

Sánchez-Sixto, A.; Harrison, A.J. y Floría, P. (2019) La importancia de la profundidad del contramovimiento en el ciclo estiramiento-acortamiento / Importance of Countermovement Depth in Stretching and Shortening Cycle Analysis. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte vol. 19 (73) pp. 33-44
[Http://cdeporte.rediris.es/revista/revista73/artimportancia1003.htm](http://cdeporte.rediris.es/revista/revista73/artimportancia1003.htm)
DOI: <http://doi.org/10.15366/rimcafd2019.73.003>

ORIGINAL

LA IMPORTANCIA DE LA PROFUNDIDAD DEL CONTRAMOVIMIENTO EN EL CICLO ESTIRAMIENTO-ACORTAMIENTO

IMPORTANCE OF COUNTERMOVEMENT DEPTH IN STRETCHING AND SHORTENING CYCLE ANALYSIS

Sánchez-Sixto, A.¹; Harrison, A.J.² y Floría, P.³

¹ Doctorando en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Departamento de Deporte. Centro de Estudios Universitarios Cardenal Spínola CEU. Bormujos (España) asanchezsixto@ceuandalucia.es

² Doctor en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Physical Education & Sport Sciences. University of Limerick. Limerick (Irlanda) Drew.Harrison@ul.ie

³ Doctor en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Departamento de Deporte e Informática. Universidad Pablo de Olavide. Sevilla (España) pfloriam@upo.es

Código UNESCO / UNESCO CODE: 2406.04 Biomecánica / Biomechanics

Clasificación del Consejo de Europa / Council of Europe Classification: 3. Biomecánica del deporte / Biomechanics of sport

Recibido 7 de abril de 2017 **Received** April 7, 2017

Aceptado 11 de septiembre de 2017 **Accepted** September 11, 2017

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue determinar la influencia de las variables relacionadas con la aplicación de fuerza y el desplazamiento del centro de masas en las diferencias en la altura saltada entre el salto sin contramovimiento (SJ) y el salto con contramovimiento (CMJ). Participaron veintiséis hombres, realizando tres SJ y tres CMJ con 90° de flexión de rodilla. El desplazamiento del centro de masas y la fuerza media durante la fase de propulsión fueron significativamente superiores en el CMJ en comparación con el SJ, explicando el 75% de la diferencia entre los dos saltos y teniendo un 30% más de influencia el desplazamiento del centro de masas. No hubo diferencias en la fuerza máxima. Los resultados sugieren la necesidad de examinar el desplazamiento del centro de masas para interpretar adecuadamente las diferencias entre el SJ y el CMJ cuando el criterio establecido es 90° de flexión de rodilla.

PALABRAS CLAVE: Biomecánica; Salto, Cinética, Cinemática

ABSTRACT

The aim of this investigation was to determine the influences of force application related variables and center of mass displacement on jump height differences between squat jump (SJ) and countermovement jump (CMJ). Twenty six males performed three squat jumps and three countermovement jumps with a 90° knee flexion. The center of mass displacement during the upward movement phase and the average force were significantly greater in CMJ than in SJ. Both variables explained 75% of the differences in the flight height, having 30% more influence the center of mass displacement. There were no differences in peak force. The results of this research suggest the need to examine the center of mass displacement during SJ and CMJ when a 90° of knee flexion criteria is established.

KEY WORDS: Biomechanics, jump, Kinetics, Kinematics.

INTRODUCCIÓN

La diferencia en la altura de salto, entre el salto sin contramovimiento (SJ) y el salto con contramovimiento (CMJ), ha sido una variable ampliamente utilizada por entrenadores e investigadores, para valorar el ciclo estiramiento-acortamiento (Castagna y Castellini, 2013; Yang, Chou, Chen, Shiang y Liu, en prensa). Generalmente, la altura de salto alcanzada en el CMJ es superior a la del SJ y esta diferencia en el rendimiento se atribuye a la capacidad del sistema neuromuscular para producir una mayor potencia y trabajo tras el contramovimiento (Bobbert, Gerritsen, Litjens y Van Soest, 1996). Debido a que el trabajo es el producto de la fuerza y el desplazamiento del centro de masas, los investigadores han analizado la influencia que tienen ambos parámetros en la altura del salto vertical (Kirby, McBride, Haines y Dayne, 2011).

