

Article

Análisis Cinético del Rol de la Inercia Segmentaria de las Extremidades Superiores en el Rendimiento del Salto Vertical

Samantha J. Williams, Trista R. Barron, Alyssa J. Ciepley y William P. Ebben

Laboratorio de Investigación de la Universidad de Lakeland/Programa en Ciencias del Ejercicio/Universidad de Lakeland, Plymouth, WI, EEUU

RESUMEN

Williams SJ, Barron TR, Ciepley AJ, Ebben WP. Análisis Cinético del Rol de la Inercia Segmentaria de las Extremidades Superiores en el Rendimiento del Salto Vertical. **JEPonline**2017;20(2):28-34. Este estudio evaluó la contribución del swing energético de brazos durante la fase excéntrica y concéntrica del countermovement jump (CMJ), con el fin de determinar el efecto sobre el rendimiento del mismo. Catorce mujeres realizaron tres ejercicios de prueba, incluyendo el CMJ sin extensión de hombro durante la fase excéntrica, el CMJ sin flexión de hombro durante la fase concéntrica y el CMJ normal incluyendo flexión y extensión máximas de hombro. La altura del salto (AS), la potencia (P) y la fuerza de reacción del suelo (FRS) se evaluaron utilizando una plataforma de fuerza. Se utilizó una ANOVA de medidas repetidas para evaluar las diferencias entre los ejercicios de prueba para la AS, la P y la FRS. Se realizó un análisis post hoc de Bonferroni para identificar diferencias específicas entre los ejercicios de prueba. El análisis demostró diferencias significativas entre las condiciones de prueba para la AS ($P < 0,001$) y la P ($P < 0,001$), pero no para la FRS ($P > 0,05$). Este estudio demostró diferencias significativas entre las condiciones de salto que maximizaron el swing de brazos. Las condiciones que omitieron el swing de brazos hacia arriba y hacia abajo dieron como resultado alturas de salto de 12.1% y 3.51% menos que el CMJ normal, respectivamente. Por lo tanto, el swing de brazos es importante tanto para la fase excéntrica como la concéntrica del salto.

Palabras Clave: Swing de Brazos, Fuerza, Fuerza de Reacción del Suelo, Potencia

INTRODUCCIÓN

La inercia segmentaria y la sobrecarga excéntrica mejoran el rendimiento del salto (11). Estos mecanismos se crean mediante el uso de la extensión y la flexión de hombro durante el countermovement jump (CMJ) (15). Durante el CMJ, el contra-movimiento potencia todos los componentes elásticos del complejo del tendón del músculo, lo que tiene un efecto favorable en el ciclo de acortamiento-estiramiento, resultando en un aumento de la producción de trabajo. Como resultado, la altura del salto y el aumento de la potencia (16,20).

La alteración de la posición y distribución de la masa corporal durante un swing de brazos es la manera más eficiente de proporcionar una carga óptima de las extremidades inferiores, lo que da como resultado un rendimiento máximo del salto

vertical (12). Las fuerzas musculares asociadas con el swing de brazos hacia abajo incrementan la carga excéntrica y aumentan la energía cinética del cuerpo inferior, lo que aumenta la altura del salto (9,10,14,19).

La fuerza muscular producida durante el swing ascendente de brazos crea una energía vertical que se puede intercambiar a lo largo de la cadena cinética, aumentar las velocidades verticales y elevar el centro de la masa y, por lo tanto, mejorar el rendimiento del salto (1,2,3,5,6,13). Los CMJ realizados con un swing enérgico de brazos hacia arriba dieron como resultado un momento de inercia más alto (16). La flexión del hombro en el despegue probablemente incrementa las capacidades musculares que se pueden usar durante el salto (15). Por ejemplo, la energía cinética que se desarrolla por el swing hacia abajo de brazos se transfiere a través de la flexión de hombro y tira del resto del cuerpo. Este tirón es importante para aumentar la altura del salto (7,14).

