

Máster Universitario en Rendimiento Deportivo y Salud



Trabajo de fin de Máster
Curso Académico: 2022 - 2023

**Medición de la potencia del salto en caída a partir
de las fuerzas de reacción del suelo con una sola
plataforma de fuerza.**

Autor: Luz Del Alba Abreu Ynfante
Tutor: Jose Luis López Elvira

RESUMEN

El estudio se enfoca en la comparación de dos métodos para medir la potencia en el salto vertical de atletas de voleibol utilizando ejercicios pliométricos. Se seleccionaron 19 participantes, todos jugadores de voleibol sin lesiones en los miembros inferiores. Se realizaron saltos desde alturas de 30 cm y 50 cm utilizando dos plataformas de fuerza para medir la potencia. El protocolo incluyó un calentamiento y tres repeticiones por altura con descanso entre ellas. Se calculó la curva de velocidad integrando la fuerza y se obtuvo la potencia mecánica multiplicando la fuerza por la velocidad. Se analizaron los datos de dos formas distintas: considerando las dos plataformas como una sola y teniendo en cuenta solamente la fuerza de la plataforma sobre la que caían los participantes. Las variables de rendimiento fueron la altura del salto y la potencia máxima. Se realizaron pruebas estadísticas para comparar los dos métodos de medición, incluyendo prueba Shapiro-Wilk $p < .001$; sesgo relativo $PM_{\text{Max}} = 39.8 \text{ W}$ [LC 95%: -85.5, 164.2], altura = 0.007 m [LC 95%: -0.007, 0.031]; correlación de Pearson $PM_{\text{Max}} = 0.999$ [LC 95%: -0.998, 0.999], altura = 0.9901 [LC 95%: -0.983, 0.994] y gráficos de Bland-Altman. Dadas las pequeñas diferencias entre los dos métodos, se concluye que es posible utilizar una sola plataforma para medir la potencia del salto utilizando el método propuesto.

Palabras clave: ejercicios pliométricos, salto vertical, potencia muscular, plataforma de fuerza, método de medición.

INTRODUCCIÓN

Los ejercicios pliométricos se han utilizado para programas de investigación y capacitación desde la década de 1960 (Montoro-Bombú et al., 2023).

La pliometría incluye un movimiento rápido y potente que implica un preestiramiento del músculo, activando así el ciclo de estiramiento-acortamiento. Los ejercicios pliométricos implican movimientos repetidos, rápidos, excéntricos y concéntricos (a través de saltos y rebotes o acciones de balanceo y lanzamiento) para aumentar la potencia muscular (Wilk et al., 1993).

Se ha descrito el salto vertical como un movimiento complejo en los seres humanos, que requiere una coordinación motora precisa entre las partes superior e inferior del cuerpo. La capacidad de alcanzar la máxima altura en un salto es un indicador de la potencia muscular de las extremidades inferiores (Rodríguez-Rosell et al., 2017).

Entre los saltos más clásicos se encuentra el “Drop Jump” (**DJ**), donde el atleta se coloca de pie sobre una caja, con las manos en las caderas y el tronco recto, determina la pierna inicial, y luego realiza una caída libre con el fin de provocar una alta fuerza contra el suelo y despegar en el menor tiempo posible con la intención de realizar un salto vertical de máxima altura (Clutch et al., 1983). Durante la caída libre, el sistema neuromuscular se prepara para contrarrestar los efectos de la gravedad, fase en la que la preactivación neuromuscular y los receptores propioceptivos que están integrados en el sistema nervioso central (Taube et al., 2012; Di Giminiani et al., 2020) intervienen para asegurar un aterrizaje efectivo. El atleta entra entonces en contacto con el suelo, donde tiene lugar el ciclo de estiramiento-acortamiento (CEA) (Horita et al., 2003; Turner y Jeffreys, 2010; Pedley et al., 2022).