El análisis de la fuerza ha sido utilizado de manera frecuente para examinar las diferencias en el rendimiento del salto vertical (Cormie, McBride y McCaulley, 2009; Feltner, Bishop y Perez, 2004; González-Badillo y Marques, 2010; Kirby et al., 2011; Nuzzo, McBride, Cormie y McCaulley, 2008). Algunas investigaciones han mostrado que el pico de fuerza alcanzado durante el salto vertical tenía influencia en la altura de salto conseguida (Cormie et al., 2009; González-Badillo y Marques, 2010). Sin embargo, en otros estudios la relación entre la fuerza máxima y la altura máxima de salto fue inexistente (Kirby et al., 2011; Salles, Baltzopoulos y Rittweger, 2011). Otras variables de fuerza, como la fuerza media durante la fase de propulsión, han sido utilizadas para valorar el rendimiento del salto vertical, observándose valores superiores de fuerza media cuando la altura alcanzada en el salto era mayor (Feltner et al., 2004). También, la fuerza en el instante en que comienza la fase de subida del movimiento ha

sido evaluada, mostrando un incremento en el trabajo durante esta fase, que podría tener como consecuencia una mayor altura en el salto vertical.

El rol del desplazamiento de masas durante el salto vertical también ha sido ampliamente investigado en los últimos años (Kirby et al., 2011; Salles et al., 2011). Un incremento en el desplazamiento del centro de masas durante la ejecución del salto vertical podría incrementar el impulso neto durante la fase de propulsión y, por tanto, incrementar la velocidad de despegue (Alexander, 1995; Bobbert, Casius, Sijpkens y Jaspers, 2008; Samozino, Morin, Hintzy y Belli, 2010). Se ha demostrado que los deportistas entrenados tenían un mayor desplazamiento del centro de masas durante la fase de subida del movimiento, consiguiendo mayores alturas en el salto vertical que aquellos que no estaban entrenados (Ugrinowitsch, Tricoli, Rodacki, Batista y Ricard, 2007). Debido al conocimiento que existe referente a la influencia del desplazamiento del centro de masas, los entrenadores e investigadores controlan el ángulo de flexión de rodilla durante los test de SJ y CMJ (Hébert-Losier, Jensen y Holmberg, 2014; Lloyd, Oliver, Hughes y Williams, 2011). A pesar de ello, podrían existir diferencias en el desplazamiento del centro de masas por la influencia de otros segmentos, como por ejemplo, el tronco (Kopper, Ureczky y Tihanyi, 2012). Por este motivo, determinar si existen diferencias en el desplazamiento del centro de masas entre el SJ y el CMJ es de vital importancia para ayudar a comprender las posibles diferencias en la altura alcanzada en estos dos saltos.

Cuando los entrenadores y preparadores físicos estiman la función del ciclo estiramiento-acortamiento a través de la diferencia de la altura del salto entre el SJ y el CMJ, diferentes parámetros relacionados con la aplicación de fuerza y el desplazamiento del centro de masas pueden influir en el resultado (Bobbert et al., 2008). Bajo nuestro conocimiento, no hay trabajos que hayan evaluado el desplazamiento del centro de masas en el SJ y el CMJ, dado que el criterio de 90° de flexión de rodilla se entiende que asegura un mismo desplazamiento del centro de masas en ambos tipos de salto. Sin embargo, el posible efecto de otros segmentos corporales podría modificar el recorrido llevado a cabo por el centro de masas durante el salto vertical (Kopper et al., 2012). Un análisis del SJ y el CMJ contemplando variables de fuerza y desplazamiento podría ser de utilidad para entrenadores e investigadores a la hora de avanzar en la comprensión de las diferencias entre ambos saltos. Por este motivo, el objetivo de la presente investigación fue determinar la influencia de las variables relacionadas con la aplicación de fuerza y el desplazamiento del centro de masas en las diferencias en la altura saltada entre el SJ y el CMJ.

MATERIAL Y MÉTODO

PARTICIPANTES

Veintiséis jugadores de deportes colectivos a nivel recreacional participaron en esta investigación (edad: 20.62 ± 3.46 años, altura: 1.79 ± 0.06 m y peso: 74.60 ± 6.14 kg). Al menos en los 6 meses previos a la investigación, ninguno de los participantes presentaba lesión musculoesquelética. La presente

investigación contó con la aprobación del Comité de Ética de Investigación de la Universidad y todos los participantes firmaron el consentimiento informado antes de la participación en el estudio. Todos los datos recogidos durante el presente estudio fueron anonimizados y guardados en bases de datos seguras y siguiendo la ley de protección de datos.

