

Velocidad horizontal salto alto masculino en el campeonato mundial de atletismo 2017

Horizontal speed men's high jump at the 2017 world athletics championship

Noel Fernando Mejía¹

Resumen

La biomecánica y la estadística son ciencias ampliamente utilizadas en el análisis de gestos deportivos y asociación de variables determinantes para el logro de los objetivos. El salto de altura es uno de los eventos más estudiados en el atletismo, analizándose al redor de 30 variables, entre las cuales la velocidad horizontal ha sido ampliamente estudiada. Sin embargo, se desconoce la actualidad y aplicabilidad de las asociaciones en atletas de elite. El objetivo del presente estudio es actualizar el conocimiento, la evolución del componente de la velocidad horizontal y sus asociaciones con otras variables en los 10 finalistas del evento del salto alto masculino del Campeonato Mundial de London 2017. Los finalistas presentaron asociaciones significativas respecto al efecto de la velocidad horizontal en el despegue sobre la velocidad vertical (R20.73) y el ángulo de despegue (R20.73). La ganancia y pérdida de velocidad horizontal son prerequisites para la fase de despegue.

Palabras clave: Biomecánica, salto alto, velocidad horizontal, velocidad vertical.

Recibido: 25 de febrero de 2021 Aceptado: 05 de enero de 2022

Received: February 25, 2021 Accepted: January 05, 2022

Abstract

Biomechanics and statistics are widely used sciences in the analysis of sports gestures and association of determining variables for the achievement of objectives. The high jump is one of the most studied events in athletics, analyzing around 30 variables, among which horizontal speed has been widely studied. However, the topicality and applicability of the associations in elite athletes is unknown. The objective of this study is to update the knowledge, the evolution of the horizontal speed component and its associations with other variables in the 10 finalists of the men's high jump event of the London 2017 World Championships. The finalists presented significant associations regarding the effect of the horizontal speed at take-off over the vertical speed (R2.73) and the take-off angle (R2.73). The horizontal speed gain and loss are prerequisites for the take-off phase.

Keywords: Biomechanics, high jump, horizontal speed, vertical speed.

¹ Master en Actividad Física y Entrenamiento Deportivo
Universidad Nacional autónoma de Honduras.
E-mail: nmejia@unah.edu.hn

Introducción

Hoy en día el éxito deportivo está condicionado por el análisis de los parámetros y variables más determinantes del rendimiento deportivo. En este sentido, la biomecánica y la estadística son dos ciencias que abonan al análisis de los gestos deportivos. La biomecánica describe los movimientos globales o parciales del cuerpo y explica las causas que producen dichos movimientos (Izquierdo, 2008); igualmente la estadística describe y explica cómo estos mismos movimientos que componen una fase de un gesto deportivo, tienen efecto y se asocian con movimientos y fases sucesivas (Lind, et al., 2012).

El salto de altura es uno de los eventos más estudiados en el atletismo. Con regularidad la Asociación Internacional de Federaciones de Atletismo (IAAF), emite reportes biomecánicos de los distintos eventos desarrollados en Campeonato Mundial (CM) y Juegos Olímpicos (JJO). Para el salto alto, estos reportes abarcan alrededor de 30 variables.

De estas variables, las más estudiadas son la velocidad horizontal, la velocidad vertical y los ángulos de distintos segmentos y proyección corporal (Coh & Supej, 2008). El estudio de la asociación entre estas variables se descompone de acuerdo a las tres fases en que se divide el salto alto: (1) aproximación, (2) despegue, y (3) vuelo. El salto alto, siendo un movimiento parabólico, sigue una trayectoria predeterminada, previsible e inalterable, para lo cual el ángulo óptimo y las fuerzas aplicadas en la fase de despegue son cruciales a fin de determinar la suficiente velocidad vertical con la que se alcance la máxima altura vertical en la fase de vuelo.

Pese a lo determinante de la velocidad vertical en el despegue, esta no podría alcanzar el valor adecuado si en la fase de aproximación, especialmente en los últimos tres apoyos, no se generase la velocidad horizontal suficiente (Dapena, 1980). De manera que, la velocidad horizontal se constituye en un prerequisite en el logro de las condiciones óptimas (fuerza reactiva, velocidad vertical) para la fase de despegue.