Investigaciones anteriores han resaltado la relevancia de la biomecánica de la articulación de la rodilla como un factor determinante en el rendimiento del DJ (Horita et al., 2002). En la eficacia del DJ, influyen factores como la capacidad contráctil, el reclutamiento y sincronización de las fibras musculares y la capacidad de almacenamiento energético de los componentes elásticos de la musculatura, además del aporte del reflejo miotático o de estiramiento, lo que permite un mayor reclutamiento

de unidades motoras, generándose así una gran tensión en un corto tiempo (Garrido, 2004)

La potencia, además de sugerirse como un factor determinante para el rendimiento del DJ, está relacionada con cambios en la rigidez vertical después del entrenamiento pliométrico (Rojano et al., 2022). Asimismo, se ha encontrado que la potencia mecánica producida durante la fase ascendente de un DJ se maximiza cuando se produce una rigidez óptima de la pierna en la fase descendente (Pearson y McMahon, 2012). En detalle, el aumento de la potencia mecánica durante los saltos verticales está relacionado con la regulación de la rigidez que se produce durante el contacto con el suelo (Arampatzis et al., 2001). Por lo que en el DJ la amplitud de la fuerza de reacción, al contacto con el suelo, es mayor al aumentar la altura de caída (Bobbert et al., 1987).

Se pueden utilizar plataformas de fuerzas para medir la potencia en el salto. Sin embargo, al dejar caer a una persona desde un cajón, resulta difícil determinar con precisión la altura desde la cual comienza la caída libre. Según Kibele (1999), cuanto mayor sea la altura del cajón, mayor será la discrepancia entre la altura del cajón y la altura real de caída del centro de gravedad (CG). Esto dificulta la predicción de la velocidad a la cual el CG toca la plataforma. Para abordar este problema, se puede recurrir a sistemas de captura del movimiento basados en cámaras para medir el movimiento del CG y, de esta manera, determinar su velocidad al tocar el suelo. Esta velocidad puede ser utilizada para integrar la fuerza registrada por la plataforma. No obstante, esta solución implica el uso de más dispositivos de medición, lo que aumenta la complejidad y el costo. Además, los sistemas de captura del movimiento también pueden presentar errores. Otra alternativa es emplear dos plataformas de fuerzas (Colocando el cajón en una de ellas) o una plataforma más grande, pero esto también implica un mayor costo.

Existe una posibilidad de utilizar una sola plataforma, en nuestro conocimiento aún no explorada en la literatura, que consiste en integrar la fuerza hacia atrás, invirtiendo el tiempo, el **objetivo** de este estudio será comparar los resultados de las medidas en el salto vertical con dos plataformas, y con una sola integrando hacia atrás.

METODOLOGÍA

Participantes

En este estudio, se seleccionó una muestra de N=19 individuos, (12 hombres y 7 mujeres), todos ellos jugadores de voleibol, con edades que oscilaban entre los 22.5 ± 3.0 años, una masa promedio de 70.5 ± 11.0 kg y una altura promedio de 1.78 ± 0.11 m. Ninguno de ellos sufría lesiones ni molestias durante el periodo de intervención y todos ellos firmaron un consentimiento informado el día del estudio.

Los criterios que se siguieron a la hora de seleccionar los participantes fueron los siguientes:

Criterios de inclusión

- Jugador/a de voleibol.
- No tener patología/ lesión en los miembros inferiores durante la realización de las mediciones.

Criterios de exclusión

- Haber sufrido una lesión en el último mes.
- Haber entrenado 3 h antes de cada sesión de medición.

Protocolo

El protocolo usado para este trabajo fue realizado en una única sesión, organizada de la siguiente manera:

Cada participante debía rellenar un consentimiento informado previo a la realización del test, una vez firmado, se determinaba su talla mediante un tallímetro y su peso mediante una báscula integrada en el tallímetro. Una vez se disponía de los datos antropométricos, se inició un calentamiento que consistía en movilidad articular y subidas a cajón a 30 y 50 cm con bajada en DJ a baja-moderada intensidad, mientras se le explicaba la técnica

correcta y se le familiarizaba con el test que iba a realizar posteriormente. Instruimos a los participantes para que no levantaran o bajaran su CM al dar el paso adelante para iniciar la caída.