Las investigaciones anteriores han demostrado que tanto la fase excéntrica como la concéntrica del CMJ están influenciadas por el swing de brazos, produciendo más potencia y mayores alturas de salto (8,13). Sin embargo, ningún estudio previo ha evaluado los componentes separados del swing de brazos y su rol independiente en el aumento de la potencia y la altura del salto. Entender el papel de cada componente del swing de brazos puede ayudar a los practicantes a entrenar a los deportistas para usar de manera óptima el swing de brazos y maximizar el rendimiento del salto. Por lo tanto, el propósito de este estudio fue evaluar la contribución del swing enérgico de brazos durante la fase excéntrica y concéntrica del CMJ con el fin de determinar el efecto en el rendimiento del mismo.

MÉTODOS

Sujetos

En este estudio participaron catorce sujetos femeninos (edad = $20,5 \pm 1,2$ años, peso = $71,19 \pm 12,27$ kg, altura = $166,96 \pm 5,73$ cm y experiencia preuniversitaria = $2,67 \pm 1,1$ años). Los sujetos eran estudiantes deportistas de la División III de la NCAA que participaron en voley, fútbol o básquet. Todos los sujetos dieron su consentimiento informado y completaron un Cuestionario de Preparación para Actividad Física (PAR-Q). Este estudio fue aprobado por la Junta de Revisión Institucional. Los investigadores evaluaron la historia de los sujetos en la participación deportiva. Los sujetos estaban libres de patologías ortopédicas, cardíacas y pulmonares que inhibirían la participación plena en sus actividades deportivas formales e informales. Todos los sujetos cumplieron con el protocolo de autorización de la política de contusión, según lo establecido por la NCAA y el personal de entrenamiento deportivo de la Universidad de Lakeland.

Procedimientos

Todos los ejercicios de prueba y de habituación se realizaron en una plataforma de fuerza de 30 x 40 pulgadas (ACP, Advanced Mechanical Technology, Inc., Watertown, MA, EEUU). La plataforma se conectó a una computadora portátil a partir de la cual los datos fueron analizados utilizando el programa de software propietario (Accupower Software, Advanced Mechanical Technology, Inc., Watertown, MA, EEUU). El análisis de datos incluyó la fuerza de reacción del suelo, la potencia y la altura del salto.

Los sujetos realizaron sesiones de prueba y de habituación. Antes de cada sesión, los sujetos realizaron un calentamiento general y específico. Durante la sesión de habituación, se les enseñaron las tres condiciones del ejercicio de prueba incluyendo: (a) un CMJ normal; (b) un CMJ con swing descendente de brazos; y (c) un CMJ con swing ascendente de brazos. El CMJ normal incluía swings enérgicos de brazos hacia abajo y hacia arriba. Durante el CMJ con swing descendente de brazos, los sujetos utilizaron sólo el swing enérgico de brazos hacia abajo durante la fase excéntrica o la fase de contra-movimiento del salto y luego mantuvieron sus brazos a los costados del cuerpo en la posición anatómicamente correcta en el resto del salto. Por último, durante CMJ con swing ascendente de brazos, los sujetos mantuvieron sus brazos a los costados del cuerpo en la posición anatómicamente correcta durante el contra-movimiento, y luego utilizaron sólo un swing enérgico de brazos hacia arriba durante la fase concéntrica del salto. Después de que los ejercicios fueron enseñados, a los sujetos se les dio tiempo para practicar cada uno de los ejercicios de prueba en la plataforma de fuerza para asegurar la técnica apropiada y familiarizarse con el salto en la plataforma de fuerza.

La sesión de prueba se llevó a cabo de 48 a 96 horas después de la sesión de habituación. Se probaron los tres ejercicios que se enseñaron en la sesión de habituación. El orden de los ejercicios fue aleatorizado para reducir la probabilidad de efectos de fatiga o potenciación relacionados con el orden de ejercicio. Se realizaron tres repeticiones para cada ejercicio de prueba con 20 segundos de descanso entre cada repetición. Se ha demostrado que esta cantidad de descanso permite una recuperación suficiente y, por lo tanto, el esfuerzo máximo para cada ejercicio realizado (17).

