

EVALUACIÓN DEL PICO DE POTENCIA MÁXIMA EN DEPORTISTAS: COMPARACIÓN DE MÉTODO

CARLO M. BIANCARDI

LIBiAM. CENUR Litoral Norte. UDELAR
Contacto: cbiancardi@cup.edu.uy
ORCID: 0000-0002-5566-3958

JUAN ARIAS

ISEF Litoral Norte. UDELAR
Contacto: juane.555@hotmail.com

SANTIAGO IRIGOITE

ISEF Litoral Norte. UDELAR
Contacto: santiagoirigoitee@gmail.com

GONZALO GIANNEECHINI

CENUR Litoral Norte. UDELAR
Contacto: gonzalooo9393@gmail.com
ORCID: 0000-0003-4535-9124

GERMÁN PEQUERA

LIBiAM. CENUR Litoral Norte. UDELAR
Contacto: gpequera@cup.edu.uy
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2696-1630>

Recibido: 18/04/2020

Aprobado: 15/01/2021

DOI: 10.28997/ruefd.v14i1.4

Resumen En este estudio se evaluó el pico de potencia máxima (PPM) en un salto con contramovimiento, en dos poblaciones de deportistas femeninas (Fútbol y Voleibol) de diferentes edades con análisis cinemático. La reconstrucción 3D del movimiento del centro de masa corporal permitió medir la altura del salto y calcular velocidades, fuerzas y potencias a lo largo del ejercicio. Se calcularon los PPM a través de los vectores fuerza y velocidad y también usando ecuaciones predictivas basadas en la altura del salto. El análisis cinemático no detectó diferencias significativas en los PPM, pero sí en la altura del salto, siendo mayor en la jugadoras de voleibol. Las ecuaciones predictivas sobreestimaron los PPM.

Palabras clave: salto vertical con contramovimiento; potencia máxima; Test de Sayers; Fútbol; Voley

EVALUATION OF MAXIMUM PEAK POWER IN ATHLETES: COMPARISON OF METHODS

Abstract This study analysed the peak maximum power (PPM) during a countermovement jump (CMJ), on two types of female athletes (Soccer and Volley) of different ages, by means of kinematic analyses. The reconstruction of the 3D trajectory of the body centre of mass permitted measuring the jump height, and deriving velocities, forces and powers throughout the exercise (inverse dynamic). The PPMs were estimated from the force time velocity vectors and by means of jump height based predictive equations. Inverse dynamic analyses did not show significant differences of PPMs. However, the jumps were significantly higher in volley players. The predictive equations overestimated the PPMs.

Keywords: CMJ; Maximum power; Sayers test; Football; Volley



Introducción

La potencia, que expresa la cantidad de trabajo realizado por unidad de tiempo, es considerada uno de los indicadores de la condición física de los atletas (Wilson, Newton, Murphy y Humphries, 1993; Kawamori y Haff, 2004). La expresión de la máxima potencia en el hombre se logra a través de ejercicios rápidos que involucran los miembros inferiores, como por ejemplo los saltos bipodales (Di Prampero, 2015). Se trata de una potencia desarrollada durante una contracción muscular de corta duración, menos de un segundo, y sustentada por el ATP y fosfocreatina presente en el tejido muscular. Así, la potencia desarrollada durante dichos movimientos, resulta muy diferente de la máxima potencia vinculada al metabolismo aerobio (máxima potencia aeróbica) (Capelli, Antonutto, Zamparo, Girardis y Di Prampero, 1993). Generalmente se considera que el pico de potencia máxima (PPM), también llamado “máxima potencia anaeróbica aláctica” (Di Prampero, 2015) o “potencia de salida” en español, calculado o estimado en saltos verticales, es un buen indicador del rendimiento deportivo en disciplinas donde la potencia es un factor determinante (Smirniotou et al., 2008). El salto con contramovimiento, “countermovement jump” (CMJ), o el salto sin contramovimiento, “Squat Jump” (SJ), son utilizados para evaluar la potencia de miembros inferiores en deportistas (Canavan y Vescovi, 2004; Duncan, Lyons y Nevill, 2008; Buško, Michalski, Mazur y Gajewski, 2012; Grgantov, Milić y Katić, 2013; Johnson y Bahamonde, 1996; McFarland, Dawes, Elder y Lockie, 2016).

