

MH*Salud*

Revista en Ciencias del Movimiento Humano y Salud

Doi <https://doi.org/10.15359/mhs.21-1.17521>





Impacto de ejercicios bilaterales y unilaterales en la potenciación aguda del salto horizontal en futbolistas profesionales

Impact of Bilateral and
Unilateral Exercises on Acute
Enhancement of Horizontal Jump
Performance in Professional
Soccer Players

Impacto dos Exercícios Bilaterais
e Unilaterais no Aumento
Agudo do Desempenho do
Salto Horizontal em Jogadores
Profissionais de Futebol

Javier Sanchez-Sanchez¹; Mario Sanchez²; Luis Pérez³; Rodrigo Ramirez-Campillo⁴

Recibido: 16-9-2022 - Aceptado: 13-12-2023

- 1  [0000-0003-4585-247X](https://orcid.org/0000-0003-4585-247X) Universidad Pontificia de Salamanca, Grupo de Investigación Planificación y Evaluación del Entrenamiento y Rendimiento Deportivo, Salamanca. España.
- 2  [0000-0003-3750-618X](https://orcid.org/0000-0003-3750-618X) Universidad Pontificia de Salamanca, Grupo de Investigación Planificación y Evaluación del Entrenamiento y Rendimiento Deportivo, Salamanca. España.
- 3  [0000-0003-4363-0689](https://orcid.org/0000-0003-4363-0689) Universidad Pontificia de Salamanca, Grupo de Investigación Planificación y Evaluación del Entrenamiento y Rendimiento Deportivo, Salamanca. España.
- 4  [0000-0003-2035-3279](https://orcid.org/0000-0003-2035-3279) Universidad Andres Bello, Exercise and Rehabilitation Sciences Institute, School of Physical Therapy, Faculty of Rehabilitation Sciences, Santiago, Chile.



RESUMEN

Objetivo: Analizar el efecto de una activación realizada a través de ejercicios de fuerza y pliometría ejecutados de forma bilateral o unilateral sobre el rendimiento en salto horizontal. **Metodología:** En el estudio participaron 15 futbolistas masculinos, altamente entrenados (edad, 24.7 ± 3.1 años; altura, 181.2 ± 4.7 cm; peso, 79.7 ± 3.4 kg) pertenecientes al mismo equipo, que competía en liga nacional. Su rutina de entrenamiento regular constaba de 4 sesiones y 1 partido competitivo por semana. Los participantes llevaron a cabo 1 protocolo control (CON) y 3 protocolos de activación, siguiendo un diseño contrabalanceado, basados en ejercicios específicos de fútbol (SIN), ejercicios de fuerza y pliometría ejecutados de forma bilateral (BIL) y unilateral (UNI). Después de cada protocolo los jugadores realizaron la prueba de salto horizontal (HZB). **Resultados:** Los resultados de la prueba ANOVA de medidas repetidas mostraron efectos positivos significativos sobre el HZB de los protocolos SIN ($p < 0.01$; dif = 2.95(2.00)%), BIL ($p < 0.01$; dif = 3.22(2.61)%); y UNI ($p < 0.01$; dif = 6.80(3.40)% con respecto a CON. Además, HZB fue, significativamente, mayor después del protocolo UNI que del SIN ($p < 0.01$; dif = 3.74(2.62)% y BIL ($p < 0.01$; dif = 3.47(1.94)%). El análisis de la respuesta individual reflejó efectos positivos en HZB de los protocolos SIN, BIL y UNI respecto al CON, mientras que el 89 % de los jugadores tuvieron mejor rendimiento en HZB después de UNI que de BIL. **Conclusiones:** Una activación que incorpora estímulos de fuerza y pliometría ejecutados, de forma unilateral, tiene un efecto positivo mayor sobre la capacidad de salto horizontal, que una activación que involucra ejercicios generales, específicos de fútbol y de ejecución bilateral.

Palabras Clave: Ejercicio; ejercicio de calentamiento; fútbol; rendimiento atlético

ABSTRACT

Objective: To analyze the effect of activation through bilateral or unilateral strength and plyometric exercises on horizontal jump performance. **Methodology:** The study involved 15 highly trained male soccer players (age, 24.7 ± 3.1 years; height, 181.2 ± 4.7 cm; weight, 79.7 ± 3.4 kg) from the same team competing in the national league. Their regular training routine consisted of 4 sessions and 1 competitive match per week. Participants performed 1 control protocol (CON) and 3 activation protocols following a counterbalanced design based on specific soccer exercises (SIN), bilateral (BIL), and unilateral (UNI) strength and plyometric exercises. After each protocol, players underwent the horizontal jump test (HZB). **Results:** The repeated measures ANOVA revealed significant positive effects on HZB for the SIN ($p < 0.01$; dif = 2.95(2.00)%), BIL ($p < 0.01$; dif = 3.22(2.61)%), and UNI ($p < 0.01$; dif = 6.80(3.40)% protocols compared to CON. Furthermore, HZB was significantly higher after the UNI protocol than after SIN ($p < 0.01$; dif = 3.74(2.62)% and BIL ($p < 0.01$; dif = 3.47(1.94)%). Individual response analysis reflected positive effects on HZB for SIN, BIL, and UNI compared to CON, while 89 % of players showed better HZB performance after UNI than after BIL. **Conclusions:** Activation incorporating unilateral strength and plyometric stimuli has a greater positive effect on horizontal jump capacity than activation involving general, soccer-specific, and bilateral exercises.

Keywords: Athletic performance; exercise; soccer; warm-up exercise

RESUMO

Objetivo: Analisar o efeito da ativação por meio de exercícios de força e pliométricos bilaterais ou unilaterais no desempenho do salto horizontal. **Metodologia:** O estudo envolveu 15 jogadores de futebol masculinos altamente treinados (idade, 24.7 ± 3.1 anos; altura, 181.2 ± 4.7 cm; peso, 79.7 ± 3.4 kg) da mesma equipe competindo na liga nacional. Sua rotina de treinamento regular consistia em 4 sessões e 1 jogo competitivo por semana. Os participantes realizaram 1 protocolo de controle (CON) e 3 protocolos de ativação seguindo um desenho contrabalanceado com base em exercícios específicos de futebol (SIN), exercícios de força e pliométricos bilaterais (BIL) e unilaterais (UNI). Após cada protocolo, os jogadores foram submetidos ao teste de salto horizontal (HZB). **Resultados:** A ANOVA de medidas repetidas revelou efeitos positivos significativos no HZB para os protocolos SIN ($p < 0.01$; dif = 2.95(2.00)%), BIL ($p < 0.01$; dif = 3.22(2.61)% e UNI ($p < 0.01$; dif = 6.80(3.40)% em comparação com CON. Além disso, o HZB foi significativamente maior após o protocolo UNI do que após SIN ($p < 0.01$; dif = 3.74(2.62)% e BIL ($p < 0.01$; dif = 3.47(1.94)%). A análise de resposta individual refletiu efeitos positivos no HZB para SIN, BIL e UNI em comparação com CON, enquanto 89 % dos jogadores mostraram melhor desempenho de HZB após UNI do que após BIL. **Conclusões:** A ativação incorporando estímulos de força e pliométricos unilaterais tem um efeito positivo maior na capacidade de salto horizontal do que a ativação envolvendo exercícios gerais, específicos do futebol e bilaterais.

