

Article

Ejercicios Bilaterales versus Unilaterales de las Extremidades Inferiores para la Mejora del Rendimiento Físico

Guillermo Peña García-Orea¹, Juan Ramón Heredia^{1,2} y Mauricio Moyano^{1,3}

¹Instituto Internacional Ciencias Ejercicio Físico y Salud (Alicante, España)

²Universidad Alfonso X el Sabio (Madrid, España)

³Facultad de Educación Física (Universidad Provincial de Córdoba, Argentina)

Documento sin título

INTRODUCCIÓN

La mejora del rendimiento neuromuscular de las extremidades inferiores es determinante para la inmensa mayoría de los deportes y de las actividades de la vida diaria de cualquier persona. Los entrenadores y preparadores físicos diseñan sus programas seleccionando, en la mayoría de las ocasiones de una forma *intuitiva*, los ejercicios que presumiblemente mejorarán las prestaciones físicas de sus deportistas y clientes. Pero es posible que a veces nos dejemos llevar demasiado por las modas, tendencias, nuestras creencias o las opiniones de los demás. Por ello, es necesario proporcionar información científica actual sobre la idoneidad al seleccionar los ejercicios de fuerza para las extremidades inferiores y estudiar su efectividad o transferencia para mejorar el rendimiento físico y deportivo.

En torno a esto, existe un interesante debate entre entrenadores y científicos del deporte sobre la idoneidad de realizar ejercicios multiarticulares con cargas adicionales que involucren a las extremidades inferiores mientras aplican fuerza simétricamente (llamados *bilaterales*, por ejemplo: sentadillas) o ejercicios donde la aplicación de fuerza y activación muscular de cada extremidad sea asimétrica (llamados *unilaterales*, por ejemplo: lunges, split-squat) (ver Tabla 1). No obstante, un ejercicio *unilateral* por definición debería ser aquel donde una de las extremidades no participara de la acción por permanecer inactiva en el aire (lo que sería una acción verdaderamente "unilateral"). Sin embargo, muchos de los ejercicios conocidos como tales (Figura 1) no lo son realmente, pues la extremidad contralateral participa en alguna medida de la acción, por lo que la denominación "asimétricos" y "simétricos" quizás fuera más apropiada para referirnos a los ejercicios.

Pero, en cualquier caso, de acuerdo con el principio de especificidad, podría especularse que los ejercicios de fuerza realizados unilateralmente gozarían de una mayor transferencia hacia muchas de las acciones deportivas (esprintar, cambiar de dirección, saltar, aterrizar, patear) y cotidianas de la vida diaria (subir escaleras, andar) que se realizan de este modo o en las cuales el peso corporal se transfiere hacia una de las dos piernas. En relación con esto, solemos pensar que el fenómeno de la transferencia depende de la *especificidad* mecánica (tipo de activación, velocidad, ángulo/rango articular, etc.) entre el estímulo de entrenamiento y el rendimiento objeto de mejorar, de manera que, en teoría, cuanto más similares sean los dos, mayor se supone que puede ser la transferencia. Sin embargo, podría ser un error considerar que un ejercicio presenta mayor potencial para transferir sus ganancias de fuerza simplemente por la aparente similitud o semejanza mecánica con la acción específica susceptible de ser mejorada sin tener en cuenta otros factores (por ejemplo,

la RFD o los requerimientos de estabilización). Un ejemplo que parece cuestionar esto con el ejercicio de sentadilla es el estudio de Pallarés et al. (2019), en el cual se comparó el efecto de un ciclo de entrenamiento entre tres profundidades diferentes de la sentadilla sobre la mejora de la capacidad de esprint sobre 20 metros y el salto vertical (CMJ). Después de 10 semanas de entrenamiento realizando cada repetición a la máxima velocidad posible, y equiparando verdaderamente la intensidad relativa entre cada una de las tres variantes del ejercicio mediante el control preciso de la velocidad, se pudo comprobar que la sentadilla profunda/completa fue la que mayores mejoras del rendimiento transfirió a esas acciones (carrera y salto). Los hallazgos de este estudio cuestionan la resabida recomendación de que las mayores mejoras y adaptaciones ocurren en un ángulo o rango específico de movimiento.

