

Máster Universitario en Rendimiento deportivo y Salud



**Centro de
Investigación del
Deporte**

UNIVERSITAS *Miguel Hernández*



Trabajo de fin de Máster

Curso 2024-2025

**Efecto del nivel de fuerza isométrica inicial en el salto sin
contramovimiento en jóvenes físicamente activos no especialistas
en salto**

Autor: César Pichardo Martínez

Tutor académico: Jose Luis López Elvira

1. Resumen

El presente Trabajo de Fin de Máster analiza el rendimiento del salto vertical comparando el Squat Jump (SJ) y el Countermovement Jump (CMJ), controlando las condiciones de partida para igualar la fase concéntrica de ambos gestos. A través del uso combinado de plataformas de fuerza, análisis electromiográfico y captura de movimiento 3D, se evaluó el papel del ciclo de estiramiento-acortamiento (CEA) en el rendimiento del salto. Se implementaron variantes del SJ con preactivación isométrica de diferente duración para equiparar la fuerza inicial con la del CMJ y aislar así el efecto del contramovimiento. Los resultados permitirán discernir si el mayor rendimiento del CMJ se debe al almacenamiento de energía elástica y a la facilitación neural o simplemente a condiciones mecánicas más favorables. Este estudio aporta evidencia relevante para el diseño de estrategias de entrenamiento más eficaces en deportes que requieren acciones explosivas.

Palabras clave: Salto vertical, preactivación isométrica, rendimiento de salto.

2. Introducción

El salto vertical es una manifestación motora compleja que requiere una elevada coordinación intermuscular y es ampliamente utilizado como herramienta de evaluación de la potencia de las extremidades inferiores. Su análisis resulta de especial interés tanto en el ámbito deportivo como en el clínico, al ser un indicador sensible del rendimiento funcional y de la capacidad explosiva del tren inferior (Rodríguez-Rosell et al., 2017). En concreto, se han estandarizado dos tipos de pruebas para su evaluación: el Squat Jump (SJ) y el Countermovement Jump (CMJ).

El SJ se ejecuta desde una posición estática en semiflexión de rodillas, eliminando cualquier fase excéntrica previa, por lo que representa una acción puramente concéntrica. En cambio, el CMJ incluye una fase de descenso previa al despegue, generando el denominado ciclo de estiramiento-acortamiento (CEA), fenómeno biomecánico y neuromuscular que suele potenciar el rendimiento del salto (Bobbert et al., 1996; Van Hooren & Zolotarjova, 2017).

El CEA combina tres mecanismos sinérgicos: (1) almacenamiento y reutilización de energía elástica en estructuras musculotendinosas (Kubo et al., 1999), (2) potenciación de los puentes cruzados musculares tras el estiramiento (Edman et al., 1978), y (3) facilitación neural mediante reflejos medulares como el reflejo miotático (Komi, 2000). Esta sinergia permite normalmente una mayor altura de salto en el CMJ en comparación con el SJ (McBride et al., 2008).

Sin embargo, esta ventaja también podría explicarse por factores puramente mecánicos, como un mayor nivel de fuerza inicial en el momento de iniciar la fase concéntrica. Bobbert y Casius (2005) argumentan que esta mayor fuerza previa al impulso sería suficiente para justificar la diferencia en el rendimiento, sin necesidad de invocar la reutilización de energía elástica o los reflejos medulares.

Para contrastar estas hipótesis, es necesario igualar las condiciones en la fase concéntrica de ambos tipos de salto, controlando variables como el ángulo articular, la activación muscular y la magnitud de la fuerza inicial. En este sentido, la preactivación isométrica se ha propuesto como una estrategia válida para replicar el nivel de fuerza del CMJ en el SJ (De Ruiter et al., 2006; Bobbert, 2001), lo que permite comparar ambos saltos en igualdad de condiciones funcionales.

