

Análisis de la influencia de las zapatillas de clavos en el rendimiento de una prueba de 40 m en mujeres velocistas

Analysis of spikes shoe's effects on the sprint performance of women sprinters

Adrián Jiménez-Velayos, Juan García-López

Universidad de León. España

Resumen

Los objetivos de este trabajo han sido cuantificar el efecto del uso de zapatillas de clavos en el rendimiento de una carrera de 40 m en mujeres velocistas, segregando el efecto de los clavos y del peso, y la influencia de este tipo de calzado en los parámetros biomecánicos de la carrera. Participaron 9 mujeres velocistas de nivel regional y nacional, que realizaron tres carreras de 40 m usando aleatoriamente tres tipos de zapatillas (clavos, clavos lastradas y running). Los resultados mostraron que el rendimiento mejoró un 1.8% con las zapatillas de clavos respecto de las de running, de los cuales un 1.2% se debía a los clavos y un 0.6% a la diferencia de peso. Analizando las variables biomecánicas se vio que la frecuencia de zancada fue constante, la amplitud de zancada mostró una tendencia a aumentar, debido al efecto de los clavos, y el tiempo de contacto disminuyó, por un efecto combinado de los clavos y el peso. En conclusión, el rendimiento en la carrera de 40 m mejoró al utilizar zapatillas de clavos respecto a las de running, debiéndose un tercio de la mejora a la diferencia de peso, y el resto posiblemente a la amortiguación, rigidez y tracción (dos tercios). Futuros trabajos deben intentar separar el efecto de estas tres variables.

Palabras clave: zapatillas de clavos; biomecánica; velocidad; rendimiento.

Abstract

The purposes were to analyze the shoes spikes' effects on the performance of women sprinters, separating between both spike and weight effects, and to analyze the influence of this type of footwear on biomechanical parameters of running. Nine female sprinters of regional and national levels participated. They performed three 40 m sprints, using three different types of footwear (spikes, weighted spikes and running shoes) in a randomized order. The performance improved 1.8% using spikes with respect to running shoes, which 1.2% was due to the spikes and 0.6% was due to the weight effects. Analyzing the biomechanical variables, the step rate remains constant while the step length increased due to the spikes' effect, and the contact time decrease due to a combined effect of the spikes and the weight. In conclusion, the performance of women sprinters improved about 2% with spikes shoes with respect to running shoes. One third of this improvement was due to the weight effect, and two third to the spikes effect. Future studies must try to identify the individual effect of these three variables.

Key words: spikes; biomechanics; sprint; performance.

Correspondencia/correspondence: Juan García-López
Universidad de León. España
Email: juan.garcia@unileon.es

Introducción

El rendimiento en las pruebas de atletismo de velocidad se ve influido por múltiples factores: fisiológicos, antropométricos, ambientales, biomecánicos, etc. (Majumdar y Robergs, 2011). Dentro de estos últimos se encuentra el calzado, que puede afectar al rendimiento a través de modificar factores biomecánicos. Hoy en día lo habitual es que los velocistas usen zapatillas de clavos para competir, siendo extraño encontrar a algún atleta que no utilice este tipo de calzado en las competiciones. Es curioso que ningún velocista se plantee correr con un calzado diferente o descalzo, lo que contrasta con que apenas haya estudios científicos que evidencien la mejoría del rendimiento corriendo con este calzado (Majumdar y Robergs, 2011). Entrenadores y deportistas rápidamente valoraron las características de este tipo de calzado, utilizándolo desde su aparición. En el presente trabajo se pretenden explicar los factores biomecánicos que pueden contribuir a un mejor rendimiento con el calzado de clavos, así como a cuantificarlo, cuestión que no se ha realizado previamente.

Este tipo de calzado afecta a las fuerzas de reacción del suelo durante la carrera, lo cual sólo se ha estudiado a velocidades submáximas (Logan, Hunter, Hopkins, Feland y Parcell, 2010; Zingsem, Gutiérrez-Dávila y Rojas, 2014). Dichas fuerzas son mayores con zapatillas de clavos de mediodondo que calzando zapatillas de *running* o zapatillas ultraligeras. Estas diferencias se hacen evidentes, en hombres, en un mayor pico de fuerza del impacto vertical, una mayor rigidez de la extremidad inferior y un mayor pico de fuerza de frenado (Logan y col., 2010). Estas tres variables aumentan debido a la menor capacidad de amortiguación de las zapatillas de clavos respecto a las zapatillas de *running*, sin diferencias entre estas últimas y unas zapatillas ultraligeras o “voladoras” (Logan y col., 2010). Además de la amortiguación, la rigidez a la flexión del calzado puede influir en el rendimiento durante las carreras de velocidad. Este rendimiento podría verse mejorado si se incrementa la rigidez a la flexión del calzado, aunque si se incrementase demasiado se anularían los beneficios, e incluso podría llegar a ser perjudicial, lo que se conoce como comportamiento en “U” (Stefanyshyn y Fusco, 2004; Worobets y Wannop, 2015).

La mencionada mejora tiene su fundamento en minimizar la pérdida de energía en la articulación metatarso-falángica, y en que al aumentar la rigidez a la flexión de las zapatillas se puede desplazar el centro de presiones en la planta del pie, alterando el momento de fuerza en el tobillo e incrementando el rendimiento (Stefanyshyn y Fusco, 2004). No se han encontrado los parámetros que determinan cuál es la rigidez óptima, por lo que cada atleta debería experimentar con diferentes rigideces hasta encontrar la óptima para sus características individuales (Stefanyshyn y Fusco, 2004). Otro factor que afecta al rendimiento es la tracción de la suela, que aumenta el rendimiento hasta un punto, a partir del cual no se mejora (Worobets y Wannop, 2015).