Aunque las plataformas dinamométricas permitan una medida directa y bastante precisa de la potencia, su implementación es costosa y difícilmente se encuentran fuera de los laboratorios especializados (Canavan y Vescovi, 2004). Por eso se han desarrollado diferentes ecuaciones predictivas, capaces de estimar el promedio de potencia o el PPM a partir de la altura del salto y la masa

del sujeto (Harman, Rosenstein, Frykman, Rosenstein y Kraemer, 1991; García López, Peleteiro, Rodríguez-Marroyo, Morante, Villa, 2003; Samozino, Morin, Hintzy, Belli, 2008; Sayers, Harackiewicz, Harman, Frykman y Rosenstein, 1999), o considerando también la altura del sujeto (Johnson y Bahamonde, 1996). La confiabilidad de las ecuaciones predictivas ha sido cuestionada por diferentes autores (Canavan y Vescovi, 2004; Duncan et al., 2008), pero siguen siendo ampliamente utilizadas por entrenadores y deportistas amateurs. Una de las fuentes de error es la misma medida de la altura del salto, siendo su valor exacto representado por el desplazamiento vertical del centro de masa del cuerpo (CdM), que se puede calcular en base al tiempo de vuelo con un equipo portátil (alfombra de Bosco) (Bosco, et al., 1983).

Sabemos por la balística que el tiempo de vuelo y la altura de un salto vertical son independientes de la masa y solo dependen de la gravedad (que consideramos constante en la tierra) y de la velocidad de salida (Blazevich, 2011). Sin embargo, la potencia resulta de la relación fuerza-velocidad (F-v), o sea de la multiplicación de las componentes verticales de la velocidad de salida por la fuerza de reacción al piso. Por lo tanto, en todos los métodos de estimación de potencia basados en la altura del salto existe un componente de imprecisión debido a la falta de consideración de la fuerza desarrollada (Di Prampero, 2015).

La velocidad de salida, y entonces el rendimiento en altura del salto, depende de factores mecánicos, fisiológicos y morfológicos (Samozino, Morin, Hintzy, Belli, 2010). Existe una fuerte correlación entre el PPM y la altura alcanzada en el salto, pero otras variables, como el perfil de la relación F-v a lo largo del ejercicio y el rango de extensión de los miembros inferiores tienen influencia (Samozino et al., 2014). Es bueno reiterar que la potencia máxima anaeróbica (promedio o PPM) es utilizada como indicadora del rendimiento en deportes que no tienen nada a que ver



con el salto, por ejemplo el esquí alpino (Patterson, Raschner y Platzer, 2009), el patinaje (Haugenauer, Legreneur, Monteil, 2006) o la carrera en velocistas (Rahmani, Locatelli, Lacour, 2004). Para ellos el dato interesante es la máxima potencia de sus miembros inferiores y no la altura que puedan alcanzar.

En Paysandú el Laboratorio de Biomecánica y Análisis del Movimiento (LIBiAM) tiene como uno de sus objetivos fomentar la utilización de buenas prácticas de evaluación objetiva en el deporte, también a través de trabajos estudiantiles, de grado y posgrado. En este marco surgió la posibilidad de evaluar dos grupos de deportistas, de fútbol y de voleibol, con el fin de comparar el PPM estimado por diferentes ecuaciones predictivas a partir de datos cinemáticos, usando métodos de dinámica inversa.

Los métodos de dinámica inversa pueden representar una válida alternativa a las plataformas dinamométricas. De hecho, a través del desplazamiento 3D de marcadores puestos en puntos de referencias anatómicos, es posible una reconstrucción de la trayectoria del CdM (Pavei, Seminati, Cazzola y Minetti, 2017). Velocidades, aceleraciones y fuerzas se pueden entonces calcular derivando los datos cinemáticos (Pavei, Seminati, Storniolo y Peyré-Tartaruga, 2017).

Este trabajo pretende calcular y comparar los valores de PPM en atletas de dos deportes diferentes utilizando dos metodologías: 1) usando métodos de dinámica inversa y 2) mediante ecuaciones predictivas que usan la altura del salto calculada mediante datos cinemáticos.

