

Determinación de la potencia máxima generada en el salto vertical

Ana M. Gómez Granados y Luis F. Aragón-Vargas

Introducción

La potencia es la rapidez con la que se efectúa un trabajo, por lo que si se realiza un trabajo mecánico en un intervalo de tiempo, estamos hablando de potencia media; y si lo vemos en términos de fuerza y velocidad, es el producto escalar de fuerza por velocidad instantánea (Arteaga, 2008). La máxima potencia muscular se obtiene con valores óptimos de fuerza y velocidad, por lo que es necesario evaluar la relación entre fuerza, velocidad y potencia para medir la potencia de forma precisa con protocolos como pruebas en cicloergómetro, pruebas de escaleras o pruebas de salto (Driss & Vandewalle, 2013; Vandewalle, Péérès, & Monod, 1987). A pesar de que existen muchos métodos para calcular la potencia en ejercicios dinámicos de tren inferior, no hay información que señale el método más efectivo para determinar potencia en movimientos atléticos (Cormie, McBride, & McCaulley, 2007).

En el área deportiva Requena, García, Requena, de Villarreal, & Pääsuke (2012) establecen que a pesar de que el rendimiento deportivo depende de muchos factores, la habilidad de un atleta de alcanzar un punto lo más alejado del suelo posible en un salto puede en muchos casos determinar la diferencia entre el éxito y el fracaso. Por lo que se ve la importancia de determinar la capacidad de salto a través de las pruebas de salto.

Bosco, Luhtanen, & Komi (1983) crean el método de Bosco, que es una prueba simple para la medida de la potencia mecánica promedio durante una serie de saltos verticales con rebote. Para poder obtener el dato de la potencia se requiere del tiempo en el aire y el número de saltos realizados en 60 segundos que es lo que establece el protocolo. Para calcular la potencia con los datos mencionados, Bosco et al. (1983) se basan en los siguientes supuestos: durante la fase de contacto el centro de gravedad se mueve a velocidad constante y el tiempo de la fase de trabajo positiva es la mitad del tiempo total de contacto. Ambos supuestos no son totalmente ciertos.

Acuña (2014) indica que en publicaciones anteriores donde se ha utilizado la prueba de Bosco, no se muestran diferencias importantes en la potencia obtenida en grupos muy distintos, como niños de 10 y jóvenes de 15 años. Por lo que es posible que la prueba de Bosco no esté midiendo correctamente lo que debe medir.

Acuña-Espinoza & Aragón-Vargas (2013) desarrollan un método llamado PotevAA para el cálculo de la potencia promedio durante saltos verticales consecutivos, donde a diferencia del método de Bosco que se calcula de manera indirecta, se obtienen datos directos a partir de la potencia instantánea, utilizando los registros obtenidos con una plataforma de fuerza. El objetivo general de Acuña (2014) era el de determinar si había diferencias en la potencia promedio calculada por el método PotevAA y el método de Bosco, al utilizar el protocolo propuesto por Bosco; el cual consiste en realizar saltos máximos seguidos durante 60 segundos, realizando una flexión de rodillas de 90° mientras están en contacto con la plataforma (Bosco et al., 1983).

El resultado más importante encontrado por Acuña (2014) es que si bien ambos métodos son estadísticamente distintos ($p < 0,0001$), guardan cierta correlación ($r^2 = 0,47$), lo cual se puede observar en el comportamiento de la potencia promedio medida con ambos métodos a través del tiempo y para distintos deportes (maratón, natación y voleibol). En el análisis, ningún método encuentra diferencia entre sujetos activos y sedentarios. Además, encuentra que las diferencias entre grupos se acortan hasta resultar no significativas para los últimos 15 segundos de la prueba, lo que se puede deber a condiciones fisiológicas (tabla 1). PotevAA demuestra ser conceptualmente correcta, sin embargo, no logra mejorar la sensibilidad de la prueba de Bosco.

Tabla 1. Resultados ANOVA por intervalos de tiempo para método de cálculo empleado y deportes, en el cálculo de potencia promedio.