PROCEDIMIENTO

Los participantes tuvieron que realizar saltos sin contramovimiento y con contramovimiento sobre una plataforma de fuerzas (Quattro Jump, Kistler Instrument AG, Winterthur, Switzerland), registrando a una frecuencia de 500 Hz. Antes del test, todos los participantes realizaron un calentamiento de 10 minutos que consistía en: 2 minutos de carrera a baja intensidad, estiramientos dinámico y una serie de 6 saltos submáximos (Vetter, 2007). No se realizó una sesión previa de familiarización debido a que todos los participantes eran físicamente activos y en sus entrenamientos realizaban actividad que incluían tanto SJ como CMJ. Por este motivo los 6 saltos del calentamiento, realizados sobre la plataforma de fuerzas, fueron suficientes para asegurar la correcta ejecución durante el test. Tras el calentamiento, los participantes realizaron 3 SJ y 3 CMJ de forma aleatorizada. Las instrucciones a los participantes fueron estandarizadas y se resaltó la importancia de saltar lo más alto posible. Los participantes mantuvieron los brazos en jarra, con las manos en la cadera, desde el inicio del movimiento hasta la caída. También, se controló que los pies se mantuvieran en el suelo durante todo el contramovimiento. Para el test del SJ, los participantes flexionaban sus rodillas lentamente hasta alcanzar una posición de 90°. En esta posición tenían que mantenerse durante 2 segundos antes de la realización del salto y evitando que existiera contramovimiento alguno. Para el CMJ, los participantes comenzaban de pie, realizaban un contramovimiento en el que alcanzaban una flexión de rodilla de 90° e inmediatamente realizaban la fase de propulsión tratando de alcanzar la mayor altura posible (Hébert-Losier et al., 2014; Lloyd et al., 2011). Todos los saltos fueron controlados por dos investigadores. Cuando alguna de las indicaciones no eran realizadas de forma correcta, el salto era repetido. Un total de 3 saltos exitosos de cada tipo fueron registrados, dando un tiempo de descanso entre salto y salto de 2 minutos.

ANÁLISIS

El salto con el que se consiguió mayor altura de cada tipo fue seleccionado para realizar el análisis. El software de la plataforma de fuerzas (QuattroJump, Type 2822A1-1, Version 1.0.9.2) fue utilizado para obtener los valores de fuerza. La máxima altura del salto fue calculado a través del método del impulso (Linthorne, 2001). El impulso neto fue obtenido integrando la fuerza neta vertical con respecto al tiempo desde 2 segundos antes del primer movimiento del participante (Street, McMillan, Board, Rasmussen y Heneghan, 2001), utilizando el método trapezoidal (Kibele, 1998). La velocidad del centro de masas fue calculada dividiendo el impulso neto entre la masa del participante. El desplazamiento del centro de masas fue obtenido a través de la velocidad del centro de masas. Por último, el trabajo fue calculado con el producto de la fuerza

y el desplazamiento del centro de masas durante la fase de propulsión (Street et al., 2001). Para poder excluir la influencia del peso en los resultados, todas las variables de fuerza fueron normalizadas al peso corporal (BW).

Varias variables de rendimiento fueron determinadas durante la fase de propulsión del salto vertical, que fue definida desde el instante de velocidad cero del centro de masas hasta el instante de despegue. El instante de despegue fue definido como la primera intersección de las fuerzas de reacción verticales con un umbral. Este umbral fue establecido como la máxima diferencia entre el valor registrado y el valor promedio de los registros obtenidos durante la fase de vuelo (Street et al., 2001).

La máxima altura, la altura de vuelo, la altura de despegue y la profundidad del movimiento fueron identificadas a través de los datos de desplazamiento del centro de masas (Figura 1). El desplazamiento del centro de masas durante la fase de propulsión fue calculado desde el instante de inicio de la fase de subida hasta el instante de despegue. El pico de fuerza fue el valor de fuerza más alto alcanzado durante la fase de propulsión del movimiento. La fuerza media fue calculada durante la fase de propulsión del salto. La fuerza al inicio de la fase de propulsión fue el valor de fuerza encontrado en el instante en el que el participante se encontraba en el punto más bajo del contramovimiento.