Métodos

Muestra

Este estudio se realizó con 12 deportistas que varían entre 19 y 25 años de edad, 6 jugadoras de Fútbol que pertenecen a la primera división y 6 jugadoras de Voleibol también pertenecientes

a la primera división de diferentes clubes deportivos de Paysandú. Todas las deportistas contaban con un periodo de continuidad de su entrenamiento. El tamaño de la muestra fue estimado entre 8 y 16 para un valor de $\alpha = 0.05$ y una potencia del test de 0.8. El cálculo fue realizado con el software G.Power a partir de datos previos (Faul, Erdfelder, Lang, Buchner, 2007).

Esta investigación se realizó bajo las Pautas Éticas Internacionales para la Investigación y Experimentación Biomédica en Seres Humanos (Declaración de Helsinki) (Consejo de Organizaciones Internacionales de las Ciencias Médicas, 1993). Los sujetos fueron informados acerca de la finalidad, la metodología empleada, la privacidad y tratamiento de los datos; firmaron un consentimiento informado. La realización de esta investigación fue aprobada por el Comité de Ética del Cenur Litoral Norte de la Universidad de la República (#311170-001375-18).

Diseño de investigación

El protocolo incluyó la realización de siete saltos con contramovimiento (CMJ) por cada deportista. Se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Biomecánica ubicado en el Centro Universitario Regional Litoral Norte (Paysandú), en un ambiente cerrado y climatizado con una temperatura de 24° C. Previamente se realizaron ejercicios de movilidad articular para todas las deportistas. Luego del calentamiento se prepararon a las atletas para las mediciones. Se colocaron, bilateralmente, 18 marcadores reflexivos en puntos anatómicos específicos que se detallan a continuación; 1º - quinto metatarso, 2º - calcáneo, 3º - maléolo externo, 4º - cóndilo externo, 5º - trocánter mayor, 6º - proceso estiloides ulnar, 7º - epicóndilo lateral, 8º - 4 cm lateral al acromio, 9º - fosa temporal (Minetti et al., 1994; Winter, 2005). El CMJ se ejecuta partiendo de una posición erguida y con las manos en las caderas durante todas las fases. El salto empieza con una bajada rápida (contramovimiento) seguida por un



empuje rápido hacia arriba, tratando de alcanzar la máxima altura posible.

Cada prueba fue filmada con un Sistema de Captura y Análisis de Movimiento (MOCAP) que cuenta con 8 cámaras (Vicon, Oxford Metrics), a 100 cuadros por segundos, con el objetivo de conseguir con más precisión las diferentes fases del movimiento.

Análisis de datos

El MOCAP proporciona la posición 3D de cada marcador reflexivo en cada cuadro. Los datos cinemáticos fueron filtrados a través de un filtro "zero-lag" pasa-bajo Butterworth (orden 4, frecuencia de corte 6 Hz). Una primera fase del procesamiento consiste en el aislamiento de cada salto, cortando la grabación, corrigiendo pequeños errores (gaps) y descartando eventuales registros incorrectos. Los datos brutos fueron procesados a través de hojas de cálculo y rutinas de Matlab (Mathworks, EEUU), calculando la posición de los centros de masa parciales de cada segmento, y reconstruyendo la posición del CdM con el método segmental, utilizando tablas antropométricas (Winter, 2005).

La altura de cada salto fue calculada, con precisión de +/- 1 mm, restando la posición vertical del CdM de la fase que antecede el salto (posición erguida con manos a la cadera) desde la posición vertical más alta del CdM en la fase de vuelo. La velocidad vertical instantánea (en m/s) fue calculada derivando los valores posicionales respecto al tiempo, y de la misma forma, derivando la velocidad respecto al tiempo, fue calculada la aceleración instantánea (en m/s^2). Luego la fuerza fue calculada multiplicando la aceleración por la masa de la deportista. La potencia vertical instantánea (W) se calculó multiplicando la fuerza (N) por velocidad (m/s). El PPM fue definido como el valor máximo del vector potencia dividido por la masa de la deportista (W/kg).

El PPM fue también estimado por dos métodos alternativos al anteriormente descrito usando la ecuación de Johnson y Bahamonde (1996) (1) y la ecuación (2) descripta por Sayers et al. (1999):

$$\text{PPM (W)} = 78,5 * J_H \text{ (cm)} + 60,6 * M_B \text{ (kg)} - 15,3 * B_H \text{ (cm)} - 130 \quad (1)$$

$$\text{PPM (W)} = 51,9 * J_H \text{ (cm)} + 48,9 * M_B \text{ (kg)} - 2007 \quad (2)$$

Donde J_H es la altura del salto, M_B es el peso del sujeto, y B_H es la altura del sujeto.

