiempo de vuelo de los saltos verticales con una frecuencia de muestreo de 1,000 Hz. La altura del salto se calculó a partir del tiempo de vuelo ($9.81 \times [\text{tiempo de vuelo}]^2/8$).

Cada participante realizó 2 saltos de contramovimiento sin balanceo de brazos como línea de base antes del CA y en 5 momentos posteriores al CA (2, 4, 6, 8 y 10 minutos después de completar el CA). El participante comenzó en posición de pie con las manos en las caderas. Luego, se les indicó que realizaran un movimiento rápido hacia abajo hasta una profundidad seleccionada por ellos mismos y, posteriormente, un movimiento rápido hacia arriba para saltar lo más alto posible. El participante volvió a la posición inicial después de cada salto, y el procedimiento se completó con un total de 2 saltos. Se evaluó la altura del salto y se conservó el mejor intento para un análisis posterior. Debido a la alta variabilidad interindividual en las respuestas de potenciación (5) y al enfoque individualizado de tiempo de recuperación (5,22), también se analizó el valor más alto obtenido después del CA.

Análisis estadísticos

Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando SPSS (versión 25.0; SPSS, Inc., Chicago, IL) y se expresaron como medias con desviaciones estándar (\pm DE). Además, también se calcularon los intervalos de confianza del 95% para los valores medios y las diferencias relativas (es decir, en porcentajes) entre los valores basales (BA) y post-CA. La significancia estadística se estableció en $p < 0.05$. La confiabilidad relativa (coeficiente de correlación intraclase de dos vías con efectos mixtos, acuerdo absoluto, un evaluador) y absoluta (coeficiente de variación; dispersión de la variable) se calcularon a partir de las mediciones basales tomadas para cada una de las variables dependientes (21). Se utilizaron las pruebas de Shapiro-Wilk y Mauchly para verificar la normalidad y esfericidad de las varianzas de los datos de muestra, respectivamente. Se utilizaron ANOVAs de una vía para comparar la carga y el número de repeticiones realizadas durante los CA. Se utilizaron ANOVAs de medidas repetidas de dos vías (3 condiciones \times 6 puntos temporales) para investigar la influencia de los CA en la rigidez del tendón y el músculo, la temperatura superficial de la piel y la altura del salto. Se utilizaron ANOVAs adicionales

de dos vías (3 condiciones × 2 puntos temporales [pre-CA; mejor post-CA]) para examinar las respuestas individuales de PAPE pico (se seleccionaron los valores de rigidez y temperatura superficial de la piel en el momento correspondiente en el que se registró la mayor altura de salto post-CA para su análisis posterior, es decir, si la mayor altura de salto post-CA ocurrió en el cuarto minuto, entonces se evaluaron los valores de rigidez y temperatura superficial de la piel registrados en el cuarto minuto). Cuando se encontró un efecto principal o una interacción significativa, se utilizaron pruebas post hoc con corrección de Bonferroni para analizar las comparaciones por pares. La magnitud de las diferencias medias se expresó mediante tamaños de efecto estandarizados. Los umbrales para los descriptores cualitativos de Hedges *g* se interpretaron como $?0.20$ "pequeño", 0.21–0.79 "mediano" y >0.80 como "grande" (6). Se utilizó el coeficiente de correlación producto-momento de Pearson para analizar la relación entre 1RM de sentadilla, altura de salto basal, propiedades musculares viscoelásticas basales y cambios porcentuales entre el valor basal y el mejor valor post-CA vs. la magnitud de la respuesta de PAPE. Los umbrales para los descriptores cualitativos de las correlaciones se interpretaron como: trivial (0.0–0.09), pequeña (0.10–0.29), moderada (0.30–0.49), grande (0.50–0.69), muy grande (0.70–0.89), casi perfecta (0.90–0.99) y perfecta (1.0) (17).

Resultados

Las estadísticas descriptivas de los CA se presentan en la Tabla 1. El ICC y CV fueron respectivamente: para la rigidez del AT: 0.89 (IC del 95%: 0.74–0.96) y 4.7%; para la rigidez del VL: 0.81 (IC del 95%: 0.55–0.93) y 6.3%; para la temperatura superficial de la piel: 0.94 (IC del 95%: 0.83–0.98); y para la altura del salto (JH): 0.97 (IC del 95%: 0.93–0.99) y 3.2%. La mejor altura de salto se registró respectivamente: 3:36 ± 2:02 minutos después de VB, 4:16 ± 2:30 minutos después de 2VB y 3:28 ± 1:46 minutos después de HL.