Palavras-chave: Desempenho atlético; exercício; exercício de aquecimento; futebol

Introducción

El rendimiento deportivo en el fútbol es un fenómeno complejo, ya que depende de múltiples factores en continua interacción, entre los que destacan los técnicos, tácticos, condicionales, psicológicos y fisiológicos (Stølen *et al.*, 2005). Estos factores adquieren un valor modulado por variables contextuales y competitivas (Lago *et al.*, 2010). Para optimizarlos se debería articular un proceso de entrenamiento óptimo, basado en la selección de métodos y medios de entrenamiento altamente específicos (Mujika *et al.*, 2018).

Aunque el entrenamiento multifactorial es importante en el rendimiento de los equipos (Delgado-Bordonau & Méndez-Villanueva, 2012), en los últimos el factor condicional individual ha mejorado debido a la evolución de las tecnologías de monitorización de la carga (Bourdon *et al.*, 2017), la mayor densidad competitiva (Rey *et al.*, 2010), la creciente demanda de la competición (Pons *et al.*, 2021) y la mejora en la prevención de lesiones (Crossley *et al.*, 2020). De hecho, durante el partido de fútbol el jugador se ve expuesto a diversos estresores biológicos (San-Millán *et al.*, 2020) y afronta demandas caracterizadas por la naturaleza intermitente del deporte (Mallo *et al.*, 2015), donde la alta intensidad de las acciones (Sanchez-Sanchez *et al.*, 2019) y el componente de desaceleración y cambios de dirección predominan (Oliva-Lozano *et al.*, 2020), obligando a optimizar los procesos de preparación, basados en el trabajo neuromuscular (Raya-González & Sanchez-Sanchez, 2018). Aunque la intervención centrada en las adaptaciones, a medio y largo plazo, han sido ampliamente atendidas en la literatura, también debemos tener en cuenta otras estrategias que pretenden la mejora aguda (i.e., a corto plazo) del rendimiento (Maroto-Izquierdo *et al.*, 2020). Esto es especialmente importante, ya que la realización exitosa de gran parte de las acciones del jugador en competición dependen de la fuerza (Raya-González & Sanchez-Sanchez, 2018). Por lo tanto, será necesario realizar actividades dirigidas a estimular el componente neuromuscular para asegurar la inmediata predisposición del sistema a las actividades repetidas de alta intensidad (Sanchez-Sanchez *et al.*, 2018).

Con el fin de potenciar las capacidades de rendimiento del atleta, es fundamental realizar una serie de ejercicios de activación antes del inicio de la actividad principal. Estos ejercicios se han desarrollado, tradicionalmente, por medio de actividades eminentemente aeróbicas, con el objetivo de incrementar la temperatura corporal, como respuesta previa a la mejora del rango de movimiento, la velocidad de conducción del impulso nervioso y la eficiencia muscular (Tsurubami *et al.*, 2020). Pero, en los últimos años, las propuestas aeróbicas, de moderada intensidad y larga duración, han dado

paso a otros enfoques basados en menores tiempos de exposición y mayor presencia de estímulos de naturaleza neuromuscular (Hammami *et al.*, 2018). Esta intervención permitirá reclutar las fibras rápidas (Sanchez-Sanchez *et al.*, 2018), controlando, además, la aparición de la fatiga, a través de la correcta aplicación de la ratio trabajo: descanso para asegurar el uso ideal de las reservas energéticas y la tolerancia a los derivados del metabolismo anaeróbico (Zois *et al.*, 2011).

Los ejercicios que se dirigen a la mejora aguda de la capacidad de rendimiento se han denominado, en la literatura especializada, estímulos de potenciación posactivación (Hammami *et al.*, 2018), aunque, recientemente, algunos autores lo han matizado recomendando usar el concepto de mejora del rendimiento posterior a la activación (PAPE) (Cuenca-Fernández *et al.*, 2017). El PAPE se refiere a las mejoras en la fuerza, potencia o velocidad, como consecuencia de la aplicación de una secuencia de estímulos previos a la actividad principal, que tiene por objetivo además del incremento de la temperatura corporal, mejorar la activación de la fibra muscular y aumentar el número de unidades motoras funcionales (Boullosa *et al.*, 2020). Como resultado de estos cambios, se conseguirá una significativa mejora en la capacidad de ejercer fuerza y potencia, por parte del deportista, si bien, el valor de esta respuesta dependerá de las características de cada individuo (Wilson *et al.*, 2013); en este sentido, será muy importante individualizar la intensidad y el volumen de la carga (Petisco *et al.*, 2019), el tiempo de recuperación (Gouvêa *et al.*, 2013) y la relación entre la mecánica de la actividad de acondicionamiento y de rendimiento (Seitz *et al.*, 2017), para hacer óptimo el balance entre fatiga y activación que explica las rápidas mejoras en el rendimiento neuromuscular de los deportistas (Cuenca-Fernández *et al.*, 2017).

Cuando un ejercicio físico se ejecuta de forma bilateral, significa que involucra ambos lados del cuerpo simultáneamente. En otras palabras, ambas extremidades o partes del cuerpo realizan el mismo movimiento al mismo tiempo. Este enfoque ayuda a mantener un equilibrio en el desarrollo muscular y a coordinar el esfuerzo de ambas partes del cuerpo durante la actividad física. Ejemplos comunes de ejercicios bilaterales incluyen sentadillas, *press* de banca y levantamiento de pesas con ambas manos.