Estadística

A los efectos de comparar diferencias en la altura del salto y los PPM estimados por los diferentes métodos entre ambas poblaciones se realizaron test-t Student con un nivel de significancia <0.05 . También se realizó ANOVA y post-hoc Bonferroni, con el mismo nivel de significancia, a los efectos de evaluar diferencias entre las distintas formas de estimar los PPM. La homogeneidad de las varianzas fue comprobada a través del test de Levene.

Resultados

Tabla 1. Características de la muestra y resultados

	Futbol	Voley	Resultado t-test (P)
Edad	22,2 (1,2 DE)	20,7 (1,2 DE)	P = 0,054
Altura (cm)	161,5 (7,6 DE)	167,7 (7,4 DE)	P = 0,187
Peso (kg)	62,8 (6,8 DE)	63,5 (6,7 DE)	P = 0,847
CMJH (cm)	29,8 (3,1 DE)	33,4 (4,0 DE)	P = 0,0009
PPM-FV (W/kg)	35,5 (4,0 DE)	36,6 (4,1 DE)	P = 0,323
PPM-e1 (W/kg)	37,5 (4,7 DE)	40,1 (4,6 DE)	P = 0,017
PPM-e2 (W/kg)	41,6 (3,1 DE)	44,5 (3,2 DE)	P = 0,002

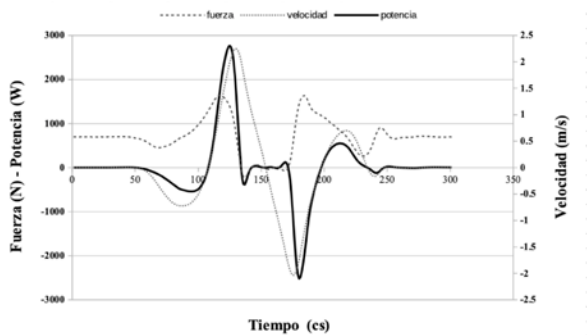
Promedios (Desvío Estándar). CMJ_H : altura del salto con contramovimiento; PPM: Pico de Potencia Máxima; FV: calculado por los vectores fuerza-velocidad; e1: estimado por la ecuación 1 (en métodos); e2: estimado por la ecuación 2 (en métodos).



En la tabla 1 se presentan las características de la muestra y los resultados. La muestra fue homogénea, no se detectaron diferencias antropométricas significativas entre futbolistas y jugadoras de vóley.

En figura 1 un ejemplo de procesamiento de un salto con contramovimiento. Se muestran las señales de fuerza, velocidad y potencia. El pico de potencia máxima corresponde al valor positivo más alto del vector potencia.

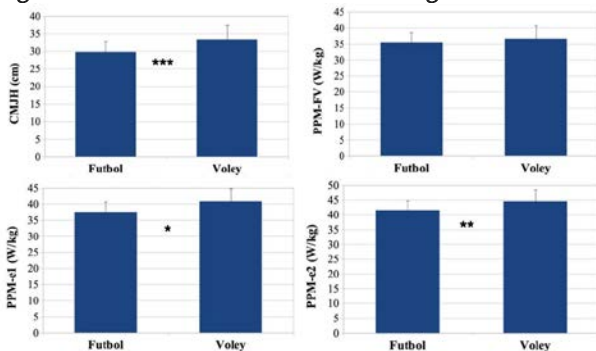
Figura 1. Trayectorias de las componentes verticales de los vectores fuerza, velocidad y potencia a lo largo de un salto vertical con contramovimiento



Fuente: Elaboración propia (2020)

Las jugadoras de vóley alcanzaron una altura significativamente mayor, con una diferencia en promedio alrededor de 3,5 cm. Los valores de pico de potencia máxima (PPM) estimados por las ecuaciones 1 y 2 también fueron significativamente diferentes. Sin embargo los PPM calculados por los vectores de fuerza y velocidad (FV) no presentaron diferencias significativas (Tabla 1 y figura 2).