Las asociaciones de la velocidad horizontal en el salto alto están ampliamente documentadas (Dapena, 1980; Dapena, et al., 1990; Dapena, 2000; Greig & Yeadon, 2000; Lermakov, 2013; Ortega & Pino, 2015; Becker & Wu, 2015), sin embargo, las limitaciones de algunos de estos estudios son: (1) utilización de atletas de alto rendimiento, pero no de la elite perteneciente al evento; (2) registro de las características biomecánicas en eventos ajenos a CM y JJO. Así, se desconoce en qué medida la generalización de las asociaciones del salto alto son transferibles a un grupo reducido de atletas de elite en condiciones reales y de elevada exigencia competitiva.

El objetivo del presente estudio es actualizar el conocimiento, la evolución del componente de la velocidad horizontal y sus asociaciones con otras variables del salto alto masculino en atletas de elite.

Metodología

El presente estudio se dirigió bajo el enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental, transversal y con alcances correlacional y explicativo.

Recolección de datos y población

Para el análisis biomecánico se utilizó los datos provistos por la IAAF en el reporte

biomecánico de la competencia de salto alto en la rama masculina llevada a cabo en el Mundial de Atletismo de London 2017 (Nicholson & Merlino, 2017). En dicho reporte se especifica el equipamiento, los puntos de referencias y el algoritmo utilizado en la recolección de los datos. El registro de los datos correspondientes a las variables de estudio, se realizó durante la fase final del evento en la que participaron 10 atletas.

Análisis estadístico

La distribución normal de los datos fue comprobada mediante el estadístico Shapiro-Wilk, (sig. 0.05). Se proporcionan los valores medios y las desviaciones estándar de las variables correlacionadas. Para mostrar la relación entre variables se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson (r), utilizando los siguientes valores en la interpretación de los coeficientes: $r \leq -0.50$ a ≤ 0.50 correlación débil; $r \geq -0.51$ a ≤ -0.75 / $r \geq 0.51$ a ≤ 0.75 correlación media; $r \geq -0.76$ a ≤ -0.90 / ≥ -0.76 a ≤ -0.90 correlación considerable; $r \geq -0.90$ y ≥ 0.90 correlación fuerte (Hernández, 2014). Se ejecutó el análisis de regresión lineal con las variables en las que se idéntico asociación. Los procedimientos estadísticos fueron desarrollados con el programa de IBM SPSS 20.0, con una significancia estadística de $p = 0.05$ (una y dos colas) y de $p = 0.01$ (una y dos colas).

Resultados

En la tabla 1 se muestran las correlaciones entre la velocidad vertical del CDM (TO) en el despegue y la altura CDM en el último contacto del despegue, así como entre la velocidad vertical resultante del CDM en el despegue y la velocidad horizontal del CDM (TO) en el despegue. En ambos casos las correlaciones fueron positivas y significativas.

Tabla 1.
Variables asociadas a la velocidad horizontal en el despegue en el CM 2017

Variables	x	s	Velocidad vertical CDM (TO) en el despegue. (x=4.7m/s, s=0.13)	Velocidad vertical resultante del CDM en el despegue. (x=6.21m/s, s=0.43)
Altura CDM en el último contacto del despegue.	0.90 m	0.05	r = 0.77* p = 0.00	
Velocidad horizontal CDM (TO) en el despegue.	4.13 m/s	0.44	r = 0.86* p = 0.00	

*Correlación significativa en el nivel de 0.01 (2 colas)
 x = media
 s = Desviación estándar

Fuente: elaboración propia.

Los valores de la velocidad vertical y la velocidad horizontal del CM 2017, mostraron diferencias significativas (Tabla 2) con los resultados correspondientes al CM 2005.

Tabla 2.
Prueba t para igualdad de medias del CM 2005 y del CM 2017.