Respecto al tipo de actividad elegida para conseguir el efecto PAPE, la literatura existente ha evaluado, especialmente, la respuesta del deportista ante ejercicios ejecutados con peso libre, con contracciones pliométricas, actividades realizadas con resistencia variable o movimientos que implican acciones excéntricas (Boullosa, 2021). La mayoría de estas actividades han involucrado ambos lados o extremidades, simultáneamente, durante la acción (i.e., de forma bilateral); sin embargo, es posible que

los futbolistas puedan también beneficiarse de la ejecución unilateral cuando realizan ejercicios de fuerza y pliometría (Ramírez-Campillo *et al.*, 2018). La investigación existente, hasta la fecha, es escasa y muestra resultados divergentes. En este sentido, en un estudio que utilizó como estímulo PAPE un ejercicio de sentadilla con carga del 90 % de una repetición máxima (1RM), no encontró diferencias en la altura de salto y la fuerza máxima en contracción isométrica voluntaria, cuando se aplicó de forma bilateral o unilateral (Ghahremani & Nazem, 2014). En esta misma línea, otro trabajo que aplicó una carga correspondiente a la velocidad media concéntrica de 0.59 m/s en sentadilla bilateral y unilateral, tuvo un efecto negativo en la altura en CMJ, pero provocó mejoras en el tiempo total de la prueba t-test de agilidad, sin encontrar diferencias en los efectos sobre el rendimiento en estas pruebas asociados al tipo de ejecución (i.e., bilateral vs. unilateral) (Escobar Hincapié *et al.*, 2021).

Teniendo en cuenta los resultados de estudios previos, el objetivo de nuestro trabajo fue analizar el efecto de una activación realizada a través de ejercicios de fuerza y pliometría ejecutados de forma bilateral o unilateral sobre el rendimiento en salto horizontal. A partir del objetivo, nos planteamos como hipótesis, que los ejercicios unilaterales podrían provocar un efecto positivo mayor sobre la capacidad de salto horizontal, que los ejercicios ejecutados de manera bilateral.

METODOLOGÍA

Muestra

En el estudio participaron 19 jugadores de fútbol del mismo equipo (edad, 24.7 ± 3.1 años; altura, 181.2 ± 4.7 cm; peso, 79.7 ± 3.4 kg), que tenían una experiencia en el entrenamiento > 10 años en el momento de la toma de datos. Los jugadores fueron clasificados en el nivel 3 del Marco de Clasificación de Participantes (McKay *et al.*, 2022). Todos los participantes realizaban 5 sesiones de entrenamiento por semana y disputaban un partido de competición el sábado o domingo. Durante la semana de entrenamiento una sesión típica tenía una duración de 90-120 min, con excepción de la sesión prepartido que tenía una duración de 40 min e incluía una activación con ejercicios de componente neuromuscular y un partido 11 vs. 11 de 12 min en 55x40 m. Los criterios de inclusión para la participación en el estudio fueron i) ser jugador de campo; ii) no haber sufrido ninguna lesión los 3 meses anteriores al comienzo del estudio y ninguna lesión grave (i.e., > 6 meses de baja por lesión) en las extremidades inferiores durante los 2 años anteriores a la realización de la fase experimental de este trabajo; iii) y, haber

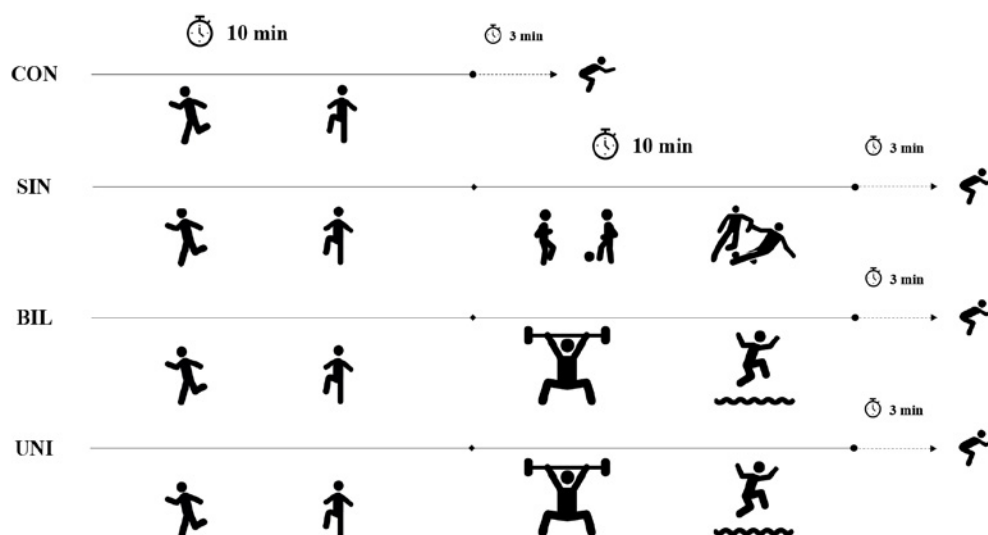
realizado el entrenamiento habitual durante los 6 meses anteriores al inicio de la toma de datos. Todos los participantes firmaron el correspondiente consentimiento informado en el que se les comunicó los derechos y obligaciones derivados de su participación en el estudio. El diseño experimental cumplió con lo establecido en la Declaración de Helsinki, y fue aprobado por un Comité de Ética Local (código: Anexo III, Act 13/2/2019).

Diseño

Se llevó a cabo un ensayo aleatorio y contrabalanceado para comparar el rendimiento en una prueba de salto horizontal bilateral (HZB) de futbolistas, en función de la aplicación de una situación control sin activación, que incluía ejercicios generales como medida preventiva (CON), y 3 intervenciones experimentales que incluyeron una activación específica del fútbol basada en ejercicios de carácter técnico-táctico (SIN) y 2 activaciones que sustituyeron las actividades con balón, sustituyeron las actividades con balón aplicados en SIN, por ejercicios de fuerza y pliometría realizados de forma bilateral (BIL) (i.e., con las dos piernas a la vez) o unilateral (UNI) (i.e., primero con pierna dominante y luego los mismos ejercicios con la pierna no-dominante). La intervención ocupó 4 semanas del período de competición, entre los meses de marzo y abril de la temporada 2020/2021. Una semana antes del inicio de la intervención se programaron 2 sesiones de familiarización con los protocolos de activación y la prueba de evaluación. Durante esta semana también se realizaron las pruebas de 1 repetición máxima (1RM) bilaterales y unilaterales que permitieron individualizar la carga en los ejercicios de fuerza incluidos en los protocolos BIL y UNI. Los test 1RM se realizaron siguiendo las indicaciones de estudios previos ([Ramírez-Campillo et al., 2018](#)). Un técnico especialista se encargó de administrar CON, SIN, BIL y UNI a las 11:00 de la mañana, con una temperatura próxima a los 15° C y dentro de la sesión de entrenamiento, posterior al día de descanso del equipo, para asegurar al menos 72 h de recuperación con respecto a la competición previa. A excepción de CON, cada intervención tuvo una duración de 20 min, estructurada en una parte de ejercicios generales de 10 min de duración (i.e., carrera aeróbica y ejercicios de movilidad) y otra de 10 min con actividades específicas que buscaban generar el efecto PAPE, por medio de ejercicios de fútbol (i.e., SIN) y de fuerza y pliometría bilateral (i.e., BIL) o unilateral (i.e., UNI) (Figura 1). En todos los casos, HZB se realizó 3 min después de cada protocolo, utilizando el campo de fútbol de hierba artificial, la indumentaria deportiva habitual de entrenamiento y la supervisión del mismo investigador, que desconocía la asignación de la intervención. Para la realización de la prueba se utilizaron 2 zonas de evaluación, de manera que se cumpliera con el tiempo de recuperación entre la intervención y la realización de HZB en todos los