Tabla 1. Características diferenciadoras entre ejercicios unilaterales (asimétricos) y bilaterales (simétricos).

	Ejercicio unilateral	Ejercicio bilateral
Posición de los apoyos en la superficie de contacto	Asimétrica	Simétrica (paralela)
Base de sustentación	Menor	Mayor
Requerimientos de estabilidad y coactivación	Mayores ¹	Menores
Distribución de la carga entre los apoyos	Asimétrica	Simétrica
Activación muscular	Asimétrica ²	Simétrica ³
Aplicación de fuerza	Asimétrica ²	Simétrica ³

¹De la musculatura estabilizadora de la pelvis, rodilla, tobillo y tronco en el plano frontal.

²Mayor en el apoyo que soporta mayor carga.

³Siempre que la proyección vertical de la carga esté en el centro de la base de sustentación.

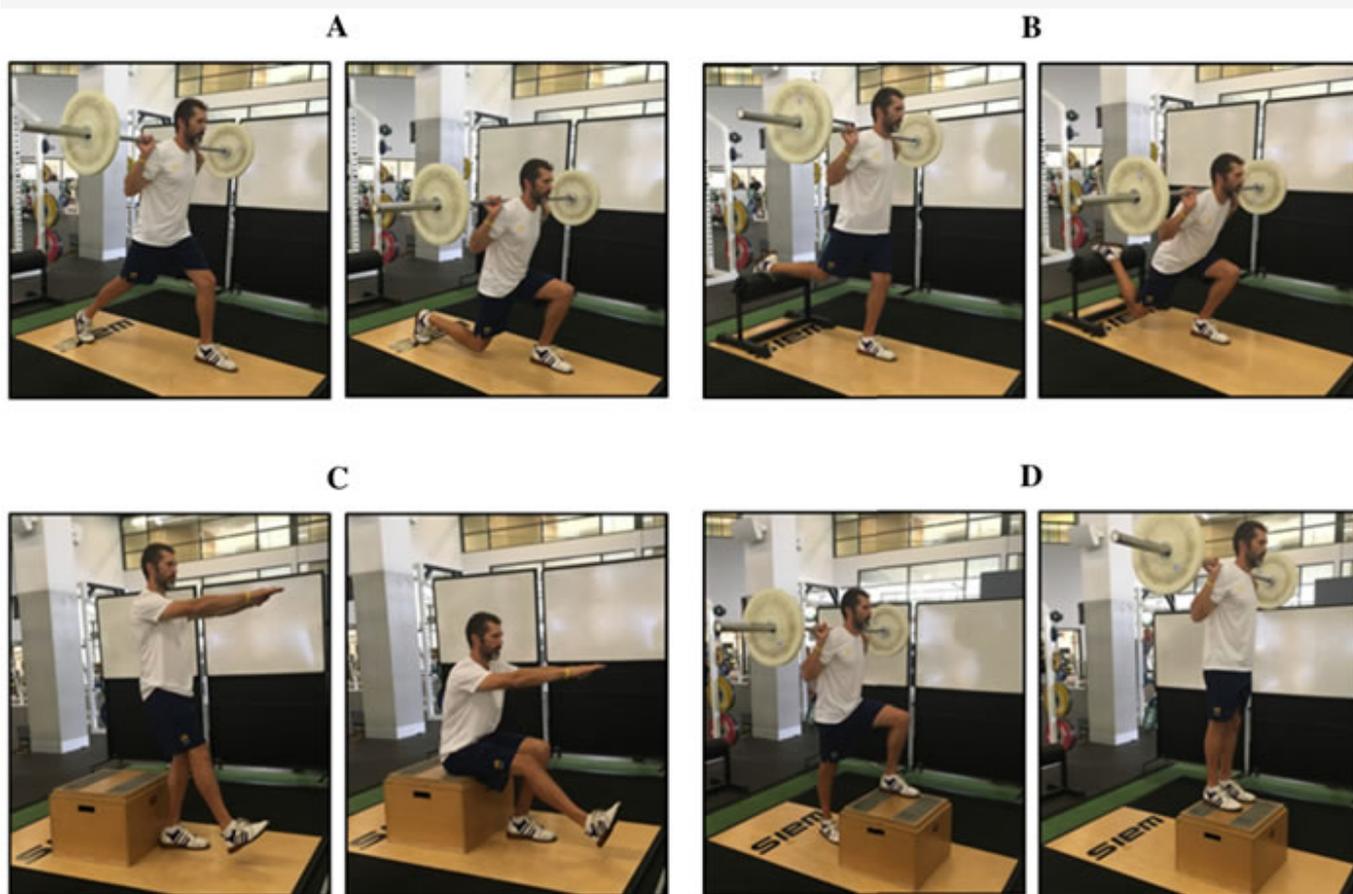


Figura 1. Ejemplos de variantes de ejercicios unilaterales/asimétricos: A: lunge/split (zancadas); B: Split-squat con pierna atrasada elevada; C: sentadilla a una pierna; D: step-up (subida al cajón) (Appleby, 2019).

La cuestión es que mientras están sobradamente documentadas las mejoras que supone el entrenamiento de fuerza con acciones bilaterales (sentadilla) para el rendimiento en carreras cortas, salto vertical y cambios de dirección, el nivel de producción y evidencia científica de los ejercicios unilaterales en este sentido es muchísimo menor y bastante inconsistente. Por esta razón, falta aclarar si las variantes unilaterales resultan menos, igual o más efectivas que los ejercicios bilaterales para este propósito, para poder alcanzar conclusiones y tomar decisiones de cara a la selección de los ejercicios en un programa de entrenamiento.