Table 1 - Characteristics of the conditioning activity (back squat using 60% of one-repetition maximum) in the 10% mean velocity-loss trial.**



	VB	2VB	HL
Lifted load [kg]	85 ± 8	85 ± 8	121 ± 12
Volume load [kg]	598 ± 196 [‡]	1,175 ± 263	1,089 ± 107
Total number of repetitions [n]	7 ± 2 [‡]	14 ± 3 [§]	9 ± 0
Maximum mean barbell velocity in set [m·s ⁻¹]	0.92 ± 0.05	0.93 ± 0.06	—
Minimum mean barbell velocity in set [m·s ⁻¹]	0.78 ± 0.06	0.79 ± 0.07	—
Maximal number of repetitions in set [n]	11	12	3
Minimal number of repetitions in set [n]	4	4	3

*VB = condition used a single set of velocity-controlled conditioning activity; 2VB = condition used two sets of velocity-controlled conditioning activity; HL = condition used high load conditioning activity.

[†]Results are mean ± SD.

[‡]Significant difference in comparison to other condition.

[§]Significant difference in comparison to HL condition.

El análisis de varianza de una vía indicó una diferencia significativa entre la carga levantada ($F = 75.347$; $p < 0.001$) y el número de repeticiones realizadas ($F = 59.897$; $p < 0.001$) entre los diferentes CA. El análisis post hoc mostró que se levantó una carga significativamente mayor durante las condiciones de 2VB y HL en comparación con la condición VB ($p < 0.001$ para ambos; $ES = 2.42$ y 3.03 , respectivamente). Además, se realizaron significativamente más repeticiones durante la condición de 2VB en comparación con las condiciones de VB y HL ($p < 0.001$ para ambos; $ES = 2.75$ y 2.36), y se levantó una carga significativamente mayor durante la condición de HL en comparación con la condición VB ($p = 0.004$; $ES = 1.38$).

Altura del salto

El análisis de varianza de medidas repetidas de dos vías indicó que no había una interacción estadísticamente significativa ($F = 0.511$; $p = 0.88$), pero sí un efecto principal del tiempo para la altura del salto ($F = 7.567$; $p < 0.001$). El análisis post hoc mostró un aumento estadísticamente significativo en la altura del salto en el segundo minuto post-CA en comparación con el valor basal en todas las condiciones ($p = 0.049$; $ES = 0.23$).

Respuestas pico individuales en la altura del salto

El análisis de varianza de medidas repetidas de dos vías indicó que no había una interacción estadísticamente significativa ($F = 0.276$; $p = 0.761$), pero sí un efecto principal del tiempo para la altura máxima del salto ($F = 52.449$; $p < 0.001$). El análisis post hoc mostró un aumento estadísticamente significativo en la altura máxima del salto post-CA en comparación con el valor basal en todas las condiciones ($p < 0.001$; $ES = 0.37$) (Figura 2).

