
TÍTULO: “Validación de una nueva herramienta para la valoración biomecánica de la carrera en tapiz rodante”.

AUTORES: Ogueta-Alday A, Morante JC, Diez-Leal S, Lazo R, Rodríguez-Marroyo JA, Villa JG, García-López J.

ACTO: XXXIII Congreso de la Sociedad Ibérica de Biomecánica y Biomateriales.

REF. CD-ROM: “XXXIII Congreso de la Sociedad Ibérica de biomecánica y Biomateriales BioValencia’10”. Ed. Vicerrectorado de Investigación y Política Científica. Universitat de València. ISBN: 978-84-936128-2-5. 2010.

LUGAR/AÑO: Valencia, 11-13 de noviembre de 2010.



VALIDACIÓN DE UNA NUEVA HERRAMIENTA PARA LA VALORACIÓN BIOMECÁNICA DE LA CARRERA EN TAPIZ RODANTE

Ogueta-Alday A, Morante JC, Diez-Leal S, Lazo R, Rodríguez-Marroyo JA, Villa JG, García-López J
Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Instituto de Biomedicina. Universidad de León.

RESUMEN

El objetivo del trabajo es adaptar y validar un sistema optoeléctrico de bajo coste, capaz de registrar y analizar los parámetros biomecánicos básicos de la carrera durante un tiempo ilimitado a velocidad estable en tapiz rodante. Participaron 15 corredores de fondo y medio fondo de nivel nacional (25 ± 1 años, 69.5 ± 1.4 kg y 1.77 ± 0.02 m). Realizaron una prueba en tapiz rodante donde se registraron las variables biomecánicas básicas de la carrera (tiempos de apoyo y de vuelo, frecuencia y amplitud de zancada) a 7 velocidades diferentes (10-22 km/h) durante estadíos estables de 2 minutos. Entre los 60-70 y 100-110 s de cada velocidad se tomaron simultáneamente registros mediante el software Sport-Bio-Running®, conectado a la plataforma de contacto láser y un sistema de vídeo de alta velocidad (considerado como método de referencia). A su vez, los corredores fueron clasificados como talonadores o de antepié-planta entera (Hasegawa et al., 2007), en función de su tipo de apoyo a la velocidad de 18 km/h. El tiempo de contacto fue mayor ($F= 249$ y $p<0.001$) y el de vuelo menor ($F= 105$ y $p<0.001$) en la plataforma láser respecto al vídeo de alta velocidad, con correlación muy alta ($r>0.994$ y $p<0.001$) entre ambos sistemas. Las diferencias entre ambos sistemas dependieron de la velocidad del ensayo ($F= 8.9$ y $p<0.001$) y no del tipo de corredor ($F= 0.2$ y $p=0.64$), por lo que se obtuvo una ecuación para corregir los valores. El tipo de corredor (talonador vs planta entera+antepié) afectó al tiempo de contacto ($F= 5.13$ y $p<0.05$) y de vuelo ($F= 19.42$ y $p<0.001$), estando en consonancia con estudios previos. La nueva herramienta es válida y sensible, por lo que futuros estudios podrían utilizarla para el análisis biomecánico de la carrera y su relación con la economía.

Palabras clave: Biomecánica de la carrera, innovación tecnológica, validez

INTRODUCCIÓN

La economía de carrera (EC) es un factor determinante del rendimiento en las carreras de media y larga distancia (Storen et al., 2010). La EC depende de varios factores: fisiológicos, entrenamiento, ambientales, antropométricos y biomecánicos (Saunders et al. 2004; Nummela et al., 2007). La influencia de los parámetros biomecánicos básicos (frecuencia y amplitud de zancada, tiempos de contacto y de vuelo) en la EC es, todavía hoy, bastante discutida (Saunders et al. 2004; Williams, 2007). En la literatura se describen diversos condicionantes metodológicos que pudieran originar dicha controversia: gran participación del observador (Hasegawa et al., 2007), escaso número de zancadas analizadas (Belli et al., 1995), protocolos de muy corta duración (Nummela et al., 2007; Gullstrand et al., 2009), etc. Posiblemente la tecnología utilizada para llevar a cabo estos estudios sea otro de los condicionantes metodológicos causantes de la disparidad de resultados y conclusiones. Destacar también el gran coste económico que conlleva la adquisición de equipos sumamente complejos para analizar biomecánicamente la carrera (e.g. plataforma de fuerzas) a veces implica que sean pocos sujetos los analizados y pocos los laboratorios que dispongan del equipamiento (Gullstrand et al., 2009). En un intento de solucionar estos problemas Viitasalo et al. (1997) diseñaron y validaron una plataforma optoeléctrica ("Photocell Contact mat") capaz de registrar una serie sucesiva de pasos durante la carrera. Sin embargo, se han descrito varias limitaciones de la misma (Gullstrand et al., 2009). Para solucionarlas, Gullstrand et al. (2009) han diseñado un sistema instalado en