Un resumen de la investigación científica.

En los últimos años un número reducido de estudios científicos y artículos de revisión han tratado de averiguar esta incógnita. Varios de esos escasos estudios experimentales han tenido como principal objetivo determinar la magnitud de la transferencia del entrenamiento de fuerza unilateral o bilateral al rendimiento de acciones como la capacidad de aceleración en carrera y de cambio de dirección (Fisher y Wallin, 2014; Speirs et al., 2016; Appleby et al., 2019, 2020). Muchos de ellos han observado resultados similares en las mejoras de fuerza (1RM), confirmando algunos estudios beneficios equivalentes con cualquiera de las dos variantes de ejercicios (unilaterales o bilaterales) sobre el rendimiento en carrera y/o cambio de dirección (McCurdy et al., 2005; Speirs et al., 2016; Gonzalo-Skok et al., 2016). Pero también otros estudios hallaron mayores mejoras sobre el rendimiento en carrera/esprint con los ejercicios bilaterales (Fisher y Wallin, 2014), sobre el rendimiento en la capacidad de cambiar de dirección con los ejercicios unilaterales (Fisher y Wallin, 2014; Gonzalo-Skok et al., 2016), o sobre el rendimiento en la capacidad de cambiar de dirección con los ejercicios bilaterales (Appleby et al., 2020). No obstante, resulta difícil aislar los verdaderos efectos de cada tipología de ejercicios en aquellos estudios donde, además de los ejercicios uni o bilaterales con cargas externas, fueron incorporados otro tipo de ejercicios pliométricos durante la intervención (McCurdy et al., 2005; Gonzalo-Skok et al. 2016; Fisher y Wallin, 2014). Veamos más en profundidad algunos de los principales estudios.