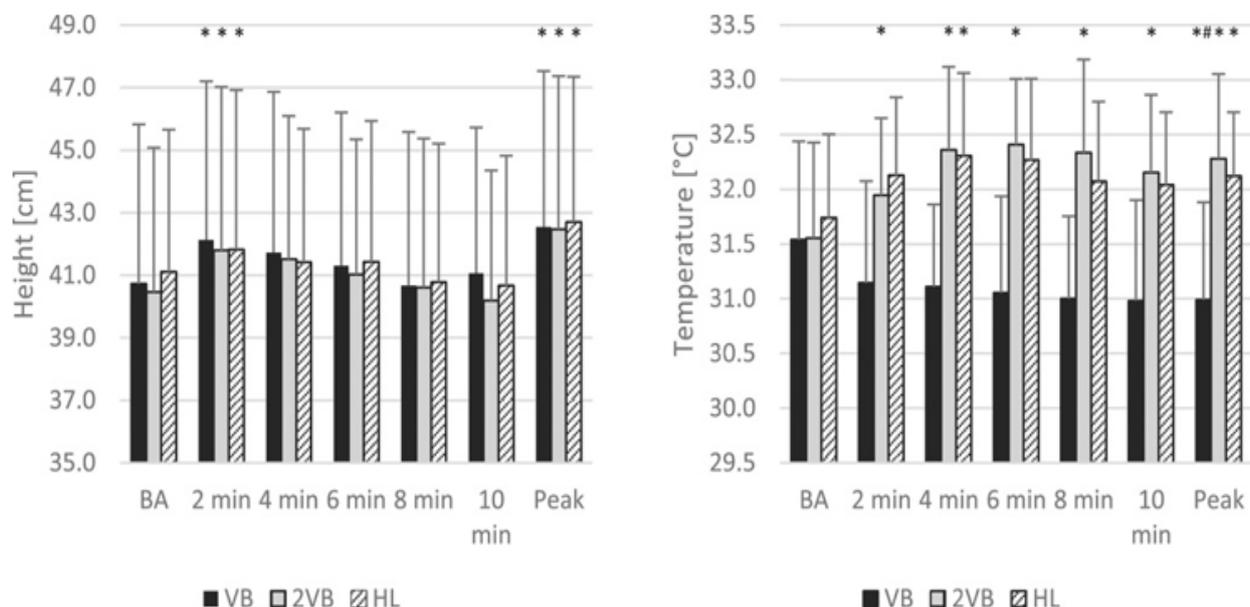


Figure 2. Time course of changes in jump height and skin surface temperature. Results are presented as mean \pm SD; BA = baseline; VB = condition used a single set of velocity-

controlled conditioning activity; 2VB = condition used 2 sets of velocity-controlled conditioning activity; HL = condition used high load conditioning activity; *significant difference in comparison to baseline within the condition; #Significant difference in comparison to a corresponding time point in 2VB and HL condition.

Temperatura de la Superficie de la Piel del Muslo Frontal

El ANOVA de dos vías de medidas repetidas indicó una interacción estadísticamente significativa ($F = 8.967$; $p < 0.001$). El análisis post-hoc mostró un aumento estadísticamente significativo en la temperatura de la superficie de la piel para todos los puntos de tiempo posteriores a la CA en comparación con el valor inicial en la condición 2VB (p de $<0,001$ a $0,023$; $ES = 0,39-1,04$) y en el cuarto minuto posterior a la CA en condición HL ($p = 0,023$; $ES = 0,69$) (Figura 2).

Respuestas Pico Individuales en la Temperatura de la Superficie de la Piel del Muslo Frontal

El ANOVA de dos vías de medidas repetidas indicó una interacción estadísticamente significativa ($F = 30.351$; $p < 0.001$). El análisis post-hoc mostró un aumento estadísticamente significativo en la temperatura de la superficie de la piel en el pico post-CA en la condición 2VB ($p < 0,001$; $ES = 0,83$) y HL ($p = 0,04$; $ES = 0,46$), y una disminución en la condición VB ($p = 0,004$; $ES = -0,54$) en comparación con el valor inicial. Además, la temperatura de la superficie de la piel en el pico post-CA en la condición VB fue significativamente menor en comparación con las condiciones 2VB ($p < 0,001$; $ES = 0,96$) y HL ($p < 0,001$; $ES = 0,46$) (Figura 2).

Rigidez del Tendón de Aquiles

El análisis de varianza de medidas repetidas de dos vías no indicó una interacción estadísticamente significativa ($F = 0.978$; $p = 0.465$), pero sí un efecto principal del tiempo en la rigidez del tendón de Aquiles ($F = 5.714$; $p < 0.001$). El análisis post hoc mostró una disminución estadísticamente significativa en la rigidez del tendón de Aquiles en el segundo ($p = 0.038$; $ES = -0.47$), cuarto ($p = 0.012$; $ES = -0.41$), octavo ($p = 0.023$; $ES = -0.6$) y décimo minuto ($p = 0.024$; $ES = -0.69$) después del CA en comparación con la línea de base en todas las condiciones (Figura 3).