Variables	2005		2017		t	gl	Sig. (bilatera 0.05)
	x	s	x	s			
Altura CDM en el último contacto del despegue. (% a la altura)	71.53 m (%)	1.40	60.28 m (%)	2.14	2.872	14.691	0.012
Velocidad horizontal CDM (TD) en el despegue.	7.78 m/s	0.33	7.41 m/s	0.45	2.498	19.121	0.022
Velocidad vertical CDM (TD) en el despegue.	-0.33 m/s	0.15	-0.53 m/s	0.21	2.552	1.796	0.021
Velocidad vertical CDM (TO) en el despegue.	4.29 m/s	0.15	4.70 m/s	0.13	-6.685	20.715	0.000
Angulo (mínimo) de rodilla en el despegue.	143.72°	8.26	134.10°	6.11	3.208	20.987	0.004

x = media
 s = Desviación estándar

Fuente: elaboración propia

Tabla 3.
Relación lineal de la velocidad horizontal del CDM en el despegue sobre la velocidad vertical resultante del CDM en el despegue del CM 2017.

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig. (0.05)
	B	Error estándar			
(Constante)	2.739	0.730		3.735	0.006
Velocidad horizontal CDM (TO) en el despegue.	0.840	0.176	0.860	4.759	0.001

Variable dependiente: Velocidad vertical resultante CDM en la batida
 Variable independiente: Velocidad horizontal CDM en la batida

Fuente: elaboración propia

En la figura 1 y la tabla 4 se muestran: (1) la correlación de la velocidad horizontal en la batida con el ángulo de despegue, y (2) el modelo de análisis que establece la relación lineal entre el ángulo de la batida (variable dependiente) y la velocidad horizontal del CDM en el despegue (variable independiente) en los finalistas del CM 2017, respectivamente.

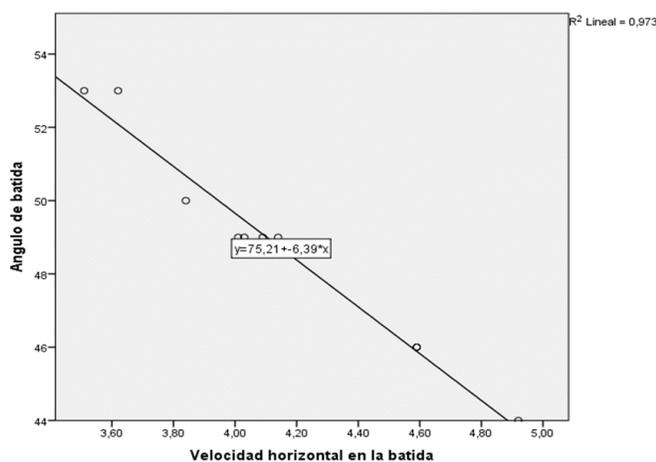


Figura 1. Relación lineal de la velocidad horizontal CDM en el despegue sobre el ángulo del despegue en el CM 2017.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.
Relación lineal de la velocidad horizontal CDM en el despegue sobre el ángulo de despegue en el CM 2017

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig. (0.05)
	B	Error estándar	Beta		
(Constante)	75.212	1.567		47.997	0.000
Velocidad horizontal CDM (TO) en el despegue.	-6.389	0.377	-0.986	-16.944	0.000

Variable dependiente: Ángulo de la batida
 Variable independiente: Velocidad horizontal CDM en el despegue

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 5 se muestra la correlación de la velocidad horizontal en la batida con el cambio de la velocidad horizontal (TD-TO), la distancia del último paso, el ángulo mínimo alcanzado en la flexión de la rodilla, y el tiempo de extensión de la rodilla al momento de la batida. Todas las correlaciones fueron positivas y significativas.

Tabla 5.
Variables asociadas a la velocidad horizontal en el despegue durante el CM 2017.

Variables	x	s	Velocidad horizontal en la batida. (x=4.7m/s, s=0.13)
Velocidad horizontal CDM (TD) en el despegue.	7.4 m/s	0.35	r = 0.78* p = 0.00
Cambio (%) de velocidad horizontal CDM en el despegue (TD-TO)	-44.35 m/s (%)	4.27	r = 0.91* p = 0.00
Distancia del último paso	2.06 m	0.11	r = 0.63* p = 0.05
Ángulo (mínimo) de rodilla en el despegue.	134.10°	6.11	r = 0.63* p = 0.04
Tiempo de extensión de rodilla en el último contacto para el despegue.	0.73 s	0.008	r = 0.67* p = 0.03

*Correlación significativa en el nivel de 0.01 (2 colas)
 x = media
 s = Desviación estándar

Fuente: elaboración propia

En la tabla 6 se muestra la correlación de la velocidad vertical resultante del CDM en el despegue con la velocidad horizontal CDM (TD) en el despegue, la velocidad horizontal del CDM (TO) en el despegue, y el cambio (%) de velocidad horizontal del CDM en el despegue (TD-TO). Todas las correlaciones fueron positivas y significativas. Además, puede observarse el cambio de la velocidad horizontal en los dos momentos de la fase de despegue TD y TO.