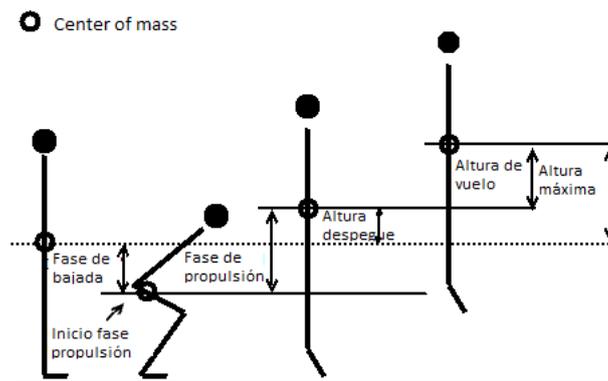


Figura 1. Variables del desplazamiento del centro de masas

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico fue realizado con el software SPSS 18.0. Se calculó la media y desviación estándar de todos los participantes en cada una de las variables analizadas. Se verificó la normalidad de los datos a través del test de Shapiro-Wilk. Cuando los datos seguían una distribución normal, una prueba T para muestras relacionadas era utilizada para conocer las diferencias en las variables entre el SJ y el CMJ. Cuando los datos no seguían una distribución normal, el test no paramétrico de Wilcoxon era utilizado. El valor de significación fue fijado a: $P < 0,05$. La magnitud de las diferencias entre las distintas variables de los saltos fue calculada a través del tamaño del efecto de Cohen's d_z . El criterio para interpretar la magnitud del cambio fue el siguiente: trivial = 0,00 – 0,19, pequeño = 0,20 – 0,59, moderado = 0,60 – 1,20 y largo $> 1,20$ (Hopkins, Marshall, Batterham y Hanin, 2009).

Una regresión múltiple hacia atrás fue utilizada para determinar que parámetros predecían de forma significativa las diferencias entre el SJ y el CMJ. Las variables independientes fueron: la diferencia en el desplazamiento del centro de masas entre el SJ y el CMJ, la diferencia en el pico de fuerza entre el SJ y el CMJ y la diferencia en la fuerza media durante la fase de propulsión en ambos saltos. La variable dependiente fue la diferencia en la altura de salto alcanzada entre el SJ y el CMJ. Por último, los coeficientes beta estandarizados fueron utilizados como estimador de la influencia de cada una de las variables independientes sobre la variables dependiente.

RESULTADOS

Las medias y desviaciones estándar (media \pm SD) para cada variable durante el SJ y el CMJ se presentan en la Tabla 1. Los resultados mostraron que el rendimiento en la altura saltada fue un 15% superior en el CMJ con respecto al SJ y que tuvo un tamaño del efecto moderado. No se encontraron diferencias en la altura de despegue entre ambos tipos de saltos, pero si se encontraron diferencias estadísticamente significativas y con un tamaño del efecto largo entre la altura de vuelo, siendo mayor en el CMJ. Se encontraron diferencias en las variables relacionadas con el desplazamiento del centro de masas entre los dos saltos medidos. Los resultados mostraron que la profundidad que tenía el centro de masas en el CMJ era superior a la que se alcanzaba en el SJ, siendo mayor la distancia recorrida por el centro de masas durante la fase de propulsión del movimiento. En las variables de aplicación de fuerza, se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la fuerza media, siendo mayor para el CMJ en comparación el SJ y mostrando un tamaño del efecto pequeño. Sin embargo, no se encontraron diferencias en el pico de fuerza alcanzado entre los dos tipos de salto.

Tabla 1. Resultados (media \pm SD) de las variables fase propulsiva.