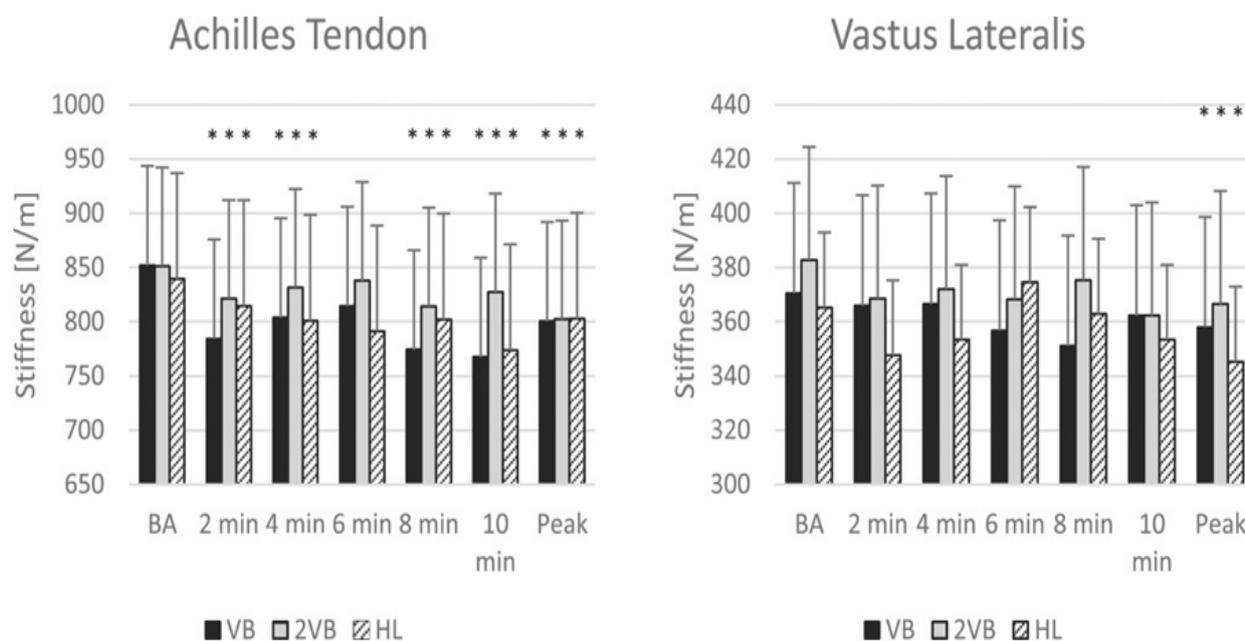


Figure 3. Time course of changes in Achilles tendon and vastus lateralis stiffness. Results are mean \pm SD; BA = baseline; VB = condition used a single set of velocity-controlled conditioning activity; 2VB = condition used 2 sets of velocity-controlled conditioning activity; HL = condition used high load conditioning activity; *significant difference in comparison to baseline within condition.

Respuestas Pico Individuales en la Rigidez del Tendón de Aquiles

El análisis de varianza de medidas repetidas de dos vías no indicó una interacción estadísticamente significativa ($F = 0.119$; $p = 0.888$), pero sí un efecto principal del tiempo en los valores pico de rigidez del tendón de Aquiles ($F = 12.092$; $p = 0.004$). El análisis post hoc mostró una disminución estadísticamente significativa en la rigidez del tendón de Aquiles en el punto máximo después del CA en comparación con la línea de base en todas las condiciones ($p = 0.004$; $ES = -0.53$) (Figura 3).

Rigidez del Vasto Lateral

El análisis de varianza de medidas repetidas de dos vías no indicó una interacción estadísticamente significativa ($F = 1.568$; $p = 0.184$), ni un efecto principal del tiempo ($F = 1.304$; $p = 0.286$) ni de la condición ($F = 0.994$; $p = 0.383$) (Figura 3).

Respuestas Pico Individuales en la Rigidez del Vasto Lateral

El análisis de varianza de medidas repetidas de dos vías no indicó una interacción estadísticamente significativa ($F = 0.212$; $p = 0.81$), pero sí un efecto principal del tiempo en la rigidez del vasto lateral ($F = 7.334$; $p = 0.017$). El análisis post hoc mostró una disminución estadísticamente significativa en la rigidez del vasto lateral en el punto

máximo después del CA en comparación con la línea de base en todas las condiciones ($p = 0.017$; $ES = -0.42$) (Figura 3).

Relación entre las Características de los Sujetos y la Magnitud de la Mejora del Rendimiento por Activación Posterior

No se encontraron correlaciones estadísticamente significativas entre la repetición máxima de sentadillas, la altura del salto basal y la rigidez vs. la magnitud de la respuesta de activación posterior al ejercicio (Figura 4). Además, en el caso de los cambios porcentuales en los valores basales y en el punto máximo de respuesta de activación posterior al ejercicio en la temperatura de la superficie de la piel y la rigidez vs. la magnitud de la respuesta de activación posterior al ejercicio, no se encontraron correlaciones significativas (Figura 5).