McCurdy et al. (2005) compararon los efectos de 8 semanas de entrenamiento unilateral (lunges, split-squat, etc.) y bilateral (sentadilla frontal y por detrás) en sujetos desentrenados de ambos sexos, incorporando además diferentes tipos

de ejercicios pliométricos unilaterales y bilaterales. Los resultados mostraron mejoras significativas y similares en la fuerza y potencia (5RM y CMJ unilateral y bilateral) en ambos grupos, sugiriendo que ambas variantes de ejercicios eran igual de eficaces, a excepción del rendimiento en el salto vertical unilateral que mejoró más en el grupo de entrenamiento unilateral. Una variable extraña en este estudio pudo ser el hecho de que algunos ejercicios de entrenamiento no fueron evaluados inicialmente, por lo que la dosificación de la intensidad en los mismos difícilmente pudo ser equiparada. Además, algunos de los ejercicios unilaterales con los que se entrenó (lunges) requieren la participación de la pierna atrasada para aplicar fuerza. Difícilmente estos resultados pueden ser extrapolados a otro tipo de poblaciones entrenadas y para otros protocolos de entrenamiento.

Fisher y Wallin (2014) compararon el efecto de 6 semanas de entrenamiento entre ejercicios bilaterales y unilaterales junto con ejercicios pliométricos sobre el rendimiento en la carrera de 10 metros y cambio de dirección en jugadores de rugby. Los resultados fueron que el grupo que realizó el entrenamiento unilateral y pliométrico mejoró más su rendimiento en su capacidad de cambiar de dirección, pero sin embargo el grupo que entrenó con acciones bilaterales mejoró más su rendimiento en la carrera corta. No obstante, aislar verdaderamente el efecto del entrenamiento de los ejercicios unilaterales o bilaterales resulta problemático al haber incorporado un volumen considerable de ejercicios pliométricos (saltos) a los estudiados en la intervención. Además, el principal ejercicio del entrenamiento unilateral fue el split-squat paralelo con pierna atrasa con mancuernas, sin embargo, es cuestionable que la carga de entrenamiento para este ejercicio pudiera ser equiparada con precisión a partir de una evaluación inicial del ejercicio realizado con barra, así como que este ejercicio con mancuernas fuera equiparado en volumen e intensidad con el ejercicio bilateral (sentadilla con barra).

Por su parte, Speirs et al. (2016), compararon el efecto del entrenamiento entre un ejercicio unilateral (split squat con la pierna atrasada elevada) y un ejercicio bilateral (sentadilla con barra por detrás) sobre las mejoras de rendimiento del esprint y el cambio de dirección tras cinco semanas de entrenamiento en jugadores de rugby. Los resultados obtenidos mostraron que ambos ejercicios fueron igualmente eficaces para mejorar la fuerza de las extremidades inferiores y el rendimiento en esas pruebas (esprint 40 metros y Pro-agility test), pero que el entrenamiento unilateral podría tener una mayor transferencia. Los investigadores utilizaron tests de fuerza de 3RM y evaluaron ambas piernas en el ejercicio unilateral, aunque solo usaron la pierna dominante para el análisis estadístico. El resultado del test de 3RM se utilizó para estimar el valor de la 1RM y dosificar las cargas de entrenamiento.