jugadores. En las sesiones de toma de datos se solicitó a los futbolistas que asistieran en un estado adecuado de alimentación e hidratación. En cualquier caso, no se permitió a los participantes realizar actividad intensa 24 h antes de la toma de datos, ni tampoco la ingesta de alimentos 2 h antes de la realización de las pruebas. El cumplimiento de esto fue verificado a través de una encuesta simple el día de cada prueba.

Figura 1
Descripción de los protocolos de activación



Nota. CON: activación general; SIN: activación específica con ejercicios de fútbol; BIL: activación específica con ejercicios de fuerza y pliometría de ejecución bilateral; UNI: activación específica con ejercicios de fuerza y pliometría de ejecución unilateral.

Instrumentos de medida

A partir de protocolo de evaluación de fuerza explosiva descrito en estudios previos (Noyes *et al.*, 1991), los futbolistas realizaron, de forma aleatoria, la prueba de salto HZB. Los jugadores ejecutaron un salto máximo impulsando con las dos piernas para buscar la máxima distancia en la horizontal. Para considerar válido el intento, los jugadores se situaron detrás de una referencia marcada en el suelo, utilizaron sus manos libres durante la fase de vuelo y aterrizaron con ambas piernas, manteniendo la posición de recepción fija durante un breve momento. Los futbolistas realizaron 2 intentos con

1 min de recuperación entre ambos. El resultado se midió en metros y se seleccionó la mejor distancia alcanzada en los 2 intentos.

Protocolos de activación

Los ejercicios y los componentes de la carga de cada protocolo están descritos en la Tabla 1. La situación CON incluyó 7 min de carrera continua combinada con ejercicios de movilidad articular; y 3 min de acciones balísticas. En el protocolo SIN a los ejercicios realizados en CON, se añadieron 5 min de acciones técnicas por parejas y 5 min de juego reducido. En el protocolo BIL y UNI los ejercicios realizados en CON fueron seguidos de 10 min de ejercicios con peso libre y ejercicios de salto horizontal, realizados de forma bilateral o unilateral, según el protocolo correspondiente.

Tabla 1
Descripción de los protocolos de activación

Protocolo	Tiempo	Ejercicios	Carga
CON	10 min	Carrera continua < 10km/h con movilidad articular de extremidad superior e inferior.	7 min
		Balísticos: lanzamientos de cadera en plano frontal y transversal; rebotes para la activación de musculatura extensora de tobillo, flexora y extensora de rodilla y aductora de cadera.	3 min
SIN	20 min	Parte general (CON)	10 min
		Ejercicios técnicos por parejas: acciones de pase corto, medio y largo con ambas piernas; acciones de conducción y regate con oposición media y finalización a portería.	5 min
BIL UNI*	20 min	Juego reducido: 5 vs. 5 con el objetivo de mantener la posesión del balón, participando en un espacio de intervención individual de 50 m ² por jugador.	5 min
		Parte general (CON).	10 min
		Sentadilla: con los pies apoyados a la altura de los hombros, se ejecuta una flexión de rodillas a 90° con velocidad media y una rápida extensión, buscando la máxima velocidad en fase concéntrica.	10 min
		Peso muerto: con los pies apoyados a la altura de los hombros y las rodillas ligeramente flexionadas, el peso se soporta a la altura de la cadera con codos extendidos; se realiza una flexión de cadera, seguida de una extensión a máxima velocidad hasta recuperar la posición inicial.	Intensidad: 60 % 1RM ^a ; máxima ^b
		Empuje de cadera: con apoyo de la zona dorsal en un banco elevado, la cadera en posición neutra y una flexión de rodillas a 90° para facilitar el apoyo de los pies; se coloca el peso sobre la cadera y se realiza una flexión de la cadera, seguida de una rápida extensión a velocidad máxima hasta alcanzar la posición inicial.	Volumen: 6 repeticiones
		Salto horizontal: con pies abiertos a la altura de los hombros y las manos libres, se realiza un movimiento de impulso a través de la extensión de rodillas para buscar alcanzar la máxima distancia en la horizontal.	Recuperación por ejercicio: 45 s; sin recuperación entre pierna dominante y no dominante

Nota. CON: activación general; SIN: activación específica con ejercicios de fútbol; BIL: activación específica con ejercicios de fuerza y pliometría de ejecución bilateral; UNI: activación específica con ejercicios de fuerza y pliometría de ejecución unilateral.

*Los ejercicios descritos se realizan primero con pierna dominante y luego con pierna no dominante;

^a Intensidad para los ejercicios con peso libre en sentadilla, peso muerto y empuje de cadera;

^b Intensidad para los ejercicios de salto horizontal.

Análisis estadístico

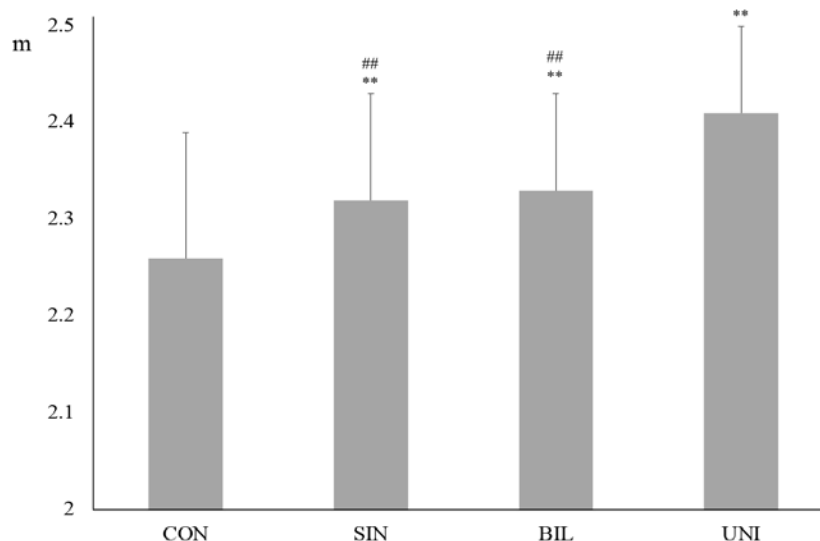
Los datos son presentados como media y desviación estándar. Se comprobó la distribución normal de los datos mediante el test Shapiro-Wilk. Para analizar la diferencia entre los distintos tipos de intervención se realizó la prueba ANOVA de medidas repetidas, con ajuste de Bonferroni. La magnitud de las diferencias se interpretó cualitativamente utilizando omega cuadrado parcial (ωp^2) de la siguiente manera: > 0.01 pequeño; > 0.06 moderado y > 0.14 grande (Cohen, 1988). El análisis estadístico de los datos se realizó por medio del *Software* IBM SPSS Statistics versión 21.0 (SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA).