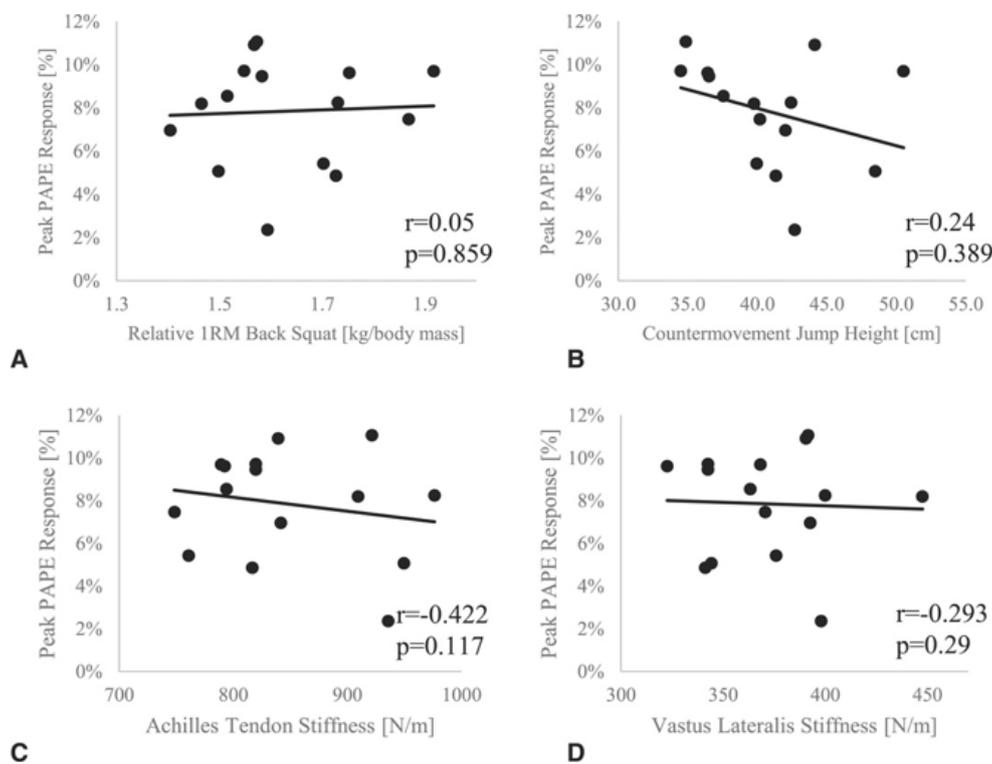


Figure 4. Correlations between one-repetition maximum back squat (A), baseline jump height (B), Achilles tendon (C), and vastus lateralis stiffness (D) with the magnitude of the postactivation performance enhancement response.