Figura 2. Resultados en forma de histograma



La barra superior representa el desvío estándar. Los asteriscos indican la significatividad estadística: * diferencia significativa ($P < 0,05$); ** muy significativa ($P < 0,01$); *** altamente significativa ($P < 0,001$).

CMJH: altura del salto con contramovimiento; PPM: Pico de Potencia Máxima; FV: calculado por los vectores fuerza-velocidad; e1: estimado por la ecuación 1 (en métodos); e2: estimado por la ecuación 2 (en métodos).

Fuente: Elaboración propia (2020)

Los valores de PPM calculados por los tres métodos fueron significativamente diferentes (ANOVA; $F = 34,02$; g.l. = 2; $P < 0,001$). Respecto a los PPM-FV, los valores fueron significativamente sobreestimados por la ecuación 1 (+ 6-9%; Bonferroni: $P = 0,021$) y por la ecuación 2 (+ 21-27%; t-test; $P < 0,001$). También las dos estimaciones (PPM-e1 y PPM-e2) resultaron significativamente diferentes (t-test: $P < 0,001$).

Discusión

Los dos grupos que formaron la muestra son homogéneos como edad, altura y peso (tabla 1).

Las jugadoras de voleibol tuvieron un rendimiento significativamente mejor de las futbolistas con respecto a la altura del salto (Tabla 1, figura 2). Este resultado se explica con las características del deporte: en el voleibol el rendimiento en el salto está directamente relacionado con los resultados, y un entrenamiento específico puede mejorar estas características (De Villarreal, González-Badillo e Izquierdo, 2007). Los valores de PPM estimados por las ecuaciones predictivas, basadas en la altura del salto, también mostraron diferencias significativas (tabla 1). La misma diferencia se observó en atletas masculinos, siempre evaluando la altura del salto Sahu y Nayek, 2015). Sin embargo la potencia de salida es uno de los determinantes de la altura alcanzada en un salto, pero hay otros importantes factores, como la actividad muscular y la coordinación motora (Fábrica, González y Loss, 2013; Pequera, Fábrica, Bonezi y Pérez, 2014; Samozino et al., 2010; Samozino et al., 2014). Es posible que los valores de fuerza calculados por dinámica inversa sean ligeramente subestimados a respecto de los valores medidos



por una plataforma dinamométrica (Pavei, Seminati, Storniolo y Peyré-Tartaruga, 2017). En los PPM calculados por dinámica inversa no se encontraron diferencias significativas entre los dos grupos de deportistas (tabla 1), y los valores se encuentran en un rango comparable con datos bibliográficos (Buško et al., 2012; Di Prampero, 2015).

Existen muchos estudios y evaluaciones de potencia en futbolistas masculinos de diferentes categorías (Ej.: Jiménez, Parra, Pérez, Grande, 2009; Sousa y Quieroti Rodrigues, 2014), pero muy pocos en futbolistas femeninos (Navarro y Selles, 2018). El rendimiento en el salto vertical en deportistas masculinos y femeninos es significativamente diferente (Castagna y Castellini, 2013; Navarro y Selles, 2018), lo que le da un valor agregado a estos resultados. Si bien fue un primer trabajo, con una muestra limitada, representa un elemento de novedad en el panorama deportivo de Paysandú.

Las diferencias encontradas en este trabajo entre las ecuaciones predictivas y los PPM-FV, en particular la sobreestimación que ocurre utilizando la ecuación 2 (Sayers et al, 1999), están de acuerdo a los datos encontrados en literatura (Cavanaugh y Vescovi, 2004; Duncan et al., 2008). La ecuación 1 (Johnson y Bahamonde, 1996), que toma en consideración la altura del sujeto, resultó con un error menor respecto a la ecuación 2. Tomar en cuenta la altura del salto en las ecuaciones predictivas podría llevar a mostrar diferencias significativas entre diferentes poblaciones de deportistas que no serían reales, como sugiere el presente trabajo. Sin embargo, sería necesario ampliar la muestra, en número de atletas y de deportes, a través de estudios adicionales para confirmar esta tendencia.

Conclusiones

Se logró medir y comparar el rendimiento en el salto y el pico de potencia máxima en jugadoras de fútbol femenino y jugadoras de voleibol pertenecientes a clubes de Paysandú.