Tabla 6.
Variables asociadas a la velocidad vertical resultante en el despegue durante el CM 2017.

Variables	x	s	Velocidad vertical resultant CDM en el despegue. (x=6.21m/s s=0.43)
Velocidad horizontal CDM (TD) en el despegue.	7.41 m/s	0.35	r = 0.73* p = 0.01
Velocidad horizontal CDM (TO) en el despegue.	4.13 m/s	0.44	r = 0.86* p = 0.00
Cambio (%) de velocidad horizontal CDM en el despegue (TD-TO)	-44.35 m/s	4.27	r = 0.75* p = 0.01

*Correlación significativa en el nivel de 0.01 (2 colas)
 x = media
 s = Desviación estándar

Fuente: elaboración propia

Finalmente, en la tabla 7 se muestra la correlación observada entre la altura del CDM en el último contacto del despegue y el ángulo de ataque del CDM en el primero, segundo y tercer apoyo de la carrera de aproximación. Todas las correlaciones fueron positivas y significativas.

Tabla 7.
Variables asociadas a la altura CDM en el último contacto del despegue durante el CM.

Variabes	x	s	Altura CDM en el último contact del despegue. (x=0.90, s=0.5)
Angulo de ataque de CDM en el primer apoyo de la fase de despegue.	51.04°	4.68	r = 0.915* p = 0.001
Angulo de ataque de CDM en el segundo apoyo de la fase de despegue.	46.22°	5.32	r = 0.67* p = 0.03
Angulo de ataque de CDM en el tercer apoyo de la fase de despegue.	42.87°	6.08	r = 0.63* p = 0.04

*Correlación significativa en el nivel de 0.01 (2 colas)
 x = media
 s = Desviación estándar

Discusiones

Considerando que la velocidad horizontal es prerequisite de las condiciones óptimas (fuerza reactiva, velocidad vertical) en la fase de despegue, se exponen primeramente las asociaciones con la velocidad vertical.

Mihajlović y Šolaja (2007) e Isolehto et al., (2007) indicaron que la máxima altura del centro de masa (CDM) durante el vuelo (sobre la barra) depende de la altura y la velocidad vertical del CDM durante la batida, sin embargo, en el CM 2017 no se encontró asociación entre dichas variables. No obstante, si se identificaron correlaciones positivas y significativas entre la velocidad vertical del CDM (TO) en el despegue y la altura del CDM en el último contacto del despegue, así como entre la velocidad vertical resultante del CDM en el despegue y la velocidad horizontal del CDM (TO) en el despegue (Tabla 1).

Los valores de la velocidad vertical y horizontal del CM 2017, mostraron diferencias significativas (Tabla 2) con los resultados reportados por Isolehto, et al., (2007) correspondientes al CM 2005. La reducción de la velocidad horizontal del CM 2017, se contrasta con el aumento de la velocidad vertical del mismo CM. Esto sugiere la modulación de la velocidad horizontal en beneficio de una mayor velocidad vertical. Otro aspecto que, de acuerdo con Dapena y Ficklin (2007), contribuye a la velocidad vertical son los grados de inclinación del tronco, sin embargo, en los resultados del CM 2017, no se observaron asociaciones entre la velocidad vertical y los ángulos de inclinación del tronco en los planos frontal y lateral en el momento del último apoyo del despegue. De tal modo, que como se observa en la tabla 3 (modelo de regresión lineal), el mayor predictor de la velocidad vertical resultante en el salto alto durante el CM 2017, fue la velocidad horizontal, explicando su efecto en un 73% (R²=0.73).