Gonzalo-Skok et al. (2016) analizaron los efectos de 6 semanas de entrenamiento de fuerza unilateral (sentadilla 90° a una pierna) o bilateral (sentadilla 90°) sobre la producción de potencia unilateral, el desequilibrio entre extremidades, el déficit bilateral y el rendimiento en la capacidad de esprintar (25 metros), cambiar de dirección (con distintas variantes de un test de agilidad customizado) y salto vertical (CMJ) en jugadores de baloncesto de élite jóvenes. Además, ambos grupos experimentales realizaron 2 series de 5 saltos en profundidad y 2 series de 5 saltos con contramovimiento unilaterales o bilaterales según el grupo al que pertenecían. Los autores informaron mayores mejoras en la producción de potencia máxima unilateral por parte del grupo de entrenamiento unilateral en comparación con el grupo de entrenamiento bilateral en el test de sentadilla unilateral con cargas progresivas. Ambos grupos mejoraron el rendimiento del esprint de forma similar, pero el grupo de entrenamiento unilateral mejoró en mayor medida su rendimiento en salto vertical (CMJ). El grupo de entrenamiento unilateral obtuvo también mayores mejoras en casi todas aquellas acciones que en su mayoría requerían aplicar fuerza unilateralmente (tests de potencia unilateral y de cambio de dirección), si bien la magnitud de mejora en la capacidad de cambiar de dirección fue baja. En este estudio resulta interesante que durante los entrenamientos con la acción bilateral el número de repeticiones por serie no se estableció de antemano, es decir, la serie se interrumpía cuando la potencia disminuía por debajo del 10% de la potencia máxima (pese a ello, el número medio de repeticiones entre grupos no fue sustancialmente diferente). Durante las primeras cinco semanas, la carga en sentadilla fue incrementada del 80% al 100% de la carga de máxima potencia, disminuyendo hasta el 80% en la última semana. Todos los sujetos del estudio realizaron dos sesiones de entrenamiento de fuerza a la semana además de los ejercicios de saltos. Los autores sugirieron que el entrenamiento combinado de fuerza y pliométrico, en contraposición al entrenamiento exclusivo de fuerza, pudo contribuir a la mejora del rendimiento de la capacidad de esprint. Las limitaciones del estudio reconocidas por los propios autores incluyen desconocer si la mejora del rendimiento fue el efecto de la inclusión o combinación del entrenamiento de potencia máxima, el entrenamiento de fuerza y los ejercicios pliométricos. Quizás la inclusión de un grupo control podría haber proporcionado más información sobre las mejoras debidas al propio entrenamiento o al proceso madurativo de una población tan joven como la de la muestra (16.9 ± 2.1 años).

Más recientemente, un par de estudios de Appleby et al. (2019, 2020) investigaron en jugadores de rugby el efecto que sobre la capacidad de esprintar y cambiar de dirección tubo un ciclo de entrenamiento de 8 semanas realizando dos veces por semana un ejercicio unilateral (step-up) o bilateral (sentadilla), equiparando la carga de entrenamiento (6-8 x 4-8 repeticiones al 45-88% 1RM) y el ángulo de flexión de rodilla (90°). Los resultados obtenidos mostraron que ambos grupos mejoraron su rendimiento en fuerza máxima (1RM) en el ejercicio entrenado y no entrenado -comprobandose así la transferencia de las ganancias de fuerza entre ejercicios-, así como en la capacidad de aceleración en 20 metros, si bien claramente las mayores mejoras en fuerza se alcanzaron en el ejercicio entrenado. Aunque ambos grupos obtuvieron

también mejoras significativas en el rendimiento en su capacidad de cambiar de dirección, el entrenamiento bilateral con sentadilla a 90° demostró una mejora/transferencia superior en este aspecto que el entrenamiento con el ejercicio unilateral. Sin embargo, este estudio se desarrolló mientras que los jugadores que constituyeron la muestra siguieron realizando su entrenamiento habitual de pretemporada de rugby, el cual pudo afectar/fatigar de forma desigual a cada uno de los sujetos.

Es cierto que el diseño de investigación de este tipo de estudios no es una tarea nada sencilla. Uno de los mayores limitantes es igualar realmente la carga de entrenamiento (volumen e intensidad) programada entre los ejercicios unilaterales y bilaterales, así como controlar las condiciones de ejecución durante los tests y sesiones de entrenamiento entre ambas variantes de ejercicios (ángulo articular de la rodilla, velocidad de ejecución, selección del miembro dominante vs no-dominante para la evaluación inicial, participación de la pierna contralateral en la acción unilateral, etc.). En este sentido las sesiones de familiarización son muy importantes, especialmente con los ejercicios unilaterales. Para poder equiparar realmente la carga relativa y volumen de entrenamiento solamente sería posible mediante el control de la velocidad, para lo cual previamente habría que conocer la relación carga(fuerza)-velocidad para cada una de las variantes de ejecución.

Otra recomendación importante para este tipo de estudios sería evitar realizar cualquier otro tipo de entrenamiento de fuerza añadido a los propios ejercicios unilaterales o bilaterales (por ejemplo, cualquier tipo de saltos), ya que esto dificultaría aislar el verdadero efecto de cada ejercicio realizado.