Asimismo, el análisis biomecánico mediante plataformas de fuerza, captura de movimiento y electromiografía de superficie (EMG) permite cuantificar con precisión la activación neuromuscular y los parámetros cinemáticos y cinéticos relevantes, incrementando la validez de las inferencias sobre los mecanismos implicados (Linthorne, 2001; Mackala et al., 2013; Soderberg & Knutson, 2000).

En conjunto, estudios recientes coinciden en que la igualación de la fuerza inicial es clave para determinar si el contramovimiento en sí mismo produce un efecto ergogénico real o si, por el contrario, su ventaja se limita a las condiciones de partida más favorables que conlleva (Ingen Schenau et al., 1997; Minetti et al., 1997; Bobbert et al., 1996).

En este contexto, el presente Trabajo de Fin de Máster tiene como objetivo principal comparar el rendimiento del salto vertical con y sin contramovimiento bajo condiciones concéntricas equiparables, controlando la posición articular y la fuerza

inicial mediante una fase de preactivación isométrica. Para ello se utilizará instrumentación avanzada (plataforma de fuerza, EMG y análisis cinemático 3D) con el fin de aportar evidencia empírica que permita discernir los mecanismos reales que explican el rendimiento diferencial en el salto vertical y su aplicación al entrenamiento deportivo.

3. Metodología

Participantes

La muestra del presente estudio estuvo compuesta por 20 sujetos (10 hombres y 10 mujeres), todos ellos físicamente activos y con experiencia competitiva. La edad media de los participantes fue de 21.4 ± 1.72 años, con una estatura de 1.78 ± 0.11 m y una masa corporal de 70.5 ± 11.0 kg. Estas características permiten considerar que se trata de una muestra homogénea en cuanto a edad y morfología, lo que favorece la validez interna del diseño experimental.

Todos los participantes fueron informados de los procedimientos del estudio y firmaron el consentimiento informado correspondiente, conforme a las directrices establecidas por el comité de ética. Además, se garantizaron en todo momento los principios de confidencialidad, anonimato y respeto por los derechos de los sujetos, de acuerdo con la Declaración de Helsinki.

Criterios de inclusión

- Ser una persona activa físicamente o practicar algún deporte de manera federada.
- Estar libre de lesiones en los miembros inferiores durante al menos el mes previo a la evaluación.
- No presentar limitaciones funcionales que pudieran interferir con la ejecución de los saltos.

Criterios de exclusión

Se excluyeron del estudio aquellos sujetos que:

- Ser jugador/a de voleibol o baloncesto federado con experiencia competitiva regular.
- Hubieran sufrido una lesión musculoesquelética en las extremidades inferiores en el mes anterior.
- Realizaran actividad física intensa o entrenamiento menos de tres horas antes de las mediciones.
- Presentaran dolor o molestias durante la realización del protocolo.

Protocolo experimental

1º día

Antes del inicio del protocolo experimental, todos los participantes firmaron un consentimiento informado. A continuación, se tomaron medidas antropométricas básicas (peso y altura) y se llevó a cabo una fase de calentamiento general. Esta consistió en ejercicios de movilidad articular y una serie de saltos sobre un cajón con descensos mediante "Drop Jump" (DJ), realizados a una intensidad baja a moderada. Esta fase sirvió también como familiarización con los ejercicios que se aplicarían durante la sesión experimental del segundo día.

El primer ejercicio fue la realización de tres saltos con contramovimiento (CMJ) con los brazos fijados a los costados (posición anatómica), ejecutados sobre una plataforma de fuerza (Kistler 9287CA) con una frecuencia de muestreo de 2000 Hz. Previamente, se ajustó cuidadosamente la colocación de los pies, estableciendo una posición de referencia mediante cinta adhesiva en la punta de los pies, para asegurar la repetibilidad en los saltos subsiguientes. Los participantes sujetaban unas agarraderas laterales ancladas al suelo, con altura regulable y con sistema retráctil mediante gomas para no interferir durante el salto.