un tapiz rodante ("IR40 mat"), en el que también se observan las siguientes limitaciones: escasa anchura de la banda de haces (24 cm) que no permite medir simultáneamente el apoyo con ambos pies, presuponiendo una similitud bilateral; utilización de receptores de luz infrarroja que necesitan de un tiempo de barrido/respuesta de la señal, lo que puede afectar a la medición; protocolo de validación cuestionable, utilizando un método mecánico (zapatilla instrumentada con sensores de presión de aire) en vez de electrónico, lo que pudiera provocar desfases temporales en el registro de la señal (García-López et al., 2005). El objetivo general del trabajo es adaptar y validar un sistema optoelectrónico de bajo coste, capaz de registrar y analizar los parámetros biomecánicos básicos de la carrera en tapiz rodante (frecuencia y amplitud de zancada, y tiempos de contacto y de vuelo) durante un tiempo ilimitado a velocidad estable.

MATERIAL Y MÉTODO

En el estudio participaron 15 atletas masculinos, competidores a nivel nacional en las disciplinas de fondo y medio fondo (25 ± 1 años, 69.5 ± 1.4 kg y 1.77 ± 0.02 m). Todos ellos realizaron una prueba en tapiz rodante (HP Cosmos Pulsar; Nussdorf, Germany) completando 7 estadios de carrera de 2 minutos de duración a 10, 12, 14, 16, 18, 20 y 22 km/h, con recuperaciones de 2-3 minutos entre cada una de ellas. Para medir las variables biomecánicas de la carrera se fabricó y adaptó una plataforma de contacto láser al tapiz rodante de 1.5 m de longitud, con un módulo emisor y otro receptor colocados a ambos lados de la cinta rodante y haces separados longitudinalmente a 20 mm (SportJUMP System PRO, Desarrollo de Software Deportivo, España). La inclinación del tapiz en todos los ensayos fue del 1%, para simular así el gasto energético debido a la resistencia del viento (Foster y Lucia, 2007). Entre los 60-70 y 100-110 s de prueba, tiempo suficiente para conseguir una acomodación de los sujetos a la velocidad de carrera (Rodríguez-Marroyo et al., 2009), se tomaron simultáneamente registros mediante el software Sport-Bio-Running®, conectado a la plataforma SportJUMP System PRO y un sistema de vídeo de alta velocidad (1200 Hz, Casio Exilim Pro EX-F1, CASIO Europe GMBH), considerado método de referencia. El software reflejó los tiempos de contacto (TC) y de vuelo (TV) obtenidos con ambas piernas (aunque se cogió el valor representativo de la media de ambas piernas), así como el coeficiente de variación (CV). La suma de los tiempos de contacto y de vuelo dieron lugar al tiempo de zancada (TZ), y a partir de él se obtuvo la frecuencia de zancada (Fr) mediante la ecuación: $Fr \text{ (Hz)} = 1/Tz(s)^{-1}$. Además, introduciendo la velocidad del tapiz rodante, se obtiene la amplitud de zancada (A), a partir de la ecuación $v \text{ (m.s}^{-1}\text{)} = Fr \text{ (Hz)} \cdot A \text{ (m)}$. Las imágenes obtenidas con el sistema de vídeo se analizaron manualmente mediante el software Kinovea®, cogiendo un total de 10 apoyos (5 con cada pierna). A partir de los tiempos de apoyo y de vuelo, y tal y como se ha descrito previamente, se obtuvieron las variables: tiempo de zancada, frecuencia de zancada y amplitud de zancada. Adicionalmente, utilizando las imágenes obtenidas con el sistema de vídeo a 18 km/h se analizó el tipo de apoyo de cada corredor, clasificándolos como talonadores o de antepié (Hasegawa et al., 2007). Se realizaron análisis de la varianza (ANOVA) para medidas repetidas (comparación de sistemas) y de una vía (comparación de corredores) utilizando el test de Kolmogorov-Smirnov. El test de Pearson fue utilizado para el cálculo de las correlaciones entre variables.

RESULTADOS

El sistema SportJUMP System PRO sobrestimó el tiempo de contacto (IC95%= 0.0040-0.0051, $F= 249$ y $p<0.001$) y subestimó el tiempo de vuelo (IC95%= 0.0034-0.0051, $F= 105$ y $p<0.001$), no afectando al resto de variables. Su correlación con el sistema de vídeo de alta velocidad fue muy alta ($r>0.994$ y $p<0.001$).