Variables	SJ	CMJ	Tamaño de efecto
h_{max} (m)	0,41 \pm 0,07	0,47 \pm 0,06*	0,85
H_{vuelo} (m)	0,28 \pm 0,05	0,33 \pm 0,05*	1,29
$H_{despegue}$ (m)	0,13 \pm 0,04	0,14 \pm 0,03	0,12
W (J·kg ⁻¹)	2,93 \pm 0,50	3,41 \pm 0,55*	1,27
F_{media} (BW)	1,95 \pm 0,21	2,05 \pm 0,15*	0,53
$F_{inicial}$ (BW)	1,00 \pm 0,00	2,44 \pm 0,22*	6,64
F_{max} (BW)	2,52 \pm 0,24	2,52 \pm 0,20	-0,01
$D_{propulsión}$ (m)	0,35 \pm 0,05	0,42 \pm 0,03*	1,55
$D_{profundidad}$ (m)	-0,22 \pm 0,07	-0,28 \pm 0,04*	0,82

Nota: H_{max} = altura máxima, H_{vuelo} = altura de vuelo, $H_{despegue}$ = altura de despegue, W = trabajo, F_{media} = fuerza media, $F_{inicial}$ = fuerza en el instante de inicio de la fase de propulsión, F_{max} = fuerza máxima, $D_{propulsión}$ = desplazamiento del centro de masas durante la fase de propulsión, $D_{profundidad}$ = posición del centro de masas en el instante de inicio de la fase de propulsión.

* $P < 0,05$.

Los resultados del análisis de regresión múltiple mostraron una relación fuerte entre la diferencia en la altura de vuelo entre el SJ y el CMJ y las diferencias entre el desplazamiento del centro de masas y la fuerza media entre ambos tipos de salto (Tabla 2). Las diferencias en la altura de vuelo mostraron estar asociadas a una mayor distancia de propulsión ($P < 0,001$) y una mayor fuerza media ($P < 0,001$) en el CMJ. Estas dos variables explican un 75% de la varianza (Figura 2). De estas dos variables, la diferencia en el desplazamiento del centro de masas durante la fase de subida del salto, entre el CMJ y el SJ, tuvo una mayor influencia que la fuerza media (un 30% menor) a la hora de explicar las diferencias en la altura de vuelo entre los dos tipos de salto.

Tabla 2. Regresión múltiple para predecir la influencia de las variables de desplazamiento y aplicación de fuerza sobre los cambios en la altura de vuelo entre el SJ y el CMJ.

Variables independientes	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes Beta estandarizados	Valor-t
	B	Error estándar		
$R^2 = 0,745$, $F = 33,96^*$				
(Constant)	-0,019	0,009		-2,083
$\Delta D_{propulsión}$	0,795	0,103	0,901	7,750*
ΔF_{media}	0,146	0,024	0,702	5,943*

$\Delta D_{propulsión}$: diferencias entre el desplazamiento durante la fase de propulsión entre el SJ y el CMJ.
 ΔF_{media} : diferencias en la fuerza media entre el SJ y el CMJ. *indica $P < 0,01$

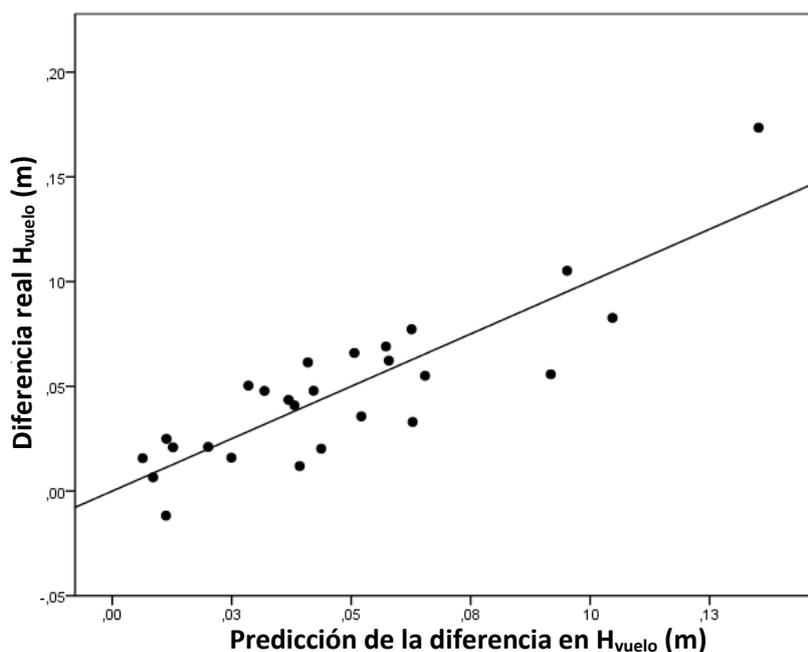


Figura 2. Diagrama de dispersión de la relación entre la diferencia real y la esperada entre el SJ y el CMJ en la altura de vuelo (H_{vuelo}).