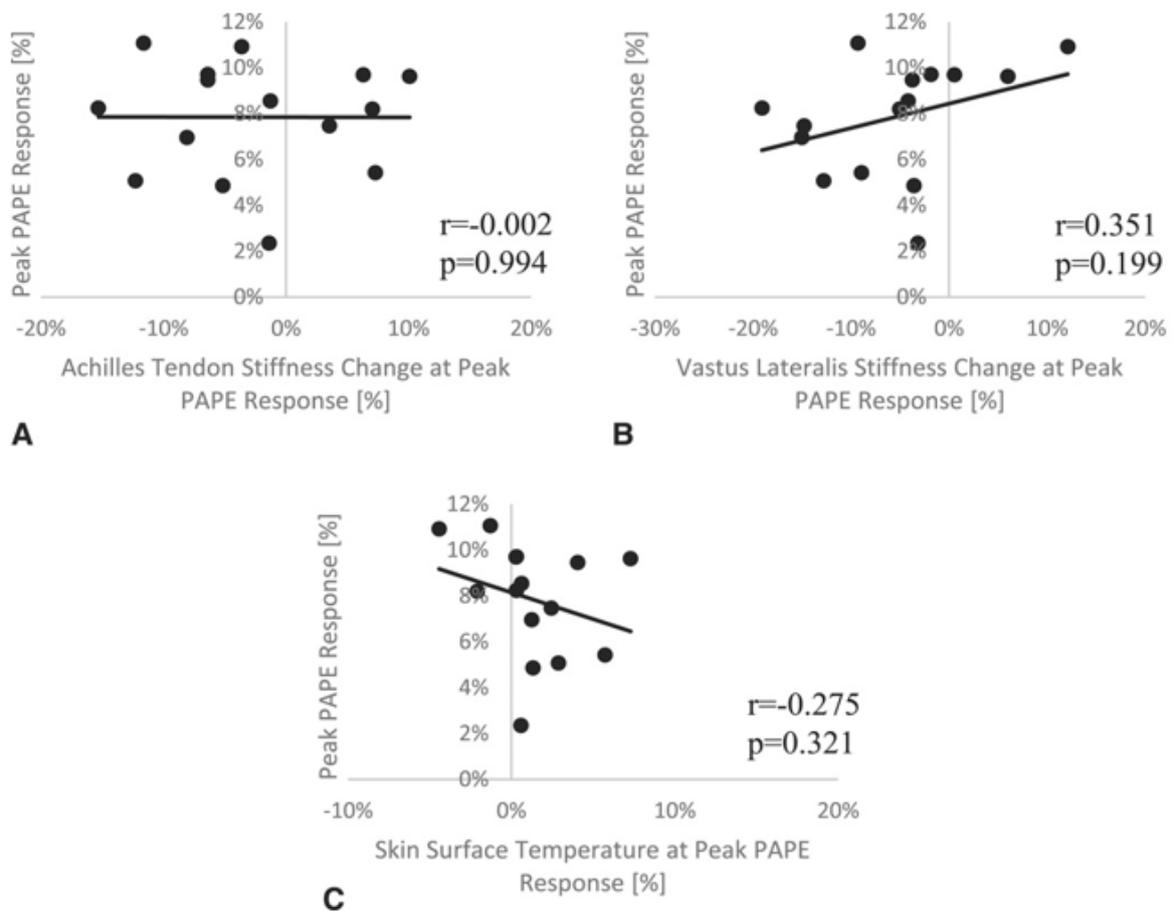


Figure 5. Correlations between percentage changes in the baseline values and peak postactivation performance enhancement response in Achilles tendon (A), vastus lateralis stiffness (B), and skin surface temperature (C) with the magnitude of the post-activation performance enhancement response.

Discursión

El propósito de este estudio fue examinar los efectos agudos de tres protocolos distintos de activación post-activación (PAPE, por sus siglas en inglés) en la altura del salto con contramovimiento, la rigidez del tendón de Aquiles y del vasto lateral y la temperatura de la superficie de la piel del muslo frontal. Se investigaron tres métodos distintos para inducir la PAPE: 3 series de 3 repeticiones al 85% de 1RM; (a) una sola serie de sentadillas con carga al 60% de 1RM hasta una pérdida del 10% en la velocidad media; y (b) 2 series de sentadillas con carga al 60% de 1RM hasta una pérdida del 10% en la velocidad media. El hallazgo principal de este estudio fue que todas las CAs examinadas mejoraron agudamente la altura del salto con contramovimiento en el segundo minuto después de la CA y en el punto de rendimiento máximo individualizado en un grupo de jugadores de voleibol. Sin embargo, las CAs afectaron la temperatura de la superficie de la piel de manera diferente. Después de 2VB, se registró un aumento en la temperatura de la superficie de la piel en todos los momentos. De manera similar, después de la CA de alta carga (HL), la temperatura de la superficie de la piel aumentó en los puntos de rendimiento máximo individualizado y durante el cuarto minuto después de la CA. Sin embargo, se registró una disminución significativa en la temperatura de la superficie de la

piel después de la CA con baja carga (VB) en los puntos de rendimiento máximo individualizado. Por lo tanto, se podría argumentar que la magnitud de la PAPE no depende de la temperatura de la superficie de la piel.

Además, hubo una tendencia general a una ligera disminución de la rigidez del tendón de Aquiles y del vasto lateral después de todas las CAs examinadas. Sin embargo, en el caso del tendón de Aquiles, la disminución alcanzó significación en todos los puntos de tiempo excepto el sexto minuto y en los puntos de rendimiento máximo individualizado después de la CA en todas las condiciones. Por el contrario, para el vasto lateral, se registró una disminución significativa solo en el punto de rendimiento máximo individualizado para todas las condiciones.