RESULTADOS

Los resultados en HZB tras cada protocolo de activación se recogen en la Figura 2. Los resultados mostraron mejor efecto sobre el rendimiento en HZB después de SIN ($p < 0.01$; dif = 2.95(2.00) %; $\omega p^2 = 0.89$), BIL ($p < 0.01$; dif = 3.22(2.61) %; $\omega p^2 = 0.10$) y UNI ($p < 0.01$; dif = 6.80(3.40) %; $\omega p^2 = 0.71$), que después de CON. Además, HZB fue significativamente mayor después de UNI, que después de SIN ($p < 0.01$; dif = 3.74(2.62) %; $\omega p^2 = 0.59$) y BIL ($p < 0.01$; dif = 3.47(1.94) %; $\omega p^2 = 0.92$).

Figura 2

Diferencias en la prueba de salto horizontal bilateral en función del tipo de activación

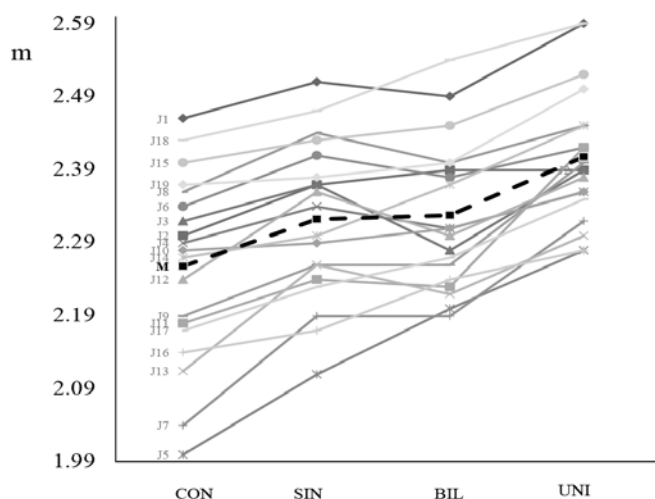


Nota. CON: activación general; SIN: activación específica con ejercicios de fútbol; BIL: activación específica con ejercicios de fuerza y pliometría de ejecución bilateral; UNI: activación específica con ejercicios de fuerza y pliometría de ejecución unilateral. ** indica diferencias significativas respecto a CON ($p < 0.01$); ## indica diferencias significativas respecto a UNI ($p < 0.01$).

La Figura 3 recoge el rendimiento individual en HZB de los futbolistas participantes tras la realización de cada protocolo de activación. Se observó una diferencia interindividual en la respuesta a cada intervención. Los resultados indicaron que respecto a CON, los protocolos SIN, BIL y UNI mejoraron el rendimiento en HZB en el 100 %, 95 % y 100 % de los jugadores, respectivamente. Por otra parte, comparado con SIN el 53 % y el 100 % de jugadores mejoraron en HZB con BIL y UNI, respectivamente. Respecto a la activación basada en ejercicios de fuerza y pliometría, el 89 % de jugadores mejoraron el rendimiento en HZB realizando el protocolo UNI en comparación con BIL.

Figura 3

Resultados de los jugadores participantes en la prueba de salto horizontal bilateral



Nota. J: Jugador; M: valor medio; CON: activación general; SIN: activación específica con ejercicios de fútbol; BIL: activación específica con ejercicios de fuerza y pliometría de ejecución bilateral; UNI: activación específica con ejercicios de fuerza y pliometría de ejecución unilateral.

DISCUSIÓN

El objetivo del estudio fue analizar el efecto de una activación realizada a través de ejercicios de fuerza ejecutados de forma bilateral o unilateral sobre el rendimiento en salto horizontal. Los resultados más relevantes indicaron que HZB era mayor después de aplicar SIN, BIL y UNI, que después de CON. Además, el HZB fue mayor después de UNI que después de SIN y BIL. Por último, el efecto de cada protocolo sobre el rendimiento en HZB varió en función de las características de los futbolistas.

El protocolo SIN mejoró HZB con respecto a la situación CON. Esto coincide con lo encontrado en estudios previos (Thapa *et al.*, 2022), pero, es contrario a los resultados de otros trabajos que no observaron mejoras en la capacidad de salto vertical después de la aplicación de una activación específica de fútbol similar a la aplicada en nuestro trabajo (Zois *et al.*, 2011). Parece que una activación prolongada en el tiempo, basada en actividades aeróbicas puede interferir en la capacidad del jugador para repetir acciones de alta intensidad (Zois *et al.*, 2015). Esta respuesta puede obedecer al excesivo incremento de la temperatura corporal y la acumulación de productos derivados del metabolismo anaeróbico, que pueden provocar una fatiga prematura en el jugador (Zois *et al.*, 2015). Para evitarlo, y, a la luz de los hallazgos obtenidos en estudios previos, los preparadores físicos deberían reducir el tiempo de activación e incluir otros estímulos específicos de alta intensidad, asegurando el tiempo de recuperación necesario para mantener intactas las reservas energéticas alácticas antes del comienzo de la competencia (Sanchez-Sanchez *et al.*, 2018).