Por último, los procedimientos y tests para evaluar el rendimiento de la capacidad para cambiar de dirección son muy variables entre los estudios (Pro-agility, Illinois, T-Test, etc.). La complejidad de estos tests (número y tipo de los cambios de dirección, la proporción entre cambios de dirección y carrera en línea recta, duración de la prueba, etc.) dificulta poder comparar el efecto de las intervenciones de entrenamiento sobre esta capacidad.

Por todas estas cuestiones, sería deseable que nuevos estudios vayan arrojando más información en el futuro.

Otras consideraciones sobre las acciones y el entrenamiento unilateral.

También sabemos que los ejercicios realizados unilateralmente que implican a las extremidades inferiores suponen mayores requerimientos de estabilidad segmentaria en el plano frontal por la menor base de sustentación, lo que altera los niveles de activación muscular a nivel de la pelvis (glúteo medio), la rodilla (isquiotibiales, cuádriceps y aductores) y el tobillo con respecto a las acciones bilaterales (DeForest, et al., 2014; McCurdy et al., 2010; Jones et al., 2012; Ebben et al., 2009; Boudreau et al., 2009). No obstante, esta diferencia que pueda darse en los niveles de activación muscular, a menudo en virtud de una mayor coactivación cuádriceps:isquiotibiales -con posibles aplicaciones para la rehabilitación y prevención de lesiones-, no necesariamente debe suponer una ventaja para la transferencia/mejora del rendimiento específico en acciones como la carrera o cambios de dirección. De hecho, esta situación de mayor demanda estabilizadora conlleva necesariamente utilizar una carga externa inferior y aplicar menos fuerza con la musculatura agonista en comparación con su variante bilateral (McCurdy et al., 2010; Lawrence y Carlson, 2015), por lo que una coactivación excesiva o inadecuada de los músculos antagonistas puede provocar una disminución de la fuerza aplicada a través de la musculatura agonista.

En contrapartida, los movimientos unilaterales, al requerir entrenar con una menor carga externa, suponen una menor carga compresiva para determinadas estructuras anatómicas como la columna (Mulligan y Nijem, 2016), lo que podría ser ventajoso en algunas circunstancias. Incluso, en caso de sufrir una lesión en una de las extremidades (por ejemplo, rotura del ligamento cruzado), ejercitarse con acciones unilaterales puede suponer un estímulo neuromuscular beneficioso para la extremidad contralateral convaleciente, lo que se conoce como "efecto cruzado o contralateral" (Henry 1961), consiguiendo de esa forma minimizar las pérdidas de fuerza del miembro lesionado. Son muchos los estudios que han informado de mejoras de la fuerza en el miembro contralateral no entrenado, lo que sugiere una mejora vía factores neurológicos.

Sobre la rehabilitación y prevención de lesiones de los miembros inferiores, la valoración del rendimiento unilateral (fuerza aplicada) podría ser un aspecto a considerar. Aunque las posibles causas de la asimetría bilateral sean multifacéticas, ciertos estudios sugieren que una diferencia superior al 15% (medidas con acciones uni-articulares de cadena cinética abierta en dispositivos isocinéticos) podría ser un factor de riesgo de lesión (Knapik et al., 1991). En base a esto, algunos investigadores han sugerido que realizar ejercicios unilaterales podría ayudar a detectar y corregir dicho desequilibrio. Sin embargo, no está claro si las asimetrías bilaterales de fuerza pueden estar relacionadas con déficits de rendimiento en sprint u otras acciones deportivas.