El aumento de la temperatura después de una CA ha sido sugerido recientemente como uno de los principales mecanismos que explican la mejora del rendimiento debido al efecto de PAPE. Sin embargo, según el conocimiento de los autores, no hay estudios que hayan evaluado directamente el impacto de las CAs en los cambios de temperatura muscular o de la superficie de la piel y su relación con la magnitud de la PAPE. Aunque en el estudio actual, la temperatura de la superficie de la piel puede no estar relacionada con la temperatura muscular en condiciones no controladas, se ha demostrado que un aumento de la temperatura de la piel en condiciones controladas está relacionado con la activación muscular durante el ciclismo incremental y los ejercicios dinámicos de curl de bíceps. Por lo tanto, la temperatura de la piel puede ofrecer información útil sobre la función muscular durante las CAs, aunque esto debe ser examinado más a fondo. De hecho, después de 2VB y HL, observamos un aumento significativo en la temperatura de la superficie de la piel junto con mejoras en la altura del salto. Sin embargo, después de la condición VB, se informó una mejora comparable en la altura del salto a pesar de una disminución significativa en la temperatura de la superficie de la piel. Estos resultados están relacionados con el volumen de las CAs particulares. En la HL y 2VB, los participantes realizaron un volumen significativamente mayor en el número de repeticiones realizadas y una carga más alta en comparación con la VB, lo que es una causa probable del aumento de la temperatura después de los protocolos de activación HL y 2VB y su disminución después de la VB. La disminución de la temperatura de la piel después de la CA VB puede ser sorprendente, pero este fenómeno ha sido reportado y descrito anteriormente. Un estudio de Weigert et al. encontró una disminución ligera y no significativa en la temperatura después de una sola serie (10 repeticiones) de curl de bíceps al 70% de 1RM. Por lo tanto, se puede especular que la mejora del rendimiento reportado en este estudio se relacionó con la coexistencia de otros mecanismos más que con un aumento en la temperatura muscular o la acumulación de fluidos en los músculos, al menos en el caso de la condición VB. En este caso, la mejora del rendimiento puede atribuirse a factores neurales, como un mayor reclutamiento de unidades motoras o un aumento en la excitabilidad de las motoneuronas, pero tampoco se puede descartar una contribución de la fosforilación reguladora de las cadenas ligeras de miosina. Teóricamente, dado que observamos una mejora del rendimiento máximo aproximadamente 4 minutos después de las CAs, mientras que la fosforilación de la cadena ligera reguladora de miosina persiste hasta 5 minutos, esta explicación parece completamente justificada.

Otro mecanismo que podría afectar potencialmente el efecto de PAPE incluye cambios en la rigidez del músculo y tendón desencadenados por la CA (3). Estudios recientes indican que el aumento en la rigidez después del ejercicio está asociado con fatiga (36) y

un rendimiento disminuido (40,44), o como en los estudios de Gago et al. (10,11), en los cuales no se registraron cambios en la rigidez del tendón de Aquiles a pesar de un aumento en la fuerza de contracción. En parte, esto puede confirmarse por los resultados del estudio actual porque cada CA condujo a una mejora en la altura del salto con una ligera disminución en la rigidez. Por lo tanto, parece que la CA aplicada no causó una fatiga significativa. Esto puede ser muy significativo considerando que el equilibrio óptimo entre fatiga y potenciación es crucial para mejorar el rendimiento posterior (35). Si la potenciación supera a la fatiga, el rendimiento aumenta; sin embargo, permanecerá sin cambios si la fatiga y la potenciación están en niveles similares o disminuirá si la fatiga domina sobre la potenciación (35). Por lo tanto, parece que no se debe esperar un aumento después de la CA aplicada, sino una disminución, lo que significa la inducción de un nivel insignificante de fatiga. La disminución en la rigidez podría estar relacionada con el aumento en el ángulo de pennación (44), lo que también podría explicar la mejora en el rendimiento. Ángulos de pennación más pequeños tienen una ventaja mecánica con respecto a la transmisión de fuerza al tendón (39). Sin embargo, aunque se informó una disminución significativa en la rigidez del músculo y tendón, esto no reflejó la magnitud del efecto de PAPE. Por lo tanto, es más probable que los cambios en la rigidez del músculo y tendón (evaluados mediante miotonometría) estén relacionados principalmente con el estado de fatiga que con los mecanismos subyacentes del efecto de PAPE. Sin embargo, esto podría ayudar a determinar el nivel de fatiga inducido por la CA.