Nuestros hallazgos muestran que los jugadores tienen mejor rendimiento en HZB después de una activación que incluía acciones de fuerza y pliometría ejecutadas de forma bilateral (i.e., BIL) y unilateral (i.e., UNI) que después de una activación con ejercicios generales. Aunque no existen muchos trabajos que hayan utilizado la combinación de fuerza y pliometría, otros estudios que han aplicado estímulos neuromusculares han encontrado resultados parecidos a los nuestros (Escobar Hincapié *et al.*, 2021; Zois *et al.*, 2011). No obstante, también se han encontrado pérdidas en el rendimiento en salto vertical como consecuencia de un estímulo PAPE aplicado con el ejercicio de sentadilla al 90 % 1RM (Ghahremani & Nazem, 2014). Las mejoras en HZB, encontradas en nuestro estudio, pueden ser debidas a un incremento óptimo de la temperatura muscular, que no ha provocado otras alteraciones fisiológicas de compensación (Escobar Hincapié *et al.*, 2021). Además, la carga del 60 % 1RM para los ejercicios de sentadilla, peso muerto y empuje de cadera han conseguido incrementar los niveles de fuerza y potencia en los músculos agonistas que intervienen en HZB, provocando la mejora en la distancia de salto (Andrews *et al.*, 2016). Parece que una carga submáxima (i.e., 60-84 % 1RM) puede ser suficiente para conseguir una respuesta neuromuscular óptima en el deportista (Wilson *et al.*, 2013), ya que, en otros trabajos que aplicaron ejercicios con sobrecarga »85 %1RM, seguidos de series de salto vertical, no se observaron incrementos en la capacidad de salto de los participantes (Jones & Lees, 2003; Scott & Docherty, 2004). Por otra parte, las mejoras encontradas con BIL y UNI también podrían ser provocadas por la aplicación de un vector de fuerza que ha permitido la transferencia de

fuerza y potencia a la acción del HZB (Loturco *et al.*, 2018). Por último, el tiempo de recuperación de 3 min que separa el final del protocolo de activación y el inicio en la prueba utilizada para valorar el rendimiento, puede haber permitido la adecuada recuperación del jugador, para transformar la fatiga en activación (Titton & Franchini, 2017).

Después del protocolo que empleaba ejercicios de fuerza y pliometría ejecutados de forma unilateral (i.e., UNI) los jugadores consiguieron mayores valores en HZB que después de realizar el mismo protocolo con ejecución bilateral (i.e., BIL). Estos resultados son contrarios a los encontrados en otros estudios, en los que no se observaron diferencias en la mejora aguda del salto vertical, como consecuencia de la realización de ejercicios de activación de forma bilateral y unilateral (Escobar Hincapié *et al.*, 2021; Ghahremani & Nazem, 2014). La comparación de resultados debe realizarse con cautela, puesto que las variables moduladoras del efecto PAPE, en estudios previos (Escobar Hincapié *et al.*, 2021; Ghahremani & Nazem, 2014), son diferentes a las seleccionadas en nuestro trabajo. Por ejemplo, existen diferencias entre diseños experimentales en cuanto a la actividad empleada (i.e., peso libre vs. peso libre y pliometría), la intensidad seleccionada para administrar el estímulo (i.e., 90 % 1RM vs 60 % 1RM), el volumen programado (i.e., 3 series de 3 repeticiones vs. 6 repeticiones), las características de los participantes (i.e., personas activas vs. futbolistas profesionales), el tiempo de recuperación entre la activación y la prueba (i.e., 5 min vs. 3 min) y el tipo de prueba utilizado para analizar el efecto PAPE (i.e., salto vertical vs. salto horizontal). Con independencia del efecto de estas variables sobre el incremento de la fuerza y potencia, el rendimiento observado después de UNI puede ser debido a que, en los ejercicios realizados de forma unilateral la producción de fuerza es mayor que en los que se ejecutan de manera bilateral (McCurdy *et al.*, 2005). Esta mayor actividad neuromuscular durante la ejecución unilateral podría explicar el incremento en la potencia del jugador respecto a los protocolos CON, SIN y BIL (Escobar Hincapié *et al.*, 2021).

Por otra parte, es posible que en las actividades de carácter bilateral la mayor parte de la acción recaiga sobre la pierna dominante restando actividad a la pierna no-dominante (Ramírez-Campillo *et al.*, 2018), mientras que, en los ejercicios unilaterales se ha conseguido la activación óptima de la musculatura de cada extremidad que ha revertido en la mejora del HZB. Por todo ello, parece conveniente incluir, como parte final de la activación previa al entrenamiento y la competición en fútbol, ejercicios con carga submáxima seguidos de actividades de salto horizontal, con el objetivo de estimular la capacidad de fuerza y potencia necesaria para realizar acciones básicas de juego como *sprints* y cambios de dirección.

Finalmente, el análisis del rendimiento individual determinó que al comparar el rendimiento en HZB con SIN, el 53 % y el 100 % de los jugadores mejoraron después de realizar BIL y UNI, respectivamente. Estas diferencias han sido explicadas por la diferente capacidad del deportista para adaptarse a un estímulo de activación genérico (Wilson *et al.*, 2013). En concreto, la experiencia en el entrenamiento y los niveles de fuerza del deportista (Hodgson *et al.*, 2005), así como el porcentaje de fibras rápidas en el músculo (Hamada *et al.*, 2000), harán que el efecto PAPE se materialice de forma positiva, negativa o neutra sobre el rendimiento (Seitz & Haff, 2016). Por lo tanto, para obtener resultados positivos es necesario adaptar las diferentes variables moduladoras (i.e., intensidad, volumen, recuperación, etc.) a las características del deportista (Boullosa, 2021).

El estudio no está exento de limitaciones, principalmente relacionadas con la elección exclusiva de la prueba HZB, como medida de rendimiento físico. Aunque esta prueba es ampliamente aceptada y válida (Rösch *et al.*, 2000), su falta de especificidad, en comparación con otras pruebas, como el cambio de dirección y la repetición de *sprints*, puede limitar la comprensión completa de los efectos de los protocolos de activación, especialmente en el contexto del fútbol. Además, la prueba HZB, empleada en este estudio, fue bilateral, lo que podría no abordar completamente las demandas unilaterales presentes en el fútbol. Futuras investigaciones deberían beneficiarse del uso de pruebas de salto unilateral para evaluar, de manera más precisa, las adaptaciones provocadas por los diferentes protocolos de activación. Este enfoque proporcionaría una perspectiva más completa y específica sobre cómo estos protocolos afectan al rendimiento físico en situaciones más representativas del juego.

A partir de nuestros hallazgos, los entrenadores deberían valorar incorporar, al final de la activación previa a la sesión de entrenamiento o competición, estímulos PAPE, a través de ejercicios específicos como sentadillas, peso muerto, empuje de cadera y saltos horizontales, ejecutados de forma unilateral. Este enfoque puede proporcionar una mejora adicional en la capacidad neuromuscular, en comparación con ejercicios bilaterales. Los resultados de este estudio respaldan la eficacia de estos estímulos específicos y unilaterales para potenciar el rendimiento en el salto, por lo que incluirlos como estímulo, al final de la activación, podría ser beneficioso para optimizar la preparación física de los futbolistas antes de entrar al terreno de juego.