Intervalos		Efecto principal		Interacción
		Método (A)	Deporte (B)	AxB
0-60 s	F	347.0677	6.7907	0.5355
	P	<0.0001*	0.0008*	0.6607
0-15 s	F	131.98	8.73	0.16
	p	<0.0001*	0.0001*	0.9241
15-30 s	F	274.40	5.01	0.90
	p	<0.0001*	0.0048*	0.4488
30-45 s	F	290.28	6.46	1.36
	p	<0.0001*	0.0012*	0.2688
45-60 s	F	185.47	2.43	0.11
	p	<0.0001*	0.0796	0.9524

Nota. Fuente: Adaptado de Acuña, A. (2014). Determinación de la potencia efectiva desarrollada durante una prueba de salto vertical (Tesis de maestría). Universidad de Costa Rica, San José.

* $p < 0.05$

Como se observa en los resultados anteriores, las pequeñas diferencias que existen entre grupos en intervalos al inicio de la prueba desaparecen al llegar a los últimos 15 segundos, lo que efectivamente va a afectar el promedio de cada sujeto. Por lo tanto, se propone reducir los intervalos al máximo para poder obtener por medio de la potencia instantánea, el valor máximo producido por cada sujeto, y detectar sus diferencias reales que se esperaría existieran por efecto del entrenamiento. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es determinar la potencia máxima generada en la fase de trabajo positiva por medio del método PotevAA en una serie de saltos de 60 segundos, y ver si dicha potencia difiere entre grupos con distintos niveles de actividad física y que practican distintos deportes.

Metodología

Sujetos

La muestra estuvo conformada por 36 sujetos, 18 sedentarios y 18 deportistas (6 maratonistas, 6 voleibolistas y 6 nadadores), los criterios de inclusión se describen detalladamente en el trabajo de Acuña (2014). Se utilizaron los datos ya recolectados, con las características que se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Características de los sujetos (n = 36).

Grupo	Edad (años)		Masa (kg)		Talla (cm)		Altura 1er salto (cm)		Altura promedio saltos 0-60 s (cm)	
	Prom.	D.E.	Prom.	D.E.	Prom.	D.E.	Prom.	D.E.	Prom.	D.E.
Voleibol	22.00	3.41	72.50	12.52	1.84	0.10	37.22	7.14	29.51	3.87
Maratón	30.83	7.70	73.44	11.07	1.75	0.05	20.64	1.96	20.86	3.00
Natación	32.17	6.91	79.05	4.57	1.77	0.06	28.37	6.91	20.79	3.00
Sedentarios	21.61	2.38	67.44	11.35	1.77	0.05	28.09	4.32	21.98	3.91

Instrumentos

Se utilizó el método PotevAA para obtener la potencia instantánea de los datos de fuerza recolectados con la plataforma de reacciones Bertec™, modelo 6090-15.

Procedimientos

Se desarrolló un algoritmo en el programa Matlab que permitiera complementar los datos que extrae PotevAA para obtener la potencia instantánea y determinar la máxima en cada salto de los datos crudos ya recolectados, para compararlas entre sí y obtener la potencia máxima generada por cada sujeto, y de esta manera poder determinar si existe diferencia según el nivel de actividad física. Como una manera de verificar la calidad de los análisis, se calculó la altura del salto a partir del tiempo en el aire, para el salto en el cual se detectó la potencia máxima de cada sujeto y se hizo un análisis de correlación para todos los sujetos entre su potencia máxima y la altura del salto correspondiente.

Análisis estadístico

Se hizo un ANOVA de 1 vía de grupos independientes para comparar entre nivel de actividad física (deportistas vs. sedentarios), y otro para comparar entre deporte practicado (maratón, voleibol, natación y sedentarios) para cada una de las variables dependientes: potencia máxima bruta y potencia máxima normalizada por masa corporal. Además, se hizo una correlación de Pearson para ver la relación entre la potencia máxima y la altura del salto en el cual se generó dicha potencia. Los análisis se llevarán a cabo en el programa estadístico SPSS versión 15.0.