Las diferencias en el tiempo de contacto dependieron de la velocidad del ensayo ($F= 8.9$ y $p<0.001$) y no del tipo de corredor ($F= 0.2$ y $p=0.64$), por lo que se obtuvo una ecuación para corregir los valores de tiempos de contacto (Figura 1.-Izquierda). Aplicando la ecuación, las diferencias entre los tiempos de contacto ($F= 0.347$ y $p= 0.557$) y de vuelo ($F= 0.029$ y $p= 0.865$) desaparecen (Figura 1.-Derecha). El intervalo de confianza al 95% (IC95%) de las diferencias entre ambos sistemas osciló aproximadamente en 1 ms (tiempo de contacto= entre -0.0003 y 0.0006 s; tiempo de vuelo= entre -0.0007 y 0.0009 s).

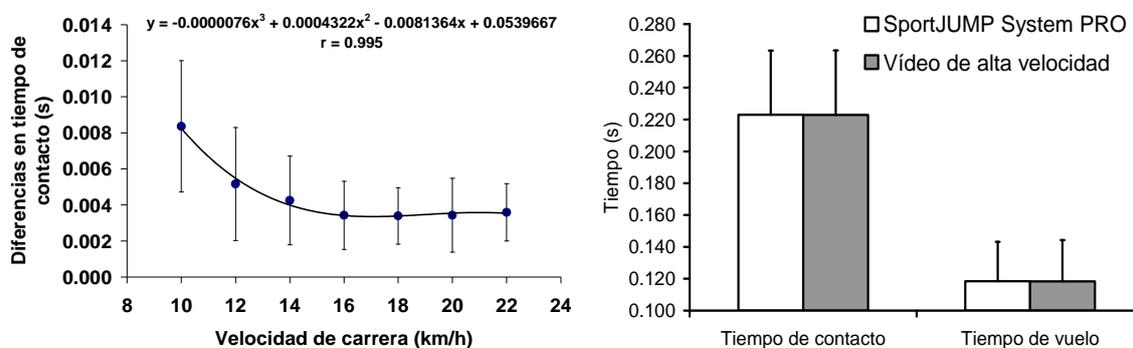


Figura 1.-Izquierda: Diferencias encontradas entre el tiempo de contacto registrado con el SportJUMP System PRO y el vídeo de alta velocidad en función de la velocidad de carrera. Función representativa de las mismas y ajuste (r). Figura 1.-Derecha: Tiempos de contacto y de vuelo de ambos sistemas, una vez corregidos en el sistema SportJUMP System PRO. Diferencias no significativas.

Las correlaciones entre los tiempos de contacto y de vuelo obtenidos por ambos sistemas siguen siendo altamente significativas después de corregir los valores (Figura 2). El tiempo de contacto disminuyó ($F= 513$ y $p<0.001$) y de vuelo aumentó ($F= 29.4$ y $p<0.001$) conforme se incrementó la velocidad. Los corredores talonadores muestran mayores tiempos de contacto ($F= 5.13$ y $p<0.05$) y menores tiempo de vuelo ($F= 19.42$ y $p<0.001$) que los de planta entera+antepié.

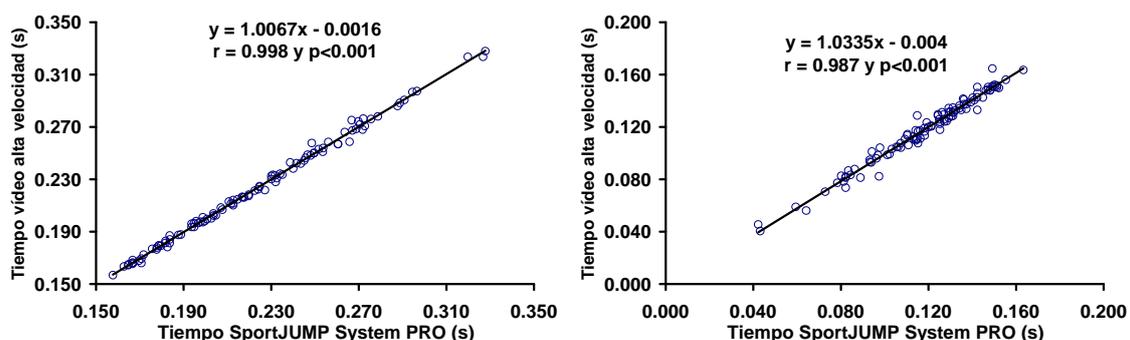


Figura 2.-Correlaciones ($p<0.001$) entre los tiempos de contacto (izquierda) y de vuelo (derecha) registrados con el sistema de vídeo de alta velocidad (referencia) y el SportJUMP System PRO (valores corregidos).