De los tres CMJ iniciales se calculó la media de la fuerza vertical justo en el instante de máxima flexión, identificando así el valor de fuerza objetivo a alcanzar en los protocolos de preactivación de los Squat Jump (SJ). Este instante se determinó integrando la señal de fuerza para obtener la velocidad del centro de masas,

localizando el punto de transición de velocidad negativa a positiva que marca el inicio de la fase concéntrica mediante el uso de un script de Python.

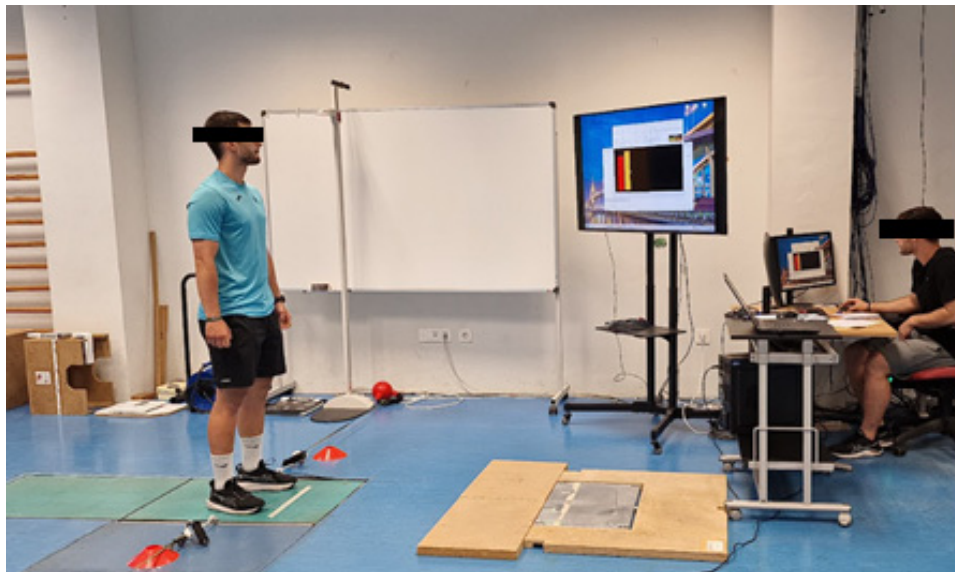


Figura 1. Realización de los 3 CMJ para obtener el valor objetivo de fuerza vertical.

Los saltos fueron registrados lateralmente mediante una cámara (Microsoft Lifecam Cinema), situada a 2,70m de distancia y 60 cm de altura respecto al plano de salto. Posteriormente, mediante el software Kinovea se extrajo la imagen correspondiente al momento de máxima flexión para analizar los ángulos articulares de cadera, rodilla y tobillo. Estas medidas se utilizaron como referencia para los saltos SJ.

Mediante un script en Python y el modelo de aprendizaje automático Mediapipe (Chen et al., 2022), se automatizó la medición angular de las articulaciones mencionadas y se implementó un sistema de retroalimentación visual en tiempo real. Este sistema mostraba simultáneamente la imagen objetivo (del CMJ) y la imagen en vivo, con la finalidad de reproducir con la mayor precisión posible la postura del salto en su punto más flexionado.

A partir de ahí se practicaron tres variantes del SJ que serían implementadas en la siguiente jornada: (1) un SJ sin preactivación, realizado tras mantener la posición de máxima flexión durante 3 s (2) un SJ con preactivación isométrica de 1 s, y (3) otro con preactivación de 3s. La preactivación consistió en aplicar una fuerza isométrica a través de las agarraderas laterales hasta alcanzar la fuerza objetivo, monitorizada en tiempo real mediante la aplicación FeedbackFuerzas (programada

en lenguaje C#). Esta aplicación representaba gráficamente una barra correspondiente a la fuerza objetivo y otra a la fuerza ejercida en tiempo real, iniciándose la cuenta atrás una vez alcanzada el valor deseado.