Resultados

La tabla 3 muestra los datos de potencia máxima (W) generada por cada sujeto y la potencia máxima normalizada, resultante de dividir la potencia máxima de cada sujeto entre su masa corporal (W/Kg). Se presenta además la altura del salto correspondiente al intento en el cual se alcanzó la potencia máxima.

Tabla 3. Resultados por grupo

Grupo	Potencia máxima (W)		Potencia máxima normalizada (W/Kg)		Altura de salto de potencia máxima (m)	
	Prom.	D.E.	Prom.	D.E.	Prom.	D.E.
Voleibol	2373.37	472.78	33.14	6.68	0.38	0.05
Maratón	1773.33	739.49	23.67	7.42	0.25	0.05
Natación	2008.73	179.13	25.44	1.72	0.29	0.04
Sedentarios	1768.05	255.55	26.63	2.84	0.26	0.06

Como lo muestran las figuras 1 y 2, no se encontró diferencia significativa entre participantes activos y sedentarios para la potencia máxima normalizada (activos: 27.41 ± 6.93 Watts \cdot kg $^{-1}$, sedentarios: 26.63 ± 2.84 Watts \cdot kg $^{-1}$, $p = 0.659$) ni para la potencia máxima bruta (activos: 2051.81 ± 548.21 Watts, sedentarios: 1768.05 ± 255.55 Watts, $p = 0.055$) respectivamente.

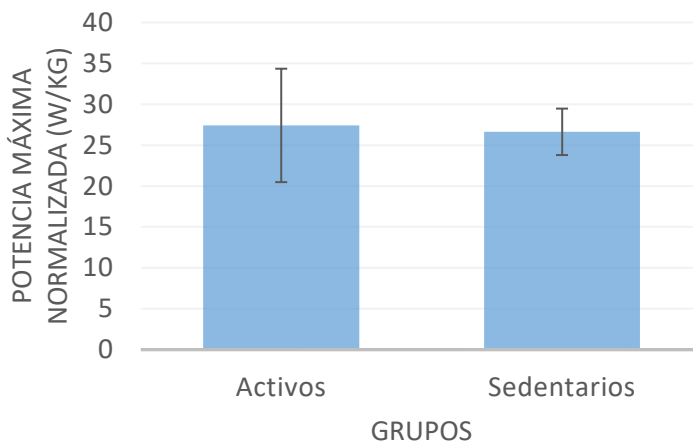


Figura 1. Comparación de la potencia máxima normalizada entre activos (n=18) y sedentarios (n=18). $F=0.198$; $p=0.659$.

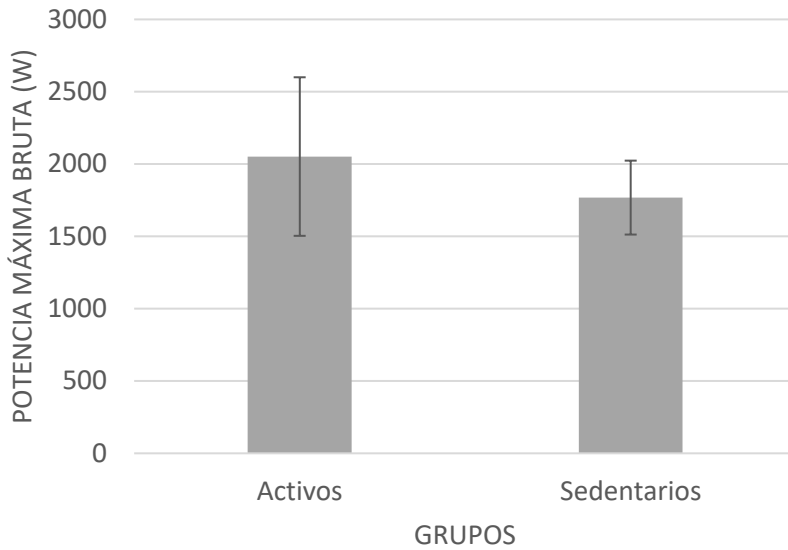


Figura 2. Comparación de la potencia máxima bruta entre activos (n=18) y sedentarios (n=18). F=3.962; p=0.055.