Se emplearon dispositivos especializados para medir y registrar datos objetivos. Los instrumentos utilizados fueron, dos plataformas de fuerza (Kistler 9287CA) registrando a 1000 Hz, para medir la potencia, sobre una de las plataformas se colocaba el cajón y sobre la otra se realizaba el salto. Los valores se registraban a partir del software de análisis de fuerza Bioware 5.4.8.0.

Una vez finalizado el calentamiento se realizó el test en sus dos alturas. Primero, se realizaron tres DJ con cajón a 30 cm de altura sobre una de las plataformas, el sujeto se coloca de pie sobre el cajón, con las manos en las caderas y el tronco recto, se le realizó una cuenta regresiva de 3-2-1, al finalizar la cuenta el sujeto adelanta una pierna y realiza una caída libre sobre la segunda plataforma, luego de aterrizar contra esta, despegando en el menor tiempo posible realizando un salto vertical de máxima altura cayendo otra vez sobre la plataforma de fuerza. El período de descanso entre las pruebas de salto (repeticiones) fue de 30 s y entre las diferentes alturas de caída fue de aproximadamente 3 min. Segundo, se repitió el mismo protocolo con el cajón de 50 cm.



Figura 1. Ejemplo de realización del protocolo de salto. El cajón se pone sobre una plataforma y se salta sobre la otra.

Análisis de los datos

Se analizaron los datos de dos formas distintas:

- 1- Considerando las dos plataformas como si fuera una sola, sumando todas sus fuerzas verticales (método 2P).
- 2- Teniendo en cuenta solamente la fuerza de la plataforma sobre la que caían los participantes (método 1P).

Se calculó la curva de velocidad integrando la fuerza por el método del trapecio. La potencia mecánica se calculó multiplicando la fuerza por la velocidad (Linthorne, 2001). En el método 1P se realizó el mismo cálculo, pero integrando invirtiendo el tiempo.

Como variables de rendimiento se calculó la altura del salto a partir de la velocidad en el despegue y la potencia máxima.

Análisis estadístico

Se comprobó si la muestra seguía una distribución normal de los datos con la prueba de Shapiro-Wilk. Se estableció el nivel de significación estadística en 0.05. Utilizamos varias pruebas estadísticas para comparar los dos métodos de medición, aparte de la prueba T de medidas relacionadas: sesgo relativo para medir la precisión; correlación de Pearson (con su intervalo de confianza del 95%) para probar la asociación entre las mediciones; y gráficos de Bland-Altman (Bland & Altman, 1986) para establecer el acuerdo entre las mediciones. El software utilizado para el manejo de todos los datos obtenidos en las pruebas de salto ha sido el paquete de software JASP (versión 0.17.3.0).

REFERENCIAS

- Arampatzis, A., Schade, F., Walsh, M., & Brüggemann, G. P. (2001). Influence of leg stiffness and its effect on myodynamic jumping performance. *Journal of electromyography and kinesiology : official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 11(5), 355–364. [https://doi.org/10.1016/s1050-6411\(01\)00009-8](https://doi.org/10.1016/s1050-6411(01)00009-8)
- Bland, J. M., & Altman, D. G. (2010). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *International Journal of Nursing Studies*.
- Bobbert, M. F., Huijing, P. A., & van Ingen Schenau, G. J. (1987). Drop jumping. I. The influence of jumping technique on the biomechanics of jumping. *Medicine and science in sports and exercise*, 19(4), 332–338.
- Clutch D., Wilton M., Mcgown C., Bryce G. R. (1983). El efecto de los saltos de profundidad y el entrenamiento con pesas en la fuerza de las piernas y el salto vertical. *Res. Q. Exerc. Deporte* 54 (1), 5–10. 10.1080/02701367.1983.10605265
- Di Giminiani, R., Giovannelli, A., Capuano, L., Izzicupo, P., Di Blasio, A., & Masedu, F. (2020). Neuromuscular Strategies in Stretch-Shortening Exercises with Increasing Drop Heights: The Role of Muscle Coactivation in Leg Stiffness and Power Propulsion. *International journal of environmental research and public health*, 17(22), 8647. <https://doi.org/10.3390/ijerph17228647>
- Garrido R., González, L. (2004). Test de Bosco. Evaluación de la potencia anaeróbica de 765 deportistas de alto nivel. *Revista digital de Educación Física y Deporte*. <http://www.efdeportes.com/efd78/bosco.htm>
- Horita, T., Komi, P. V., Härmäläinen, I., & Avela, J. (2003). Exhausting stretch-shortening cycle (SSC) exercise causes greater impairment in SSC performance than in pure concentric performance. *European journal of applied physiology*, 88(6), 527–534. <https://doi.org/10.1007/s00421-002-0716-z>