2º día

Durante la segunda jornada experimental, los sujetos repitieron el protocolo de calentamiento empleado el día anterior. A continuación, se procedió a la colocación de electrodos para la electromiografía de superficie (EMG) (Noraxon Inc., EE.UU.) en los siguientes músculos: recto anterior (RA), vasto interno (VI), tibial anterior (TA), glúteo mayor (GM), bíceps femoral (BF) y gastrocnemio medial (GI). La disposición de los electrodos siguió las directrices propuestas por el proyecto SENIAM (Hermens et al., 2000), y la señal fue registrada a una frecuencia de muestreo de 2000 Hz.

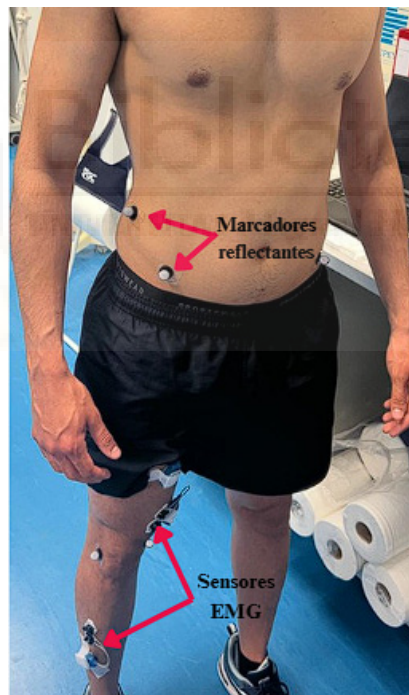


Figura 2. Posición de los reflectantes adhesivos y los sensores de EMG.

Simultáneamente, se utilizó el software Nexus (versión 2.16) junto con el sistema de captura de movimiento Vicon (Vicon MX, Oxford, UK), compuesto por nueve cámaras (siete del modelo T10 y dos del modelo Vera) distribuidas estratégicamente en el laboratorio. Este sistema operó a una frecuencia de 200 Hz y permitió la reconstrucción tridimensional de los gestos técnicos durante los saltos.

Para la captura del movimiento, se colocaron marcadores reflectantes sobre puntos anatómicos específicos utilizando cinta adhesiva de doble cara. Las zonas marcadas incluyeron: acromion, espinas ilíacas anterosuperiores y posterosuperiores, crestas ilíacas laterales, cóndilos femorales medial y lateral, maléolos internos y externos del tobillo, y tres puntos en el calzado de la pierna dominante (región posterior del calcáneo –uno superior y otro inferior–, y zona del segundo metatarsiano). Esta configuración permitió una reconstrucción precisa del patrón de movimiento.

Cabe destacar que el sistema Vicon permitió la integración simultánea de los datos provenientes del EMG, la plataforma de fuerzas y la captura de vídeo, asegurando una sincronización temporal precisa entre las diferentes fuentes de medición.

Una vez preparados, los participantes realizaron primero dos registros en posición estática con los brazos en abducción horizontal para facilitar la calibración y posterior modelado en el software. A continuación, ejecutaron tres saltos CMJ a máxima intensidad, seguidos de las tres variantes de los SJ practicadas el día anterior. Estas últimas se realizaron en orden aleatorio para controlar posibles efectos de fatiga o aprendizaje y así minimizar la influencia de variables externas en los resultados.



Figura 3: Realización de los SJ manteniendo la posición de referencia y llegando a los valores de activación de fuerza vertical.

Análisis de datos

La altura del salto fue calculada a partir del tiempo de vuelo registrado por la plataforma de fuerza, definiendo el despegue y el aterrizaje mediante un umbral de 20 N. La velocidad del centro de masas se obtuvo mediante integración numérica (regla del trapecio) de la señal de fuerza vertical, siguiendo el procedimiento de Linthorne (2001), lo que permitió identificar el inicio de la fase concéntrica.

La señal de electromiografía fue procesada mediante filtrado (10–400 Hz), rectificación y cálculo del valor RMS durante la fase concéntrica para cada grupo muscular implicado. Se prestó especial atención al control de la fuerza inicial y la posición articular para asegurar la comparabilidad entre condiciones.