Las figuras 3 y 4 muestran que sí hubo diferencia significativa entre los cuatro grupos de participantes para la potencia máxima normalizada ($p = 0.005$) y para la potencia máxima bruta ($p = 0.020$), respectivamente. El análisis post hoc de Tukey mostró que el grupo de voleibol tuvo una mayor potencia normalizada que todos los demás grupos ($p < 0.05$). En el caso de la potencia máxima bruta, el grupo de voleibol fue superior solamente al grupo de sedentarios ($p < 0.05$).

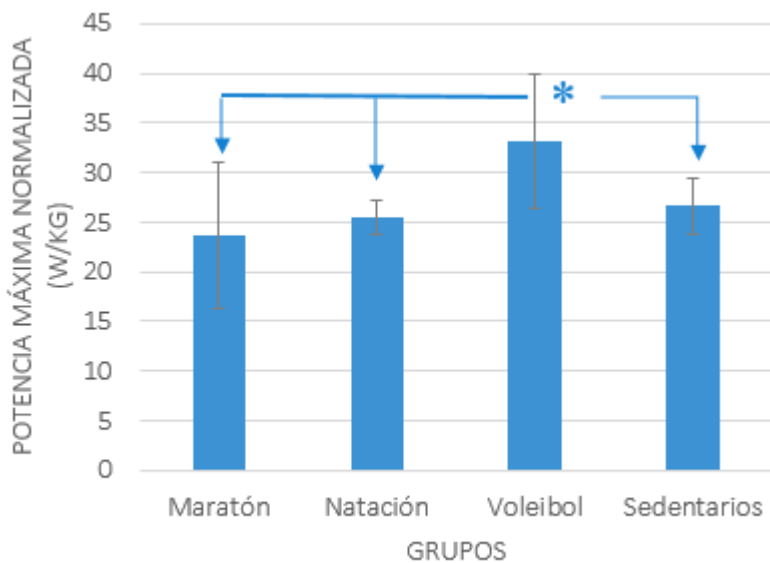


Figura 3. Comparación de la potencia máxima normalizada entre maratón (n=6), natación (n=6), voleibol (n=6) y sedentarios (n=18). (*) F=5.078; p=0.005.

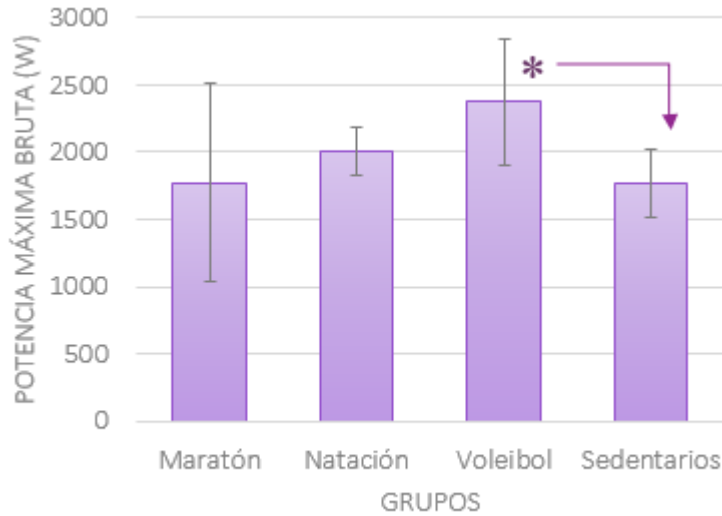


Figura 4. Comparación de la potencia máxima bruta entre maratón (n=6), natación (n=6), voleibol (n=6) y sedentarios (n=18). (*) F=3.793; p=0.020.

Se encontró un coeficiente de correlación de Pearson significativo ($p < 0.001$) de $r = 0.658$ entre la altura del salto correspondiente a la máxima potencia y la potencia máxima normalizada, como se muestra en la Figura 5.