En otro orden de argumentos, también se hace mención al "déficit bilateral", es decir, al hecho de que en ocasiones la fuerza generada por ambas extremidades cuando actúan simultáneamente en acciones bilaterales sea inferior a la suma de las fuerzas producidas de cada extremidad por separado. Bajo este pretexto se busca justificar la priorización del

entrenamiento con acciones unilaterales para corregir esta diferencia. Sin embargo, por lo general, este es un fenómeno más frecuente en sujetos desentrenados o poco entrenados y ejercicios multiarticulares, pero parece ser que esto no ocurre tan a menudo en poblaciones entrenadas (Mullican y Nijem, 2016; Fountaine, 2016). Incluso, en deportistas altamente entrenados, como remeros y levantadores que realizan habitualmente movimientos bilaterales, la producción máxima de fuerza bilateral en realidad puede ser mayor que la suma de fuerzas unilaterales, un fenómeno denominado "facilitación bilateral" (Howard y Enoka, 1991; Seccher, 1975). Además, diferentes estudios han comprobado que el entrenamiento bilateral tiende a reducir o eliminar el déficit bilateral, mientras que el entrenamiento unilateral tiende a incrementarlo (Bobbert et al., 2006; Kuruganti y Murphy, 2008; Kuruganti et al., 2011; Botton et al., 2016), por lo que existe una clara inconsistencia y ambigüedad en la investigación realizada al respecto que impide llegar a conclusiones definitivas y poder emitir recomendaciones. En todo caso, la selección de ejercicios debería basarse en cómo influyen en el rendimiento físico y deportivo, independientemente de lo que suceda sobre el déficit bilateral (Mullican y Nijem, 2016), ya que no está clara la relación entre este déficit y el rendimiento: no se sabe si beneficia, perjudica o es indiferente.

Por último, y nada despreciable, sería considerar la mayor inversión de tiempo que supone realizar ejercicios en su versión unilateral (exactamente el doble de tiempo), por lo que el tiempo disponible para el entrenamiento puede ser determinante en la selección de estos ejercicios.

Conclusiones finales.

En resumen, parece comprobado que el entrenamiento tanto con ejercicios bilaterales como unilaterales puede ser efectivo para la mejora de la fuerza, del rendimiento de la carrera/esprint, el salto y del cambio de dirección. Sin embargo, no parece quedar demostrado que las variantes de ejercicios unilaterales con cargas adicionales (no se incluyen aquí los ejercicios de saltos con ciclo estiramiento-acortamiento) sean superiores o más efectivas para este propósito, como a veces se da por hecho, aunque puedan tener aplicación en un programa de entrenamiento.

En nuestra opinión, y en base a la información científica actual, los ejercicios unilaterales (asimétricos) pueden ser incorporados en los programas de entrenamiento para la mejora del rendimiento de las extremidades inferiores. También pueden incluirse como ejercicios accesorios o complementarios, pero manteniendo cautela al atribuirles mayor eficacia o utilizarlos como ejercicios intercambiables o sustitutivos de los bilaterales (simétricos) cuando el objetivo principal sea la mejora del rendimiento en acciones como la carrera, el salto o el cambio de dirección. Faltan estudios donde se describan y controlen apropiadamente las características de los ejercicios unilaterales y las cargas de entrenamiento utilizadas para valorar su auténtica transferencia para la mejora del rendimiento físico.