DISCUSIÓN

El objetivo de esta investigación fue determinar la influencia de las variables relacionadas con la aplicación de fuerza y con el desplazamiento del centro de masas en los cambios que se producen en la altura de salto entre el SJ y el CMJ. El incremento en la altura de vuelo entre el SJ y el CMJ quedó explicado en un 75% por las diferencias entre el recorrido realizado por el centro de masas y las diferencias en la fuerza media durante la fase de propulsión del movimiento. Debido a que la altura de despegue no mostró diferencias entre los dos saltos realizados, las diferencias en el desplazamiento del centro de masas durante la fase de propulsión tuvieron que ser debidas a la mayor profundidad alcanzada durante el CMJ. Estos resultados están en consonancia con previas investigaciones en las que se encontró que el rendimiento del salto vertical se veía incrementado cuando se producía un mayor desplazamiento en el centro de masas durante la fase de propulsión (Kirby et al., 2011; Salles et al., 2011). En el presente trabajo, las diferencias en el desplazamiento del centro de masas fueron menores que en estos estudios previos, algo de esperar, ya que a la hora de evaluar la función del ciclo estiramiento-acortamiento, se pretende que no existan diferencias controlando el ángulo de flexión de rodilla. Sin embargo, a pesar de la pequeña diferencia en la profundidad del movimiento acontecida entre el SJ y el CMJ, el efecto producido fue el mayor determinante a la hora de explicar la diferencia entre los dos saltos. Por este motivo, podemos observar como no es necesario generar grandes cambios en el desplazamiento del centro de masas para modificar el rendimiento del salto vertical (Sánchez-Sixto, Harrison y Floría, 2016). Investigaciones previas encontraron una relación estadísticamente significativa entre la altura de salto y el recorrido realizado por

el centro de masas (Barker, Harry, & Mercer, 2017). Ello sugiere la necesidad de controlar el desplazamiento del centro de masas, a la hora de evaluar la efectividad del ciclo estiramiento-acortamiento a través de la diferencia saltada entre el SJ y el CMJ. Entrenadores, preparadores físico y previas investigaciones, han utilizado, al igual que en la presente investigación, el criterio estandarizado de 90° de flexión de rodilla en el SJ y en el CMJ (Hébert-Losier et al., 2014; Lloyd et al., 2011). Sin embargo, tras lo analizado en el presente trabajo, este criterio es insuficiente para garantizar que el desplazamiento del centro de masas no afecta a las diferencias encontradas entre los dos saltos analizados. Una posible explicación es la relevancia que tienen otros segmentos, de una mayor masa, como el tronco, en el desplazamiento del centro de masas durante el salto vertical (Kopper et al., 2012). Por estos motivos, parece necesario buscar nuevos métodos y protocolos que aseguren la reproducibilidad de evaluar la efectividad del ciclo estiramiento-acortamiento a través de la diferencia entre el SJ y el CMJ.