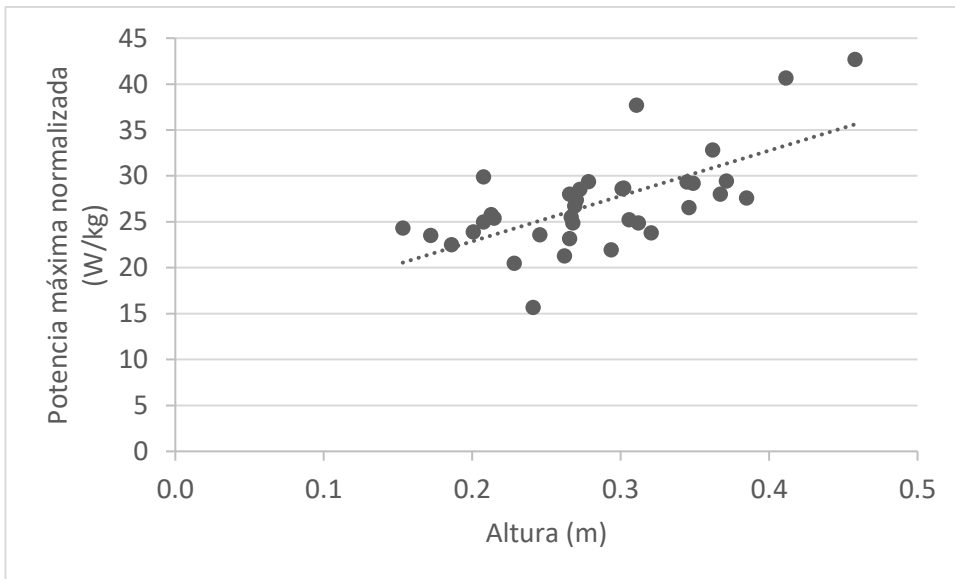


Figura 5. Relación entre potencia máxima normalizada y altura del salto, $r = 0.658$, $p < 0.001$.

Discusión

El hallazgo más importante de este estudio fue obtener las potencias máximas producidas por cada sujeto, para lograr identificar si las potencias promedio obtenidas anteriormente con los datos de los mismo sujetos (Acuña, 2014) son realmente representativas, además para investigar más a fondo donde podrían hacerse modificaciones en dicha prueba de salto para poder plantear una prueba nueva que realmente identifique la potencia de los sujetos.

La correlación de Pearson se hizo con el propósito de corroborar si las potencias máximas que se estaban obteniendo eran correctas, ya que se sabe que existe una alta correlación entre la potencia mecánica pico producida y la altura del salto (Dowling, & Vamos, 1993). Al obtener una relación significativa positiva y moderadamente alta, tenemos mayor confianza en que los datos reportados de las potencias máximas son reales.

En ambas potencias encontradas, se puede observar en la Tabla 3 que la desviación estándar del grupo de maratón es la mayor comparada con los otros grupos, y siendo uno de los grupos con menor promedio, tiene sujetos que alcanzan valores iguales a los del promedio de voleibol que son los mayores. Esta desviación estándar lo que nos dice es que existe mucha variabilidad entre los sujetos del grupo de maratón, que puede deberse al tipo de entrenamiento que realizan, a la fase del entrenamiento en que se encontraban o que en sí los criterios de inclusión no seleccionaron atletas de un nivel similar.

Al observar los datos de promedio de potencia obtenidos por Acuña (2014) para cada grupo (Voleibol: 8.87 ± 0.98 Watts•kg⁻¹, Maratón: 7.61 ± 2.3 Watts•kg⁻¹, Natación: 7.43 ± 1.32 Watts•kg⁻¹, Sedentarios: 6.83 ± 1.25 Watts•kg⁻¹) se ve que los sujetos que en promedio desarrollaron mayores potencias promedio, no corresponden a los que obtuvieron mayores potencias máximas, sin tomar en cuenta el grupo de voleibol que obtuvo los valores máximos en ambas variables. En la potencia promedio antes señalada, los sedentarios obtienen los valores menores, a diferencia de la potencia máxima donde están por encima de los de maratón y natación. Además al observar los promedios de potencia promedio normalizada y los de potencia máxima normalizada, podemos ver que las diferencias en los valores es bastante grande, de hasta más de 3 veces el promedio de la potencia, lo que evidencia que el protocolo de la prueba es muy largo, por lo que al tomar la potencia en promedio de un intervalo tan amplio de tiempo, no se representa adecuadamente la potencia real que es capaz de producir un sujeto y se diluyen las posibles diferencias entre grupos de atletas. En pocas palabras, el protocolo de la prueba de Bosco es demasiado largo para medir lo que pretende medir.