Análisis Estadísticos

Se evaluó el rendimiento de salto del sujeto para todas las condiciones de salto usando datos cinéticos obtenidos de la plataforma de fuerza. La fuerza de reacción del suelo (FRS) se tomó como la mayor fuerza registrada en el registro de tiempo de fuerza para la fase de despegue de cada salto. La potencia (P) y la altura de salto (AS) se determinaron a partir del resumen del registro de tiempo de fuerza obtenido del software.

Se utilizó un análisis mixto de varianza bidireccional con medidas repetidas para evaluar la diferencia entre los ejercicios de prueba para la AS, la P y la FRS. Cuando se encontraron diferencias significativas, se realizó un análisis post hoc de Bonferroni con el fin de identificar diferencias específicas entre los ejercicios de prueba. La fiabilidad de ensayo a ensayo de cada variable dependiente se determinó utilizando coeficientes de correlación intraclase de medidas promedio. Un nivel a priori alfa de $P \leq 0,05$ se utilizó para la significación estadística.

RESULTADOS

El análisis demostró diferencias significativas entre las condiciones de prueba para la AS ($P < 0,001$) y la P ($P < 0,001$), pero no para la FRS ($P > 0,05$). Los resultados se muestran en la Tabla 1. Los coeficientes de correlación intraclase para los ejercicios de prueba y todas las variables dependientes oscilaron entre 0,95 y 0,99.

Tabla 1. Altura de Salto y Potencia (media \pm DE) Para Cada Ejercicio de Prueba.

Ejercicio de Prueba	Altura de Salto (cm)	Potencia (W)
CMJ	35.05 \pm 10.03 ^a	4203.86 \pm 1271.49 ^a
CMJ con flexión de hombro solamente	33.82 \pm 9.18 ^a	4055.71 \pm 1202.61 ^a
CMJ con extensión de hombro solamente	30.13 \pm 8.98 ^a	3622.43 \pm 1100.10 ^a

^aSignificativamente diferente a todos los otros ejercicios de prueba ($P < 0,05$)

DISCUSIÓN

Este es el primer estudio para evaluar los componentes separados del swing de brazos durante el CMJ. Este estudio comparó los movimientos hacia abajo y hacia arriba del swing de brazos y su rol en el rendimiento del salto. Estos movimientos balísticos pueden influir en la inercia segmentaria y en la carga excéntrica. Estos factores, en conjunto, pueden mejorar el rendimiento del salto.

El hallazgo más significativo del estudio actual mostró que la condición que incluía sólo el swing de brazos hacia abajo durante el CMJ dio lugar a alturas de salto que son 12,1% menores que el CMJ normal. La ausencia del swing de brazos hacia arriba produce condiciones de salto sub-óptimas. Investigaciones anteriores han demostrado que durante el swing ascendente de brazos, la fuerza muscular en el hombro durante la flexión máxima de hombro crea una energía vertical que se transmite a través de la cadena cinética (2,3,13). La energía transmitida se almacena en el swing de brazos hacia arriba, que tira el cuerpo hacia arriba resultando en las alturas de salto más altas (14). La flexión de hombro transmite la inercia entre los segmentos del cuerpo durante el salto, produciendo alturas de salto más altas (7,16). Este estudio encontró que el uso de máxima flexión de hombro produjo saltos más altos con más potencia en comparación con los CMJs sin flexión de hombro. Estos resultados sugieren que el mayor contribuyente a la altura de salto es la transmisión ascendente de la inercia segmentaria a través de la cadena cinética.