La correlación entre la velocidad horizontal y vertical en el despegue (Tabla 1 / r = 0.86, p = 0.00) del CM 2017 es

superior que la reportada en 1990 por Dapena, et al., ($r = 0.79$). Igualmente, el análisis de regresión (Tabla 3) demostró el poder predictivo de la velocidad horizontal en el despegue sobre la velocidad vertical resultante en el despegue. Este resultado respalda lo enunciado por Dapena y Ficklin (2007), respecto a la importancia de la velocidad horizontal del último paso, lo que se evidencio en las diferencias significativas (Tabla 2) entre los valores del CM 2017 y los reportados por Isolehto, et al., (2007), correspondientes al CM 2005.

La velocidad horizontal en la batida también tuvo un efecto sobre el ángulo de despegue; la correlación negativa de $r = -0.98$ (Figura 1) indica que los finalistas (CM 2017) que desarrollaron una mayor velocidad horizontal en el despegue, alcanzaron un menor grado de inclinación (optimo) para el despegue. Como ejemplo el medallista de oro registro una velocidad horizontal de 4.60 m/s, lo que le permitió alcanzar un ángulo de despegue de 46o, muy cercano al ideal en los lanzamientos parabólicos. En contraparte, el 4to. lugar registro la menor velocidad horizontal de la competencia (3.51 m/s) y el mayor ángulo de despegue de la competencia (53o). De acuerdo con el análisis de regresión (Figura 1, Tabla 4), este saltador podría reducir el ángulo de inclinación hasta 46.61o (53o-6. 39o) si aumentara su velocidad 1 m/s. En efecto la velocidad horizontal condiciona (explica) el 97% ($R^2=0.97$) del ángulo de despegue.

Pese a las condiciones ideales de una adecuada velocidad horizontal y un ángulo de despegue optimo, los cambios en dichas variables deberían ser sustanciales. Por ejemplo, para ganar 2 cm extras en la altura máxima, el ángulo de batida debería establecerse en 4o y la velocidad

horizontal en 0.2 m/s (Linthorne & Kemble, 1998).

La fase de despegue se divide en dos momentos (Davila, & Soto, 1992): (1) la caída del último pie de apoyo (TD), y (2) el despegue del suelo de dicho pie (TO). De acuerdo con la tabla 5 las correlaciones de estos dos momentos ($r=0.78$), junto con el cambio de la velocidad horizontal (TD-TO) ($r=0.91$), la distancia del último paso ($r=0.63$), el ángulo mínimo alcanzado en la flexión de la rodilla ($r=0.63$) y el tiempo de extensión de la rodilla al momento de la batida ($r=-0.67$), refuerzan la importancia de llegar con suficiente velocidad horizontal al momento del último contacto para la batida (TD). Cabe destacar que dicha velocidad debe ser reducida considerablemente durante la batida; como se muestra en la tabla 6, los finalistas del CM 2017 pasaron de una velocidad de 7.41 m/s en el TD a 4.13 m/s en el TO, manteniendo solamente un 55.73 % de la velocidad inicial. De esta manera la perdida de la velocidad horizontal acumulada en la aproximación fue convertida en velocidad vertical en la batida (Dapena & Ficklin, 2007; Coh & Supej, 2008). Los finalistas del CM 2017 registraron una ganancia en la velocidad vertical del 88.51 %, pasando de -0.53 m/s (TD) a 4.7 m/s (TO).

No obstante, la perdida de velocidad horizontal no debe ser excesiva. En este sentido la distancia del último paso debe ser la adecuada a fin de no plantar el pie demasiado al frente del CDM; esto crearía una disminución excesiva del ángulo de la rodilla con el objeto de amortiguar la caída, sin embargo, dicho amortiguamiento aumentaría el tiempo de extensión de la rodilla para la batida, todo esto en detrimento de la velocidad horizontal y consecuentemente la velocidad vertical (Mihajlović, & Šolaja,

2007). Lo expuesto se respalda con la diferencia significativa (Tabla 2) en el mínimo ángulo de flexión de la rodilla registrado en el CM 2017 con respecto al CM 2005 (Isolehto, et al., 2007), por lo que se presume el énfasis del entrenamiento en la reducción de las variables expuestas.