Futbolistas y jugadoras de voleibol resultaron con promedios de altura del salto significativamente diferentes, y por el contrario con promedios de los picos de potencia máxima similares, en comparación con datos bibliográficos de referencia.

La potencia máxima estimada con las ecuaciones predictivas resultó significativamente sobreestimada. Estos tipos de estimaciones deberían ser utilizadas con debida atención.

Al fin de evaluar y comparar la potencia máxima de los miembros inferiores de deportistas de diferentes disciplinas, se recomienda utilizar los métodos estándar basados en los valores de fuerza y velocidad.

Agradecimientos

Agradecemos a los revisores por las sugerencias y su contribución para mejorar el texto.



Referencias bibliográficas

- Blazevich, A. (2011). *Biomecánica deportiva*. Badalona: Paidotribo.
- Bosco, C., Luhtanen, P. & Komi, P.V. (1983). A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *European Journal of Applied Physiology*, (50), 273-282. doi 10.1007/BF00422166
- Buško, K., Michalski, R., Mazur, J., & Gajewski, J. (2012). Jumping abilities in elite female volleyball players: Comparative analysis among age categories. *Biology of Sport*, 29(4), 317-319. Recuperado de <http://repozytorium.ukw.edu.pl/handle/item/1622>
- Capelli, C., Antonutto, G., Zamparo, P., Girardis, M., y di Prampero, P. E. (1993). Effects of prolonged cycle ergometer exercise on maximal muscle power and oxygen uptake in humans. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 66(3), 189-195. doi 10.1007/BF00235092
- Canavan, P. K., y Vescovi, J. D. (2004). Evaluation of power prediction equations: peak vertical jumping power in women. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(9), 1589-1593. doi: 10.1249/01.MSS.0000139802.96395.AC
- Castagna, C., y Castellini, E. (2013). Vertical jump performance in Italian male and female national team soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(4), 1156-1161.
- Consejo de Organizaciones Internacionales de las Ciencias Médicas. (1993). Pautas éticas internacionales para la investigación y experimentación biomédica en seres humanos. Instituto Chileno de Medicina Reproductiva. Recuperado de http://www.bioetica.uchile.cl/doc/exper_2.htm.
- De Villarreal, E. S. S., González-Badillo, J. J., y Izquierdo, M. (2007). Optimal warm-up stimuli of muscle activation to enhance short and long-term acute jumping performance. *European journal of applied physiology*, 100(4), 393-401. doi 10.1007/s00421-007-0440-9
- Di Prampero, P. E. (2015). *La locomozione umana su terra, in acqua, in aria*. Milano : Edi-Ermes.
- Duncan, M. J., Lyons, M., y Nevill, A. M. (2008). Evaluation of peak power prediction equations in male basketball players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(4), 1379-1381.
- Fábrica, C. G., González, P. V., y Loss, J. F. (2013). Acute fatigue effects on ground reaction force of lower limbs during counter-movement jumps. *Motriz: Revista de Educação Física*, 19(4), 737-745. doi 10.1590/S1980-65742013000400011
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G., & Buchner, A. (2007). G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, 39, 175-191. doi 10.3758/BF03193146
- García López, J., Peleteiro, J., Rodríguez-Marrojo, J. A., Morante, J. C., y Villa, J. G. (2003). Validación biomecánica de un método para estimar la altura de salto a partir del tiempo de vuelo. *Archivos de Medicina del Deporte*, 20(93), 28-34.
- Grgantov, Z., Milić, M., y Katić, R. (2013). Identification of explosive power factors as predictors of player quality in young female volleyball players. *Collegium antropologicum*, 37(2), 61-68. Recuperado de <https://hrcak.srce.hr/102458>
- Haguenauer, M., Legreneur, P., & Monteil, K. M. (2006). Influence of figure skating skates on vertical jumping performance. *Journal of biomechanics*, 39(4), 699-707. doi 10.1016/j.jbiomech.2005.01.005
- Harman, E. A., Rosenstein, M. T., Frykman, P. N., Rosenstein, R. M., & Kraemer, W. J. (1991). Estimation of human power output from vertical jump. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 5(3), 116-120.
- Jiménez, R., Parra, G., Pérez, D., y Grande, I. (2009). Valoración de la potencia de salto en jugadores semiprofesionales de fútbol y comparación de resultados por puestos.