En cuanto al análisis estadístico realizado para la potencia normalizada, se esperaba encontrar diferencias entre el promedio de activos y sedentarios, bajo la hipótesis de que la potencia promedio estudiada por Acuña (2014) no encontraba diferencias entre dichos grupos al deberse a un intervalo muy amplio (60 s) y este no mostraba las diferencias reales que se podrían encontrar al estudiar los datos en el mínimo intervalo posible (instante). Sin embargo, al utilizar los datos de potencia instantánea y analizar únicamente el valor máximo, tampoco se encuentran diferencias entre estas poblaciones (Tabla 4). Con esta misma variable al hacer el análisis por deporte, se encuentran los mismos resultados que Acuña (2014), donde al hacer la prueba post hoc de Tukey, se ven diferencias significativas, siendo mayor el valor en los sujetos de voleibol con respecto a natación, maratón y los sedentarios. Al utilizar diferentes métodos para obtener la potencia y encontrar resultados que

se asemejan en el comportamiento entre grupos, nos da la idea de pensar en modificar lo que se hizo en común en ambas investigaciones, que fue no el método, sino el protocolo; por lo que se recomendaría utilizar un protocolo donde el tiempo de la prueba sea menor.

Conclusiones

Al dividir a los sujetos en dos grupos, deportistas y sedentarios, no se encuentra una diferencia significativa en sus promedios de potencia máxima. Se encuentran diferencias significativas al dividir el grupo de los deportistas, pues los sujetos de voleibol obtienen mayores valores significativos al compararlos contra maratón, natación y sedentarios. Se recomienda utilizar un protocolo con un tiempo de prueba más corto para que los sujetos puedan dar su máximo sin tener que pensar en guardar energía para todo el tiempo de la prueba.

Referencias

- Acuña, A. (2014). Determinación de la potencia efectiva desarrollada durante una prueba de salto vertical (Tesis de maestría). Universidad de Costa Rica, San José.
- Acuña-Espinoza, A., & Aragón-Vargas, L. (2013). Método para la determinación de la potencia efectiva para el salto vertical: Informe técnico. *Repositorio Kerwa*. doi: <http://hdl.handle.net/10669/11364>
- Arteaga, R. (2008). Trabajo, potencia y energía. In M. Izquierdo (Ed.), *Biomecánica y bases neuromusculares de la actividad física y el deporte* (16 ed., pp. 281-297). Madrid: Editorial Médica Panamericana.
- Bosco, C., Luhtanen, P., & Komi, P. V. (1983). A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 50(2), 273-282.
- Cormie, P., McBride, J. M., & McCaulley, G. O. (2007). Validation of power measurement techniques in dynamic lower body resistance exercises. *Journal of Applied Biomechanics*, 23(2), 103.
- Dowling, J. J., & Vamos, L. (1993). Identification of kinetic and temporal factors related to vertical jump performance. *Journal of Applied Biomechanics*, 9, 95-110.
- Driss, T., & Vandewalle, H. (2013). The measurement of maximal (anaerobic) power output on a cycle ergometer: a critical review. *BioMed Research International*, 2013.
- Requena, B., García, I., Requena, F., de Villarreal, E. S.-S., & Pääsuke, M. (2012). Reliability and validity of a wireless microelectromechanicals based system (Keimove™) for measuring vertical jumping performance. *Journal of Sports Science & Medicine*, 11(1), 115.
- Vandewalle, H., Péterès, G., & Monod, H. (1987). Standard anaerobic exercise tests. *Sports Medicine*, 4(4), 268-289.