REFERENCIAS

1. Appleby, BB, Cormack, SJ, and Newton, RU. (2020). Unilateral and bilateral lower-body resistance training does not transfer equally to sprint and change of direction performance. *J Strength Cond Res.* 2020;34(1):54-64.
2. Appleby, BB, Cormack, SJ, and Newton, RU. (2019). Specificity and transfer of lower-body strength: Influence of bilateral or unilateral lower-body resistance training. *J Strength Cond Res.* 2019; 33(2):318-26.
3. Bobbert MF, de Graaf WW, Jonk JN, and Casius LJ. (1985). Explanation of the bilateral deficit in human vertical squat jumping. *J Appl Physiol* 2006;100:493-9.
4. Boudreau SN, Dwyer MK, Mattacola CG, Lattermann C, Uhl TL, McKeon JM. (2009). Hip-muscle activation during the lunge, single-leg squat, and step-up-and-over exercises. *J Sport Rehabil.* 2009;18(1):91-103.
5. Botton CE, Radaelli R, Wilhelm EN, Rech A, Brown LE, Pinto RS. (2016). Neuromuscular Adaptations to Unilateral vs. Bilateral Strength Training in Women. *J Strength Cond Res.* 2016;30(7):1924-32.
6. DeForest, BA, Cantrell, GS, and Schilling, BK. (2014). Muscle activity in single-vs. double-leg squats. *Int J Exerc Sci.* 2014;7:302.
7. Ebben WP, Feldmann CR, Dayne A, Mitsche D, Alexander P, Knetzger KJ. (2009). Muscle activation during lower body resistance training. *Int J Sports Med.* 2009;30(1):1-8.
8. Fisher, J and Wallin, M. (2014). Unilateral versus bilateral lower-body resistance and plyometric training for change of direction speed. *J Athl Enhanc.* 2014;6:2.
9. Fountaine CJ. (2018). Unilateral and bilateral exercise movements: Considerations for Program Design. *ACSM s Health & Fitness Journal.*
10. Gonzalo-Skok, O, Tous-Fajardo, J, Suarez-Arrones, L, Arjol-Serrano, JL, Casajús, JA, and Mendez-Villanueva, A. (2016). Single-leg power output and between-limb imbalances in team-sports players: Unilateral vs. bilateral combined resistance training. *Int J Sports Physiol Perform.* 2016;12:106-14.
11. Henry F, Smith L. (1961). Simultaneous vs. separate bilateral muscular contractions in relation to neural overflow theory and neuromotor specificity. *Res Q.* 1961;32(1):42-6.
12. Howard JD and Enoka RM. (1991). Maximum bilateral contractions are modified by neurally mediated interlimb effects. *J Appl Physiol.* 1991;70:306-16.

13. Jones, MT, Ambegaonkar, JP, Nindl, BC, Smith, JA, and Headley, SA. (2012). Effects of unilateral and bilateral lower-body heavy resistance exercise on muscle activity and testosterone responses. *J Strength Cond Res.* 2012;26:1094-1100.
14. Knapik JJ, Bauman CL, Jones BH, Harris JM, and Vaughan L. (1991). Preseason Strength and Flexibility Imbalances in Female Collegiate Athletes. *Am J Sports Med.* 1991;19:76-81.
15. Kuruganti U and Murphy T. (2008). Bilateral deficit expressions and myoelectric signal activity during submaximal and maximal isometric knee extensions in young, athletic males. *Eur J Appl Physiol.* 2008;102:721-26.
16. Kuruganti U, Murphy T, and Pardy T. (2011). Bilateral deficit phenomenon and the role of antagonist muscle activity during maximal isometric knee extensions in young, athletic men. *Eur J Appl Physiol.* 2011;111:1533-9.
17. Lawrence, MA and Carlson, LA. (2015). Effects of an unstable load on force and muscle activation during a parallel back squat. *J Strength Cond Res.* 2015;29: 2949-53.
18. McCurdy, K, O'Kelley, E, Kutz, M, Langford, G, Ernest, J, and Torres, M. (2010). Comparison of lower extremity EMG between the 2-leg squat and modified single-leg squat in female athletes. *J Sport Rehabil.* 2010;19:57-70.
19. McCurdy, KW, Langford, GA, Doscher, MW, Wiley, LP, and Mallard, KG. (2005). The effects of short-term unilateral and bilateral lower-body resistance training on measures of strength and power. *J Strength Cond Res.* 2005;19:9-15.
20. Mullican K, Nijem R. (2016). Are unilateral exercises more effective than bilateral exercises? *Strength Cond J.* 2016;38(1):68-70.
21. Pallarés JG, Cava AM, Courel-Ibáñez J, González-Badillo JJ, Morán-Navarro R. (2019). Full squat produces greater neuromuscular and functional adaptations and lower pain than partial squats after prolonged resistance training. *Eur J Sport Sci.* 2019;15:1-10.
22. Secher NH. (1975). Isometric rowing strength of experienced and inexperienced oarsmen. *Med Sci Sports.* 1975;7:280-83.
23. Speirs, DE, Bennett, MA, Finn, CV, and Turner, AP. (2016). Unilateral vs. *bilateral squat training for strength, sprints, and agility in academy rugby players.* *J Strength Cond Res.* 2016;30(2):386-92.