La condición que utiliza sólo swing de brazos hacia arriba durante el CMJ resultó en alturas de salto que son 3,51% menores que el CMJ normal. El swing de brazos hacia arriba durante el CMJ resultó en alturas de salto y potencia significativamente más altas que el swing de brazos descendente durante el CMJ. No hay estudios previos que demuestren el efecto del swing de brazos hacia abajo durante el CMJ y su rol en la carga excéntrica. Estudios anteriores han demostrado que el swing de brazos hacia abajo crea una inercia segmentaria que se transmite a la parte inferior del cuerpo creando una sobrecarga (9-11,19). La carga excéntrica de la parte inferior del cuerpo se establece por el aumento

de la energía cinética producida durante el swing de brazos hacia abajo, lo que crea más potencia (14). Se ha encontrado en investigaciones previas que la carga excéntrica a través de fuentes externas altera la carga de la parte inferior del cuerpo para mejorar la potencia pico y la altura de salto para los CMJs (12). El presente estudio proporcionó evidencia de que el swing de brazos hacia abajo fue la fuente externa que proporcionó una carga óptima de las extremidades inferiores para producir el máximo rendimiento del salto.

El estudio actual mostró que el uso de ambos swings de brazos, hacia arriba y hacia abajo produjo mayores alturas de salto que cada condición de swing de brazos independientemente. Este hallazgo es consistente con investigaciones que encontraron que las alturas de salto son mayores cuando se usa un swing de brazos, especialmente cuando se compara con una condición sin swing de brazos (1,2,5,6,13,18,20). Los swings completos de brazos crean más potencia, y por lo tanto más energía cinética para ser transmitida a través del cuerpo resultando en saltos más altos (15). Investigaciones anteriores encontraron que los CMJs realizados con un swing de brazos tenían velocidades verticales más grandes y elevaban el centro de masa en comparación con saltos sin un swing de brazos (1,5,6,13). Investigaciones han encontrado que la potencia y la altura del salto están relacionadas ya que los sujetos que producen más potencia típicamente producen una altura de salto más alta (4). Otros estudios encontraron que los componentes del swing de brazos tienen roles diferentes pero ambos contribuyen a la altura del salto (8). El estudio actual demuestra que los CMJs, al usar un swing de brazos completo, crearon más potencia durante el salto que los ejercicios de prueba que excluyeron la parte hacia arriba o hacia abajo del swing de brazos. Las velocidades verticales más grandes y los centros más altos de masa encontrados cuando se usa un swing de brazos podrían producir el aumento de potencia y altura de salto hallados en el estudio actual.

El estudio actual encontró que, así como la potencia aumentó, la altura del salto también. Por lo tanto, los componentes del swing de brazos contribuyeron de forma diferente a la altura y a la potencia del salto, con la extensión de hombro que mejora probablemente la carga excéntrica y la flexión de hombro que aumenta la inercia segmentaria. La flexión de hombro ofreció una mayor contribución al rendimiento del salto, pero la extensión del hombro también es importante para producir el máximo rendimiento del salto. Estos resultados proporcionan evidencia de que el rendimiento de salto óptimo es el resultado de un swing de brazos completo y enérgico. Una mayor heterogeneidad de sujetos mejoraría la capacidad de generalización de los resultados de este estudio. Estudios futuros podrían incluir a sujetos masculinos y evaluar las diferencias de género.

CONCLUSIONES

Mediante el examen de los componentes del swing de brazos por separado, el estudio actual proporciona evidencia de que el swing de brazos es importante tanto para la fase excéntrica como la concéntrica del salto. Durante el entrenamiento y el rendimiento del salto en el deporte, los practicantes deben enseñar a los deportistas a acelerar al máximo sus brazos en la extensión de hombro durante la fase de contra-movimiento del CMJ. Los deportistas también deben ser instruidos para utilizar todo el rango de movimiento de la flexión balística de hombro durante la fase concéntrica del CMJ. Al hacerlo, los deportistas serán capaces de maximizar la potencia y la altura del salto.

AGRADECIMIENTOS

Quisiéramos agradecer a todos los sujetos que participaron en el estudio. Este estudio fue financiado por el Programa de Experiencia en Investigación de Lakeland (LURE).

Dirección de correo: William P. Ebben, PhD, MSSW, FNCSA, CSCS*D, USAW. W3718 South Drive, Lakeland University, Plymouth, WI, USA, 53082, Email: ebbenw@lakeland.edu

REFERENCIAS

1. Cheng K, Wang C, Chen H, Wu C, Chiu H. (2008). The mechanisms that enable arm motion to enhance vertical jump performance: A simulation study. *J Biomech.* 2008;41(9): 1847-1855.
2. Chiu L, Bryanton M, Moolyk A. (2014). Proximal-to-distal sequencing in vertical jumping with and without arm swing. *J Strength*

Cond Res. 2014;28(5):1195-1203.