DISCUSIÓN

La sobrestimación del tiempo de apoyo y la subestimación del tiempo de vuelo por parte del sistema optoeléctrico SportJUMP System PRO está en consonancia con los resultados obtenidos por anteriores trabajos que aplicaron este tipo de tecnología. No dependieron del tipo de corredor, posiblemente por la escasa altura del haz de láser (0.7 cm) (Viitasalo et al., 1997), pero sí de la velocidad de carrera (Viitasalo et al., 1997; Gullstrand et al., 2009), motivo por el cual los valores han sido corregidos en función de esta variable (Figura 1.-Izquierda). Destaca positivamente que el intervalo de confianza de las diferencias

mostrado en este estudio (menos de 1 ms) es mucho menor que los 33 ms (-0.028-0.005 s) referidos por Gullstrand et al. (2009), posiblemente porque para validar su sistema ellos utilizaron un sensor mecánico que pudo sobrestimar de manera no sistemática el tiempo de contacto (García-López et al., 2005). Ninguno de los estudios mencionados correlacionó las variables obtenidas con los sistemas optoeléctricos con las obtenidas por los sistemas que utilizaron como referencia. Nuestro sistema ha sido sensible al cambio en la velocidad de carrera (Kyrolainen et al., 2001) y al tipo de corredor analizado (Hasegawa et al., 2007).

CONCLUSIONES

El sistema optoeléctrico ha sido adaptado para el registro de los parámetros biomecánicos básicos de la carrera, demostrando ser válido (relación con el método de referencia) y sensible (al cambio de velocidad y tipo de corredor). Futuros estudios podrían utilizarlo para el análisis biomecánico de la carrera y su relación con la economía. Futuras modificaciones del mismo permitirán identificar las variables obtenidas con cada pierna, posibilitando el estudio de la simetría en la carrera.

BIBLIOGRAFÍA

- Belli, A., Lacour, J.R., Komi, P.V., Candau, R., Denis, C. (1995). Mechanical step variability during treadmill running. *Eur J Appl Physiol*, 70 (6), 510-517.
- Foster, C., Lucia, A. (2007). Running economy: the forgotten factor in elite performance. *Sports Med*: 37 (4-5), 316-9.
- García-López J, Peleteiro J, Rodríguez-Marroyo JA, Morante JC, Herrero JA, Villa JG. (2005). The validation of a new method that measures contact and flight times during vertical jump. *Int J Sports Med*. 26 (4): 294-302.
- Gullstrand, L., Halvorsen, K., Tinmark, F., Eriksson, M., Nilsson, J. (2009). Measurements of vertical displacement in running, a methodological comparison. *Gait & Posture*. 30: 71-75.
- Hasegawa, H., Yamauchi, T., Kraemer, W.J. (2007). Foot Stride Patterns Of Runners at the 15-km Point During an Elite-Level Half Marathon. *J Strength Cond Res*. 21 (3): 888-893.
- Kyrolainen, H., Belli, A., Komi, P.V. (2001). Biomechanical factors affecting running economy. *Med Sci Sports Exerc*. 33: 1330–1337.
- Nummela, A., Keranen, T., Mikkelsen, L.O. (2007). Factors Related to Top Running Speed and Economy. *Int J Sports Med*. 28: 655-661.
- Rodríguez-Marroyo, J.A., García-López, J., Chamari, K., Córdova, A., Hue, O., Villa, J.G. (2009). The rotor pedaling system improves anaerobic but not aerobic cycling performance in professional cyclists. *Eur J Appl Physiol*. 106 (1): 87-94.
- Saunders, P.U., Pyne, D.B., Telford, R.D., Hawley, J.A. (2004). Factors affecting Running Economy in Trained Distance Runners. *Sports Med*. 34 (7): 465-485.
- Storen, O., Hergerud, J., Hoff, J. (2010). Running Stride Peak Forces Inversely Determine Running Economy in Elite Runners. *J Strength Cond Res*. 0 (0): 1-7.
- Vitasalo, J.T., Luhtanen, P., Mononen, H.V., Norvapalo, K., Paavolainen, L., Salonen, M. (1997). Photocell Contact Mat: A New Instrument to Measure Contact and Flight Times in Running. *J Appl Biomech*. 13: 254-266.
- Williams, K.R. (2007). Biomechanical factors contributing to marathon race success. *Sports Med*. 37 (4-5): 420-423.