- Horita, T., Komi, P. V., Nicol, C., & Kyröläinen, H. (2002). Interaction between pre-landing activities and stiffness regulation of the knee joint musculoskeletal system in the drop jump: implications to performance. *European journal of applied physiology*, 88(1-2), 76–84. <https://doi.org/10.1007/s00421-002-0673-6>
- Kibele A. (1999). Technical note. Possible errors in the comparative evaluation of drop jumps from different heights. *Ergonomics*, 42(7), 1011–1014. <https://doi.org/10.1080/001401399185270>
- Linthorne, N. P. (2001). Analysis of standing vertical jumps using a force platform. *American Journal of Physics*, 69(11), 1198-1204. <https://doi.org/10.1119/1.1397460>
- Montoro-Bombú, R., Sarmiento, H., Buzzichelli, C., Moura, N. A., Gonzáles Badillo, J. J., Santos, A., & Rama, L. (2023). Methodological considerations for determining the volume and intensity of drop jump training. A systematic, critical and prepositive review. *Frontiers in physiology*, 14, 1181781. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1181781>
- Pedley, J. S., Lloyd, R. S., Read, P. J., Moore, I. S., Myer, G. D., & Oliver, J. L. (2022). A Novel Method to Categorize Stretch-Shortening Cycle Performance Across Maturity in Youth Soccer Players. *Journal of strength and conditioning research*, 36(9), 2573–2580. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003900>
- Pearson, S. J., & McMahon, J. (2012). Lower limb mechanical properties: determining factors and implications for performance. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 42(11), 929–940. <https://doi.org/10.1007/BF03262304>
- Rodríguez-Rosell, D., Mora-Custodio, R., Franco-Márquez, F., Yáñez-García, J. M., & González-Badillo, J. J. (2017). Traditional vs. Sport-Specific Vertical Jump Tests: Reliability, Validity, and Relationship With the Legs Strength and Sprint Performance in Adult and Teen Soccer and Basketball Players. *Journal of strength*

and conditioning research, 31(1), 196–206.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001476>

Rojano Ortega, D., Berral-Aguilar, A. J., & Berral de la Rosa, F. J. (2022). Kinetics and Vertical Stiffness of Female Volleyball Players: Effect of Low-Intensity Plyometric Training. *Research quarterly for exercise and sport*, 93(4), 734–740.
<https://doi.org/10.1080/02701367.2021.1915946>

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(1), 43–54.
<https://doi.org/10.1123/jab.17.1.43>

Taube, W., Leukel, C., & Gollhofer, A. (2012). How neurons make us jump: the neural control of stretch-shortening cycle movements. *Exercise and sport sciences reviews*, 40(2), 106–115. <https://doi.org/10.1097/JES.0b013e31824138da>

Turner A. N., Jeffreys I. (2010). The stretch-shortening cycle: Proposed mechanisms and methods for enhancement. *Strength Cond. J.* 32 (4), 87–99.
[10.1519/SSC.0b013e3181e928f9](https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e3181e928f9)

Wilk, K. E., Voight, M. L., Keirns, M. A., Gambetta, V., Andrews, J. R. y Dillman, C. J. (1993). Ejercicios de acortamiento para las extremidades superiores: teoría y aplicación clínica. *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, 17(5), 225–239. <https://doi.org/10.2519/jospt.1993.17.5.225>