La fuerza media durante la fase de propulsión del movimiento mostró diferencias significativas entre el SJ y el CMJ, siendo la única variable de aplicación de fuerza que mostró diferencias entre los dos tipos de salto. En investigaciones previas, no mostró ser un buen predictor de la altura de salto (Barker et al., 2017). No obstante, las condiciones de la presente investigación fueron distintas, ya que el rango de movimiento en la investigación previa, fue muy inferior y, se ha comprobado previamente, que el rango de movimiento influencia este parámetro (Kirby et al., 2011; Salles et al., 2011). Por otro lado, otras investigaciones han mostrado a la fuerza media como un factor determinante en el rendimiento del salto vertical (Feltner et al., 2004). Debido a que el valor medio de la fuerza es el resultado de un mayor número de puntos a lo largo del salto vertical, la utilización de esta variable podría dar una información más completa y representativa que otras variables instantáneas. El pico de fuerza es la variable que más se ha medido en el salto vertical (Cormie et al., 2009; Kirby et al., 2011; Nuzzo et al., 2008; Salles et al., 2011). Los datos del pico de fuerza en la presente investigación, no mostraron diferencias entre el SJ y el CMJ, a pesar de que el rendimiento en el segundo fue superior. Estos resultados están en la línea de previas investigaciones en las que no se encontró relación entre el pico de fuerza y el rendimiento en el salto vertical (Kirby et al., 2011; Nuzzo et al., 2008). Un posible explicación es la relación que parece tener el desplazamiento del centro de masas con el pico de fuerza, donde se han observado que cuando se incrementa la profundidad del movimiento disminuyen los valores del pico de fuerza (Kirby et al., 2011; Markovic, Mirkov, Knezevic y Jaric, 2013; Salles et al., 2011). Por este motivo, el pico de fuerza no parece una variable que determine el salto vertical cuando el desplazamiento del centro de masas no es el mismo, como ocurrió en la presente investigación al comparar el SJ y el CMJ. La fuerza conseguida en el instante de inicio de la fase de subida del movimiento mostró diferencias entre ambos saltos como es de esperar al comparar estos dos saltos. La fuerza en el SJ, debe ser proporcional a su peso, de lo contrario habría existido un contramovimiento previo a la acción de subida. Mientras, en el CMJ, debido a la acción, de frenar la velocidad negativa del centro de masas durante el contramovimiento, el valor de fuerza ha de ser superior al

peso corporal. La fuerza en el instante de transición excéntrico-concéntrico del movimiento en el salto vertical ha sido descrita como un factor importante a la hora de determinar las diferencias entre el SJ y el CMJ (Bobbert et al., 1996). Una mayor fuerza en la transición podría dar lugar un incremento en el impulso neto generado y traer como consecuencia un aumento de la velocidad de despegue del centro de masas (Kirby et al., 2011). Sin embargo, en la presente investigación, aquellos participantes que comenzaron un valor de fuerza inicial superior, no necesariamente eran aquellos que alcanzaban la mayor altura en el salto. Un estudio reciente mostró similares resultados, al no encontrar relación entre la fuerza inicial y la altura alcanzada en el salto (Barker et al., 2017). Futuros estudios deberían examinar el rol de la fuerza, en el instante de inicio de la fase de propulsión del salto vertical, controlando el desplazamiento del centro de masas; ya que este, podría ser relevante para su compresión en el rendimiento del salto vertical.

CONCLUSIÓN

La presente investigación pone de manifiesto la importancia que tiene el control del desplazamiento del centro de masas a la hora de evaluar la altura alcanzada en el SJ y en el CMJ. El criterio de 90° de flexión de rodilla fue insuficiente para garantizar que el desplazamiento del centro de masas fuera el mismo en los dos tipos de salto. La influencia del recorrido del centro de masas fue la variable que más explicó la diferencia entre la altura entre el SJ y el CMJ. Por este motivo, parece fundamental el control de esta variable para evaluar el ciclo estiramiento-acortamiento a través de la diferencia en la altura saltada entre el SJ y el CMJ. Por último, el pico de fuerza y la fuerza al inicio del movimiento de la fase de subida no fueron buenos predictores del rendimiento en los saltos medidos, siendo la fuerza media la variable que más explicó la ganancia en altura del CMJ frente al SJ.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alexander, R. M. (1995). Leg design and jumping technique for humans, other vertebrates and insects. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 347, 235-248. doi: <https://doi.org/10.1098/rstb.1995.0024>.
- Barker, L. A., Harry, J. R., & Mercer, J. A. (en prensa). Relationships Between Countermovement Jump Ground Reaction Forces and Jump Height, Reactive Strength Index, and Jump Time. *Journal of Strength & Conditioning Research*.
- Bobbert, M. F., Casius, L. R., Sijpkens, I. W., & Jaspers, R. T. (2008). Humans adjust control to initial squat depth in vertical squat jumping. *Journal of Applied Physiology*, 105, 1428-1440. doi: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.90571.2008>.
- Bobbert, M. F., Gerritsen, K. G., Litjens, M. C., & Van Soest, A. J. (1996). Why is countermovement jump height greater than squat jump height? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28, 1402-1412. doi: <https://doi.org/10.1097/00005768-199611000-00009>.