Conclusión

Una activación específica demuestra mejorar el rendimiento en la capacidad de salto horizontal en futbolistas. Además, la inclusión, al final de la activación, de un estímulo de fuerza y pliometría, mediante ejercicios de sentadilla, peso muerto, empuje de cadera y saltos horizontales ejecutados unilateralmente muestra una mejora más significativa en el rendimiento de salto, en comparación con la ejecución de ejercicios de forma bilateral.

REFERENCIAS

- Andrews, S. K., Horodyski, J. M., Macleod, D. A., Whitten, J., & Behm, D. G. (2016). The interaction of fatigue and potentiation following an acute bout of unilateral squats. *Journal of Sports Science and Medicine*, 15(4), 625-632. <https://www.jssm.org/jssm-15-625.xml%3EFulltext>
- Boullosa, D. (2021). Post-activation performance enhancement strategies in sport: a brief review for practitioners. *Human Movement*, 22(3), 101-109. <https://doi.org/10.5114/hm.2021.103280>
- Boullosa, D., Beato, M., Iacono, A. Dello, Cuenca-Fernández, F., Doma, K., Schumann, M., Zagatto, A. M., Loturco, I., & Behm, D. G. (2020). A new taxonomy for postactivation potentiation in sport. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 15(8), 1197-1200. <https://doi.org/10.1123/IJSP.2020-0350>
- Bourdon, P., Cardinale, M., Murray, A., Gatin, P., Kellmann, M., Varley, M. C., Gabbett, T., Coutts, A. J., Burgess, D. J., Gregson, W., & Cable, N. T. (2017). Monitoring Athlete Training Loads: Consensus Statement. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 12, 161-170. <https://doi.org/10.1123/IJSP.2017-0208>
- Cohen J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*, (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Erlbaum Associates.
- Crossley, K. M., Patterson, B. E., Culvenor, A. G., Bruder, A. M., Mosler, A. B., & Mentiplay, B. F. (2020). Making football safer for women: a systematic review and meta-analysis of injury prevention programs in 11 773 female football (soccer) players. *British Journal of Sports Medicine*, 54, 1089-1098. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2019-101587>
- Cuenca-Fernández, F., Smith, I., Jordan, M., Macintosh, B., López-Contreras, G., Arellano, R., & Herzog, W. (2017). Non-localized postactivation performance enhancement (PAPE) effects in trained athletes: a pilot study. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 42(10), 1-13. <https://doi.org/10.1139/apnm-2017-0217>

- Delgado-Bordonau, J., & Méndez-Villanueva, A. (2012). Tactical periodization: Mourinho's best-kept secret. *Soccer NSCAA Journal*, 3, 28-34.
- Escobar Hincapié, A., Agudelo Velásquez, C. A., Ortiz Uribe, M., García Torres, C. A., & Rojas Jaramillo, A. (2021). Unilateral and Bilateral Post-Activation Performance Enhancement on Jump Performance and Agility. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(19). <https://doi.org/10.3390/ijerph181910154>
- Ghahremani, R., & Nazem, F. (2014). The acute effects of unilateral and bilateral squat on vertical jumping functional and electromyographic indexes in athlete men. *Journal of Sport in Biomotor Sciences*, 6, 27-36. <http://journals.hsu.ac.ir/sbs/article-1-280-en.html&sw=>
- Gouvêa, A. L., Fernandes, I. A., César, E. P., Silva, W. A. B., & Gomes, P. S. C. (2013). The effects of rest intervals on jumping performance: a meta-analysis on post-activation potentiation studies. *Journal of Sports Sciences*, 31(5), 459-467. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.738924>
- Hamada, T., Sale, D. G., Macdougall, J. D., & Tarnopolsky, M. A. (2000). Postactivation potentiation, fiber type, and twitch contraction time in human knee extensor muscles. *J Appl Physiol*, 88, 2131-2137. <https://doi.org/10.1152/jappl.2000.88.6.2131>
- Hammami, A., Zois, J., Slimani, M., Russel, M., & Bouhlel, E. (2018). The efficacy, and characteristics, of warm-up and re-warm-up practices in soccer players: a systematic review. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 58(1-2), 135-149. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.16.06806-7>
- Hodgson, M., Docherty, D., & Robbins, D. (2005). Post-activation potentiation: Underlying physiology and implications for motor performance. *Sports Medicine*, 35(7), 585-595. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535070-00004>
- Jones, P., & Lees, A. (2003). A biomechanical analysis of the acute effects of complex training using lower limb exercises. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 17(4), 694-700. <https://doi.org/10.1519/00124278-200311000-00011>
- Lago, C., Casais, L., Domínguez, E., & Sampaio, J. (2010). The effects of situational variables on distance covered at various speeds in elite soccer. *European Journal of Sport Science*, 10(2), 103-109. <https://doi.org/10.1080/17461390903273994>
- Loturco, I., Contreras, B., Kobal, R., Fernandes, V., Moura, N., Siqueira, F., Winckler, C., Suchomel, T., & Pereira, L. A. (2018). Vertically and horizontally directed muscle power exercises: Relationships with top-level sprint performance. *PLoS ONE*, 13(7), 1-13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201475>

- Mallo, J., Mena, E., Nevado, F., & Paredes, V. (2015). Physical Demands of Top-Class Soccer Friendly Matches in Relation to a Playing Position Using Global Positioning System Technology. *Journal of Human Kinetics*, 47(1), 179-188. <https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0073>
- Maroto-Izquierdo, S., Bautista, I. J., & Rivera, F. M. (2020). Post-activation performance enhancement (PAPE) after a single bout of high-intensity flywheel resistance training. *Biology of Sport*, 37(4), 343-350. <https://doi.org/10.5114/BIOLOSPORT.2020.96318>
- McCurdy, K. W., Langford, G. A., Doscher, M. W., Wiley, L. P., & Mallard, K. G. (2005). The effects of short-term unilateral and bilateral lower-body resistance training on measures of strength and power. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(1), 9-15. <https://doi.org/10.1519/00124278-200502000-00003>
- McKay, A. K. A., Stellingwerff, T., Smith, E. S., Martin, D. T., Mujika, I., Goosey-Tolfrey, V. L., et al. (2022). Defining training and performance caliber: a participant classification framework. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 17(2), 317-331. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2021-0451>
- Mujika, I., Halson, S., Burke, L. M., Balagué, G., & Farrow, D. (2018). An integrated, multifactorial approach to periodization for optimal performance in individual and team sports. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13, 538-561. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0093>
- Noyes, F. R., Barber, S. D., & Mangine, R. E. (1991). Abnormal lower limb symmetry determined by function hop tests after anterior cruciate ligament rupture. *The American Journal of Sports Medicine*, 19(5), 513-518. <https://doi.org/10.1177/036354659101900518>
- Oliva-Lozano, J. M., Fortes, V., Krstrup, P., & Muyor, J. M. (2020). Acceleration and sprint profiles of professional male football players in relation to playing position. *PLoS ONE*, 15(8 August). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236959>
- Petisco, C., Ramírez-Campillo, R., Hernández, D., Gonzalo-Skok, O., Nakamura, F. Y., & Sanchez-Sanchez, J. (2019). Post-activation Potentiation: Effects of Different Conditioning Intensities on Measures of Physical Fitness in Male Young Professional Soccer Players. *Frontiers in Psychology*, 10(June), 1-9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01167>
- Pons, E., Ponce-Bordón, J. C., Díaz-García, J., del Campo, R. L., Resta, R., Peirau, X., & García-Calvo, T. (2021). A longitudinal exploration of match running performance during a football match in the Spanish La Liga: A four-season study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(3), 1-10. <https://doi.org/10.3390/ijerph18031133>