Una de las claves para alcanzar una adecuada velocidad vertical del CDM en el despegue, es que el CDM inicie su desplazamiento vertical desde una posición más baja (Dávila & Soto, 1992). Las correlaciones mostradas en la tabla 7 (CM 2017) señalan como los ángulos de ataque del CDM en los últimos tres pasos colaboraron a tener el CDM más bajo en el último apoyo, antes del despegue.

Conclusiones

No solamente es importante llegar con la suficiente velocidad horizontal a la fase de despegue, sino que además se debe procurar que la pérdida de la misma sea transformada a velocidad vertical. De esta manera se alcanzan las condiciones

óptimas que permiten aprovechar al máximo la fuerza reactiva del suelo en respuesta a la fuerza aplicada por el atleta y desarrollada como producto de la velocidad horizontal.

Los finalistas del CM de 2017 mostraron una reducción de la velocidad horizontal y un aumento de la velocidad vertical, en comparación con los finalistas del CM de 2005. Esto indica el énfasis que en los últimos años se le ha dado a la transferencia de la velocidad en el entrenamiento del salto alto.

Pese a la importancia de la relación entre velocidad horizontal y el ángulo de despegue, resulta difícil poder alcanzar unos valores adecuados en ambas variables para producir cambios sustanciales en la altura de batida. Al respecto, es más factible lograr ángulos óptimos de ataque durante la carrera de aproximación con la finalidad de descender aún más el CDM en favor de aumentar la velocidad vertical, la cual se relaciona con la altura de batida.

Referencias

- Becker, J. & Wu, W. (2015). Integrating biomechanical and motor control principles in elite high jumpers: A transdisciplinary approach to enhancing sport performance. *Journal of Sport and Health Science* 4, 341–346.
- Coh, M., & Supej, M. (2008). Biomechanical model of the take-off action in the high jump: a case study. *New Stud Athlet*, 23(4), 63-73.
- Dapena, J. & Ficklin, T. (2007). High jump. Men. Report for Scientific Services Project (USATF). USA Track & Field, Indiana University.
- Dapena, J. (1980): Mechanics of translation in the Fosbury-flop. *Med. Sci. Sports Exerc.* 12, 37-44.
- Dapena, J. (2000). *The high jump*. In V. Zatsiorsky (Ed.), *Biomechanics in Sport* (pp. 284-311). Blackwell Science: Oxford.

- Dapena, J., McDonald C. & Cappert J. (1990). A Regression Analysis of high jumping technique. *J. Sport Biomechanics*. 6, 246-261.
- Davila, G. & Soto, V. (1992). Análisis biomecánico del salto de altura en el estilo Fosbury-Flop. *Archivos de Medicina del Deporte*. 9(35), 253-263.
- Greig, M. & Yeadon, M. (2000). The influence of touchdown parameters on the performance of a high jumper. *J. Applied Biomechanics*. 16, 367-378.
- Hernández, R. (2014). *Metodología de la investigación*. México. McGrawHill.
- Isolehto, J., Virravirta, M., Kyröläinen, H. & Komi, P. (2007). Biomechanical analysis of the high jump at the 2005 IAAF World Championships in Athletics, NSA, IAAF., 22(2), 17-27.
- Izquierdo, M. (2008). Biomecánica y bases neuromusculares de la actividad física y el deporte. Editorial Panamericana.
- Lermakov, S. (2013). Biomechanics aspects of technique of high jump. *Physical Education of Students*, 17(2), 11-17.
- Lind, D., Marchal, W. & Wathen, S. (2012). Estadística aplicada a los negocios y la economía. McGraw-Hill.
- Linthorne, N., & Kemble, B. (1998). *Take-Off Technique In The High Jump*. 16 International Symposium on Biomechanics in Sports. University of Sydney, Australia.
- Mihajlović, I., & Šolaja, M. (2007). Model Characteristics Of High Jumpers' competitive Activities. *Sport Scientific and Practical Aspects*, 51(1,2), 66-69.
- Nicholson, G. & Merlino, S. (2017). Biomechanical report for the IAAF World Championships London 2017, High Jump Men's. Leeds Beckett University. IAAF.
- Ortega, G. & Pino, R. (2015). Revisión teórica del salto de altura, técnica fosbury-flop. Análisis descriptivo de las fases. *Revista Ciencias de la Actividad Física*. 16(2), 95-101