La alta variabilidad interindividual en las respuestas de PAPE es bien conocida (5,22) y ha sido confirmada en este estudio. Todas las CAs probadas llevaron a una mejora significativa en la altura del salto en el segundo minuto después de la CA y cuando se analizó un punto de rendimiento máximo individualizado, a pesar de las diferencias significativas en el volumen de las CAs entre las condiciones. El efecto del volumen utilizado durante la CA ha sido analizado en estudios anteriores, lo que indica que un volumen bajo (<5 repeticiones) y un ejercicio con carga alta deberían preferirse para lograr una mejora significativa en el rendimiento (35,41,43). Sin embargo, este estudio mostró que a pesar de realizar el mayor número de repeticiones durante 2VB en comparación con VB y HL, aún se logró un efecto de PAPE comparable. Además, es notable la amplia gama de repeticiones realizadas hasta una pérdida de velocidad del 10% durante las condiciones VB (de 4 a 11 repeticiones) y 2VB (de 4 a 12 repeticiones), pero esto ha sido reportado previamente en condiciones de carga similares (43). Este fenómeno puede explicarse por diferencias en el nivel de experiencia en entrenamiento de resistencia (26) o en la composición de fibras musculares (15). Presumiblemente, los participantes que completaron más repeticiones pueden poseer una mayor proporción de fibras musculares de contracción lenta. Por lo tanto, para controlar individualmente el grado de fatiga inducido por la CA, el número de repeticiones realizadas debería determinarse en función del control de la velocidad en lugar de usar un número predeterminado de repeticiones. Además, para un análisis más profundo de la efectividad de la CA utilizada, se deben tener en cuenta los momentos en que ocurrió el rendimiento máximo (la mayor magnitud de la respuesta de PAPE).

En el estudio actual, se pueden identificar algunas limitaciones. Aunque esta es un enfoque común, se debe mencionar que en el estudio actual, se adoptaron intervalos de descanso de 2 minutos después de la CA entre las evaluaciones. Por lo tanto, esto podría actuar inadvertidamente como una CA, afectando la magnitud de los cambios en la altura del salto, la rigidez o la temperatura de la superficie de la piel. Además, no realizamos evaluaciones inmediatamente después de la CA; por lo tanto, no es posible

verificar su influencia después de períodos más cortos de tiempo (<2 minutos). Además, una limitación del presente estudio es la falta de una condición de control (es decir, una condición sin la aplicación de una CA). Además, solo participaron hombres con un nivel moderado de fuerza muscular en este estudio. Por lo tanto, teniendo en cuenta la alta variabilidad interindividual en las respuestas de PAPE (5,22) y también posibles diferencias en la magnitud de PAPE entre las actividades posteriores a la CA (35), se debe tener precaución al extrapolar estos resultados a otras poblaciones y condiciones.

Aplicaciones Prácticas

Los entrenadores y profesionales pueden utilizar sentadillas con carga alta y volumen bajo (por ejemplo, 3 series de 3 repeticiones al 85% de 1RM) y sentadillas controladas por la velocidad y con carga moderada (por ejemplo, 1-2 series hasta una pérdida del 10% en la velocidad al 60% de 1RM) para mejorar agudamente la altura del salto con contramovimiento (CMJ) durante sesiones de entrenamiento complejas o antes de una competencia. Sin embargo, los hallazgos de este estudio sugieren que una sola serie de sentadillas con barra hasta una pérdida del 10% en la velocidad puede ser el enfoque más adecuado para evitar una carga excesiva mientras se obtienen los beneficios de la CA. Es importante destacar que, dado la gran variabilidad en las respuestas de PAPE entre los atletas, nuestros hallazgos implican que la evaluación individual del intervalo de descanso óptimo después de la CA es esencial para obtener los mayores beneficios en el rendimiento explosivo de las extremidades inferiores.

Artículo traducido por: Marcos Celada Gómez

Link to Original article: <https://www.congresodefuerza.com/journal-nsca-spain/efectos-agudos-de-varios-protocolos-de-activacion-de-sentadillas-traseras-sobre-la-rigidez-de-los-musculos-los-tendones-y-el-rendimiento-del-salto?elem=308169>