- Ramírez-Campillo, R., Sanchez-Sanchez, J., Gonzalo-Skok, O., Rodríguez-Fernández, A., Carretero, M., & Nakamura, F. Y. (2018). Specific Changes in Young Soccer Player's Fitness After Traditional Bilateral vs. Unilateral Combined Strength and Plyometric Training. *Frontiers in Physiology*, 9(March), 1-10. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00265>
- Raya-González, J., & Sanchez-Sanchez, J. (2018). Strength training methods for improving actions in football. *Apunts. Educación Física y Deportes*, 132, 72-93. [https://doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.\(2018/2\).132.06](https://doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.(2018/2).132.06)
- Rey, E., Lago-Peñas, C., Lago-Ballesteros, J., Casais, L., & Dellal, A. (2010). The effect of a congested fixture period on the activity of elite soccer players. *Biology of Sport*, 27, 181-185. <https://doi.org/10.5604/20831862.919337>
- Rösch, D., Hodgson, R., Peterson, L., Graf-Baumann, T., Junge, A., Chomiak, J., & Dvorak, J. (2000). Assessment and evaluation of football performance. *American Journal of Sports Medicine*, 28(5), 29-39. https://doi.org/10.1177/28.suppl_5.s-29
- Sanchez-Sanchez, J., Hernández, D., Martin, V., Sanchez, M., Casamichana, D., Rodríguez-Fernández, A., Ramírez-Campillo, R., & Nakamura, F. Y. (2019). Assessment of the external load of amateur soccer players during four consecutive training microcycles in relation to the external load during the official match. 25. *Motriz. Revista de Educação Física*, 25(1), e101938. <https://doi.org/10.1590/s1980-65742019000010014>
- Sanchez-Sanchez, J., Rodríguez, A., Petisco, C., Ramírez-Campillo, R., Martínez, C., & Nakamura, F. Y. (2018). Effects of Different Post-Activation Potentiation Warm-Ups on Repeated Sprint Ability in Soccer Players from Different Competitive Levels. *Journal of Human Kinetics*, 61(1). <https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0131>
- San-Millán, I., Hill, J. C., & Calleja-González, J. (2020). Indirect assessment of skeletal muscle glycogen content in professional soccer players before and after a match through a non-invasive ultrasound technology. *Nutrients*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/nu12040971>
- Scott, S. L., & Docherty, D. (2004). Acute effects of heavy preloading on vertical and horizontal jump performance. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 18(2), 201-205. <https://doi.org/10.1519/R-13123.1>
- Seitz, L. B., & Haff, G. G. (2016). Factors Modulating Post-Activation Potentiation of Jump, Sprint, Throw, and Upper-Body Ballistic Performances: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 46(2), 231-240. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0415-7>

- Seitz, L. B., Mina, M. A., & Haff, G. G. (2017). A sled push stimulus potentiates subsequent 20-m sprint performance. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20, 781-785. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2016.12.074>
- Stølen, T., Chamari, K., Castagna, C., & Wisløff, U. (2005). Physiology of Soccer an Update. In *Sports Med* (Vol. 35, Issue 6). <https://doi.org/10.2165/00007256-200535060-00004>
- Thapa, R., Clemente, F., Moran, J., García-Pinillos, F., T. Scanlan, A., & Ramírez-Campillo, R. (2022). Warm-up optimization in amateur male soccer players: A comparison of small-sided games and traditional warm-up routines on physical fitness qualities. *Biology of Sport*, 40(1), 321-329. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2023.114286>
- Titton, A., & Franchini, E. (2017). Postactivation potentiation in elite young soccer players. *Journal of Exercise Rehabilitation*, 13(2), 153-159. <https://doi.org/10.12965/jer.1734912.456>
- Tsurubami, R., Oba, K., Samukawa, M., Takizawa, K., Chiba, I., Yamanaka, M., & Tohyama, H. (2020). Warm-up intensity and time course effects on jump performance. *Journal of Sports Science and Medicine*, 19(4), 714-720. <https://www.jssm.org/jssm-19-714.xml%3EFulltext>
- Wilson, J. M., Duncan, N. M., Marin, P. J., Brown, L. E., Loenneke, J. P., Wilson, S., Jo, E., Lowery, R. P., & Ugrinowitsch, C. (2013). Meta-Analysis of postactivation potentiation and power: effects of conditioning activity, volume, gender, rest periods, and training status. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(3), 854-859. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31825c2bdb>
- Zois, J., Bishop, D., & Aughey, R. (2015). High-intensity warm-ups: effects during subsequent intermittent exercise. *International Journal of Sport Physiology and Performance*, 10(4), 498-503. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2014-0338>
- Zois, J., Bishop, D. J., Ball, K., & Aughey, R. J. (2011). High-intensity warm-ups elicit superior performance to a current soccer warm-up routine. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 14(6), 522-528. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2011.03.012>

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Unionistas de Salamanca CF (Salamanca, España) por su colaboración en la realización de este estudio. Agradecemos a todos los futbolistas que se ofrecieron a participar en el estudio y a todos aquellos técnicos que de una u otra forma participaron en la recogida de datos y organización de la experiencia.

DECLARACIÓN DE CONTRIBUCIÓN DE PERSONAS AUTORAS

Contribución de los autores a partir de la Taxonomía CRediT: JS-S, MS y LP se encargaron de la conceptualización del trabajo; JS-S, MS, LP y RR-C realizaron la curación de contenidos y datos; JS-S y RR-C se ocuparon del análisis formal de datos; MS y LP se ocuparon de la investigación; JS-S, MS y LP hicieron la metodología; JS-S realizó tareas de administración del proyecto; MS y LP se encargaron de los recursos materiales; JS-S se ocupó de la supervisión; JS-S, MS, LP y RR-C se encargaron de la visualización y redacción del borrador original y de la revisión y edición.