Análisis estadístico

Los datos se analizaron utilizando el software JASP. Se comprobó la normalidad de la muestra mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Para comparar las condiciones experimentales (CMJ vs. las tres variantes de SJ) se aplicó un ANOVA de medidas repetidas con prueba de esfericidad de Greenhouse-Geisser. Se consideró un nivel de significación de $p < .05$. Las variables dependientes fueron la altura de salto, los ángulos articulares, la fuerza inicial y la activación muscular (RMS).

4. Referencias bibliográficas

- Anderson, F. C., & Pandy, M. G. (1993). Storage and utilization of elastic strain energy during jumping. *Journal of Biomechanics*, 26(12), 1413–1427. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(93\)90092-s](https://doi.org/10.1016/0021-9290(93)90092-s)
- Bobbert, M. F., Gerritsen, K. G. M., Litjens, M. C. A., & Van Soest, A. J. (1996). Why is countermovement jump height greater than squat jump height? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28(11), 1402–1412. <https://doi.org/10.1097/00005768-199611000-00009>
- Bobbert, M. F., & Casius, L. J. R. (2005). Is the effect of a countermovement on jump height due to active state development? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(3), 440–446. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000155389.34538.97>

- Bobbert, M. F. (2001). Dependence of human squat jump performance on the series elasticity of the triceps surae: A simulation study. *Journal of Experimental Biology*, 204(3), 537–542. <https://doi.org/10.1242/jeb.204.3.537>
- De Ruiter, C. J., Van Der Linden, R. M., Van Der Zijden, M. J., Hollander, A. P., & De Haan, A. (2006). Short-term effects of electrical stimulation superimposed on muscle contractions: Effects on force and EMG. *European Journal of Applied Physiology*, 97(6), 738–745. <https://doi.org/10.1007/s00421-006-0244-1>
- Edman, K. A. P., Elzinga, G., & Noble, M. I. M. (1978). Enhancement of mechanical performance by stretch during tetanic contractions of vertebrate skeletal muscle fibres. *Journal of Physiology*, 281, 139–155. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1978.sp012413>
- Ingen Schenau, G. J. van, Bobbert, M. F., & de Haan, A. (1997). Does elastic energy enhance work and efficiency in the stretch-shortening cycle? *Journal of Applied Biomechanics*, 13(4), 389–415. <https://doi.org/10.1123/jab.13.4.389>
- Komi, P. V. (2000). Stretch-shortening cycle: A powerful model to study normal and fatigued muscle. *Journal of Biomechanics*, 33(10), 1197–1206. [https://doi.org/10.1016/S0021-9290\(00\)00064-6](https://doi.org/10.1016/S0021-9290(00)00064-6)
- Kubo, K., Kanehisa, H., & Fukunaga, T. (1999). Influence of elastic properties of tendon structures on jump performance in humans. *Journal of Applied Physiology*, 87(6), 2090–2096. <https://doi.org/10.1152/jappl.1999.87.6.2090>
- 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>
- Mackala, K., Stodółka, J., Siemienski, M., & Coh, M. (2013). Biomechanical analysis of squat jump and countermovement jump from varying starting positions. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(10), 2650–2661.

<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318280ce0e>

- McBride, J. M., Triplett-McBride, T., Davie, A., & Newton, R. U. (2008). A comparison of strength and power characteristics between power lifters, Olympic lifters, and sprinters. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 12(1), 58–65. <https://doi.org/10.1519/00124278-200802000-00011>
- Minetti, A. E., Narici, M. V., & Cerretelli, P. (1997). Comments on the role of elastic energy in jumping performance. *Journal of Applied Biomechanics*, 13(4), 463–465. <https://doi.org/10.1123/jab.13.4.463>
- 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>
- Soderberg, G. L., & Knutson, L. M. (2000). A guide for use and interpretation of kinesiological electromyographic data. *Physical Therapy*, 80(5), 485–498. <https://doi.org/10.1093/ptj/80.5.485>
- Van Hooren, B., & Zolotarjova, J. (2017). The difference between countermovement and squat jump performances: A review of underlying mechanisms with practical applications. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(7), 2011–2020. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001913>