3. Domire Z, Challis J. (2010). An induced energy analysis to determine the mechanism for performance enhancement as a result of arm swing during jumping. *Sports Biomech.* 2010;9(1):38-47.
4. Ebben W, Fauth M, Garceau L, Petushek E. (2011). Kinetic quantification of plyometric exercise intensity. *J Strength Cond Res.* 2011;25(12):3288-3298.
5. Feltner M, Bishop E, Perez C. (2004). Segmental and kinetic contributions in vertical jumps performed with and without an arm swing. *Res Q Exerc Sport.* 2004;75(3):216-230.
6. Feltner M, Frascetti D, Crisp R. (1999). Upper extremity augmentation of lower extremity kinetics during countermovement vertical jumps. *J Sports Sci.* 1999;17(6):449-467.
7. Floria P, Harrison A. (2013). The effect of arm action on the vertical jump performance in children and adult females. *J Appl Biomech.* 2013;29(6):655-662.
8. Gutierrez-Davilla M, Amaro F, Garrido J, Rojas F. (2014). An analysis of two styles of arm action in the vertical countermovement jump. *Sports Biomech.* 2014;13(2):135-144.
9. Hara M, Shibayama A, Takeshita D, Fukashiro S. (2006). The effect of arm swing on lower extremities in vertical jumping. *J Biomech.* 2006;39(13):2503-2512.
10. Hara M, Shibayama A, Takeshita D, Hay D, Fukashiro S. (2008). A comparison of the mechanical effect of arm swing and countermovement on the lower extremities in vertical jumping. *Hum Movt Sci.* 2008;27(4):636-649.
11. Jalal Aboodarda S, Yusof A, Osman N, Thompson M, Mokhtar A. (2013). Enhanced performance with elastic resistance during the eccentric phase of a countermovement jump. *Int J Sports Physiol Perform.* 2013;8(2):181-188.
12. Jaric S, Markovic G. (2013). Body mass maximizes power output in human jumping: A strength-independent optimum loading behavior. *Eur J Appl Phys.* 2013;113(12): 2913-2924.
13. Lees A, Vanrenterghem J, De Clercq D. (2006). The energetics and benefit of an arm swing in submaximal and maximal vertical jump performance. *J Sports Sci.* 2006;24(1):51-57.
14. Lees A, Vanrenterghem J, De Clercq D. (2004). Understanding how an arm swing enhances performance in the vertical jump. *J Biomech.* 2004;37(12):1929-1941.
15. McErlain-Naylor S, King M, Pain G. (2014). Determinants of countermovement jump performance: A kinetic and kinematic analysis. *J Sports Sci.* 2014;32(19):1805-1812.
16. Nagano A, Komura T, Fukashiro S. (2004). Effects of series elasticity of the muscle tendon complex on an explosive activity performance with a counter movement. *J Appl Biomech.* 2004;20:85-94.
17. Read MM, Cisar C. (2001). The influence of varied rest interval length on depth jump performance. *J Strength Cond Res.* 2001;15:276-283.
18. Sakurai Y, Kobayashi M, Yamauchi J. (2011). Effect of the arm swing on the ground reaction force in vertical jump performance. *Adv Exerc Sports Physiol.* 2011;17(2):74.
19. Sheppard J, Newton R, McGuigan M. (2007). The effect of accentuated eccentric load on jump kinetics in high-performance volleyball players. *Int J Sports Sci Coaching.* 2007;2(3):267-274.
20. Vaverka F, Jandacka D, Zahrandnik D, Uchytíl J, Faran R, Supej M, Vodícar J. (2016). Effect of an arm swing on countermovement vertical jump performance in elite volleyball players. *J Hum Kinetics.* 2016;53(1):41-51.