- Castagna, C., & Castellini, E. (2013). Vertical jump performance in Italian male and female national team soccer players. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 27, 1156-1161. doi: <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182610999>.
- Cormie, P., McBride, J. M., & McCaulley, G. O. (2009). Power-time, force-time, and velocity-time curve analysis of the countermovement jump: impact of training. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 23, 177-186. doi: <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181889324>.
- Feltner, M. E., Bishop, E. J., & Perez, C. M. (2004). Segmental and kinetic contributions in vertical jumps performed with and without an arm swing. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 75, 216-230. doi: <https://doi.org/10.1080/02701367.2004.10609155>.
- González-Badillo, J. J., & Marques, M. C. (2010). Relationship between kinematic factors and countermovement jump height in trained track and field athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24, 3443-3447. doi: <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181bac37d>.
- Hébert-Losier, K., Jensen, K., & Holmberg, H. C. (2014). Jumping and hopping in elite and amateur orienteering athletes and correlations to sprinting and running. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9, 993-999. doi: <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0486>.
- Hopkins, W., Marshall, S., Batterham, A., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41, 3. doi: <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818cb278>.
- Kibele, A. (1998). Possibilities and limitations in the biomechanical analysis of countermovement jumps: A methodological study. *Journal of Applied Biomechanics*, 14, 105-117. doi: <https://doi.org/10.1123/jab.14.1.105>.
- Kirby, T. J., McBride, J. M., Haines, T. L., & Dayne, A. M. (2011). Relative net vertical impulse determines jumping performance. *Journal of Applied Biomechanics*, 27, 207-214. doi: <https://doi.org/10.1123/jab.27.3.207>.
- Kopper, B., Ureczky, D., & Tihanyi, J. (2012). Trunk position influences joint activation pattern and physical performance during vertical jumping. *Acta Physiologica Hungarica*, 99, 194-205. doi: <https://doi.org/10.1556/APhysiol.99.2012.2.13>.
- Linthorne, N. P. (2001). Analysis of standing vertical jumps using a force platform. *American Journal of Physics*, 69, 1198-1204. doi: <https://doi.org/10.1119/1.1397460>.
- Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Hughes, M. G., & Williams, C. A. (2011). The influence of chronological age on periods of accelerated adaptation of stretch-shortening cycle performance in pre and postpubescent boys. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25, 1889-1897. doi: <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e7faa8>.
- Markovic, S., Mirkov, D. M., Knezevic, O. M., & Jaric, S. (2013). Jump training with different loads: effects on jumping performance and power output. *European Journal of Applied Physiology*, 113, 2511-2521. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00421-013-2688-6>.
- Nuzzo, J. L., McBride, J. M., Cormie, P., & McCaulley, G. O. (2008). Relationship between countermovement jump performance and multijoint isometric and

dynamic tests of strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22, 699-707. doi: <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31816d5eda>.

Salles, A. S., Baltzopoulos, V., & Rittweger, J. (2011). Differential effects of countermovement magnitude and volitional effort on vertical jumping. *European Journal of Applied Physiology*, 111, 441-448. doi: <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1665-6>

Samozino, P., Morin, J.-B., Hintzy, F., & Belli, A. (2010). Jumping ability: a theoretical integrative approach. *Journal of Theoretical Biology*, 264, 11-18. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2010.01.021>.

Sánchez-Sixto, A., Harrison, A., & Floría, P. (2016). Simple instructions on the crouch position improve performance in the countermovement jump. *34 International Conference on Biomechanics in Sports*, 949-952.

Street, G., McMillan, S., Board, W., Rasmussen, M., & Heneghan, J. M. (2001). Sources of error in determining countermovement jump height with the impulse method. *Journal of Applied Biomechanics*, 17, 43-54. doi: <https://doi.org/10.1123/jab.17.1.43>.

Ugrinowitsch, C., Tricoli, V., Rodacki, A. L., Batista, M., & Ricard, M. D. (2007). Influence of training background on jumping height. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21, 848-852.

Vetter, R. E. (2007). Effects of six warm-up protocols on sprint and jump performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21, 819-823.

Yang, W. W., Chou, L. W., Chen, W. H., Shiang, T. Y., & Liu, C. (en prensa). Dual-frequency whole body vibration enhances vertical jumping and change-of-direction ability in rugby players. *Journal of Sport and Health Science*.

Número de citas totales / Total references: 24 (100%)

Número de citas propias de la revista / Journal's own references: 0 (0%)