Kronos, 8(14), 79-84. Recuperado de
<http://hdl.handle.net/11268/3261>

- Johnson, D. L., y Bahamonde, R. (1996). Power output estimate in university athletes. *Journal of strength and Conditioning Research*, 10, 161-166.
- Kawamori, N., & Haff, G. G. (2004). The optimal training load for the development of muscular power. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 18(3), 675-684.
- McFarland, I. T., Dawes, J. J., Elder, C. L., y Lockie, R. G. (2016). Relationship of two vertical jumping tests to sprint and change of direction speed among male and female collegiate soccer players. *Sports*, 4(1), 11. doi 10.3390/sports4010011
- Minetti, A.E., Ardigò, L.P. y Saibene, F. (1994). Mechanical determinants of the minimum energy cost of gradient running in humans. *The Journal of Experimental Biology*, 195, 211-225.
- Navarro, V. & Selles, F. R.. (2018). El test de salto como valoración de la potencia de piernas en futbolistas juveniles. *Revista de Preparación Física en Fútbol*. 1-11.
- Patterson, C., Raschner, C., y Platzer, H. P. (2009). Power variables and bilateral force differences during unloaded and loaded squat jumps in high performance alpine ski racers. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(3), 779-787. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181a2d7b3
- Pavei, G., Seminati, E., Cazzola, D., y Minetti, A. E. (2017). On the estimation accuracy of the 3D body center of mass trajectory during human locomotion: inverse vs. forward dynamics. *Frontiers in physiology*, 8, 129. doi 10.3389/fphys.2017.00129
- Pavei, G., Seminati, E., Storniolo, J. L., y Peyré-Tartaruga, L. A. (2017). Estimates of running ground reaction force parameters from motion analysis. *Journal of applied biomechanics*, 33(1), 69-75. doi 10.1123/jab.2015-0329
- Pequera, G., Fábrica, G., Bonezi, A., y Pérez, N. (2014). *Frequency Domain Methodology to Analyze Muscle Activation Sequences during Explosive Movements*. In Biomedical Engineering Conference University of Concepcion, Chile.
- Rahmani, A., Locatelli, E., y Lacour, J. R. (2004). Differences in morphology and force/velocity relationship between Senegalese and Italian sprinters. *European Journal of Applied Physiology*, 91(4), 399-405. doi 10.1007/s00421-003-0989-x
- Sahu, D. P., & Nayek, B. (2015). Comparison of explosive strength between football and volleyball players of Purba Medinipur district. *International Journal of Physical Education, Sports and Health*, 1(3): 4-5.
- Samozino, P., Edouard, P., Sangnier, S., Brughelli, M., Gimenez, P., y Morin, J. B. (2014). Force-velocity profile: imbalance determination and effect on lower limb ballistic performance. *International journal of sports medicine*, 35(06), 505-510. doi: 10.1055/s-0033-1354382
- Samozino, P., Morin, J. B., Hintzy, F., y Belli, A. (2008). A simple method for measuring force, velocity and power output during squat jump. *Journal of biomechanics*, 41(14), 2940-2945. doi 10.1016/j.jbiomech.2008.07.028
- Samozino, P., Morin, J. B., Hintzy, F., y Belli, A. (2010). Jumping ability: a theoretical integrative approach. *Journal of Theoretical Biology*, 264(1), 11-18. doi 10.1016/j.jtbi.2010.01.021
- Sayers, S. P., Harackiewicz, D. V., Harman, E. A., Frykman, P. N., y Rosenstein, M. T. (1999). Cross-validation of three jump power equations. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 31(4), 572-577. PMID: 10211854
- Smirniotou, A., Katsikas, C., Paradisis, G., Argeitaki, P., Zacharogiannis, E., y Tziortzis, S. (2008). Strength-power parameters as predictors of sprinting performance. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 48(4), 447.
- Sousa, S., y Quieroti Rodrigues, E. (2014). Diferenças de desempenho e correlação entre



potência anaeróbia e salto vertical no futebol. *Fitness & Performance Journal (Online Edition)*, 10(1).

Wilson, G. J., Newton, R. U., Murphy, A. J., & Humphries, B. J. (1993). The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25(11), 1279-1286. PMID: 8289617

Winter, D. A. (2005). *Biomechanics and motor control of human movement*. 3^a ed. New Jersey: John Wiley & Sons,