Además de la amortiguación, la rigidez y la tracción del calzado, el peso constituye una característica esencial en el rendimiento. En carreras de media y larga distancia se acepta que la disminución de la masa de la zapatilla en 0.100 kg en cada pie supone una reducción del 1% en el gasto energético (Ogueta-Alday, 2014). Por el contrario, en carreras de velocidad (esprint de 10 m en baloncesto) estudios recientes han afirmado que no existe influencia del peso del calzado en el rendimiento (Worobets y Wannop, 2015). En pruebas de atletismo de velocidad no hay evidencias de cuánto afectaría el

aumento o disminución del peso de la zapatilla al rendimiento, a pesar de que un bajo peso es una característica esencial en el diseño de este tipo de calzado.

Hasta donde llega nuestro conocimiento, solo un estudio ha valorado el efecto de las zapatillas de clavos en el rendimiento de la carrera de velocidad (Theophilos y col., 2014). En él se comparó el rendimiento corriendo con zapatillas de clavos, de *running* y descalzo, concluyendo que no había diferencias significativas debidas a las tres condiciones (Theophilos y col., 2014). Sin embargo, el mencionado trabajo se llevó a cabo con niños de edades entre 11 y 13 años, no con adultos, y cuya experiencia en carreras de velocidad era entre 1 y 3 años (Theophilos y col., 2014). Otros dos trabajos han analizado el efecto del uso de zapatillas de clavos en pruebas de velocidad en el rango de movimiento de la articulación metatarsal y la máxima velocidad de flexión dorsal (Smith, Lake y Lees., 2014; Toon, Williams, Hopkinson y Caine., 2009), pero, o bien no han comparado este tipo de calzado con otro diferente, o bien no han monitorizado el rendimiento y/o las principales variables que determinan la velocidad de carrera (frecuencia y amplitud de zancada).

No encontrando trabajos de investigación que analicen el efecto de las zapatillas de clavos en el rendimiento de atletas experimentados, ni en variables biomecánicas determinantes de la velocidad de carrera. El objetivo principal de este trabajo es cuantificar el posible efecto que tiene la utilización de zapatillas de clavos en el rendimiento de la carrera de velocidad en mujeres velocistas, comparándolo con el calzado de *running*, y eliminando el posible efecto del peso entre ambos tipos de calzado. El objetivo secundario es estudiar cuales son los parámetros biomecánicos que determinan el posible incremento del rendimiento durante la carrera de velocidad al utilizar zapatillas de clavos.

Método

Participantes

En este estudio participaron 9 mujeres velocistas de nivel regional y nacional, con una edad de 18.9 ± 2.6 años, una masa de 55.4 ± 7.2 kg y una estatura de 1.63 ± 0.03 m. Todas las atletas pertenecían al club de atletismo “Sprint” de León, fueron informadas de los objetivos y beneficios del estudio, dando su autorización previa a la realización del estudio. Tras las diferentes pruebas las corredoras y su entrenador recibieron un informe con los tiempos totales y parciales obtenidos durante las mismas.

Procedimiento

La investigación se realizó en 2 fases bien diferenciadas. En la primera fase se informó a las corredoras de los fines del estudio, así como de sus beneficios. Tras esto se obtuvo un consentimiento firmado de su colaboración en el estudio; se registraron la edad, estatura y masa de las atletas; y también la masa de las zapatillas de entrenar y de las zapatillas de clavos. La segunda fase consistió en la realización de las diferentes pruebas, las cuales se desarrollaron en una pista interior del Centro Especializado de Alto Rendimiento de León (6 calles y 110 m de longitud, homologada por la Real Federación Española de Atletismo). Antes de completar las pruebas, las atletas llevaron a cabo un calentamiento estandarizado pre-competitivo, compuesto por una fase de carrera continua suave, estiramientos balísticos combinados con ejercicios de movilidad articular, dos carreras progresivas en velocidad con salida de pie, y dos carreras progresivas en velocidad con salida de tacos sobre 40 m. Después, cada atleta realizó

tres carreras de 40 m a la máxima intensidad con salida desde los tacos, cada una de ellas con un tipo de calzado diferente: con las zapatillas de *running*, con las zapatillas de clavos y con las zapatillas de clavos con un lastre que igualase su masa a la de las zapatillas de entrenar. El orden de las carreras fue aleatorio para evitar la influencia de la fatiga y/o el aprendizaje. Tras estas 2 fases tuvo lugar la obtención de las variables a estudiar y su posterior análisis de datos y estadístico.

Primera fase

Todas las participantes en el estudio, previamente al inicio de las pruebas, tuvieron que dar su consentimiento informado, en el cual autorizaban a los investigadores a utilizar los datos obtenidos. A todas ellas se les explicaron los objetivos y beneficios del estudio, y eximían a los responsables de la prueba de cualquier responsabilidad derivada de su realización. Además se registraron la edad, estatura y masa de las participantes, y la masa de sus zapatillas de clavos (0.17 ± 0.02 kg) y de sus zapatillas de entrenar (0.24 ± 0.03 kg). La medición de la masa de las zapatillas se realizó con una báscula digital de mano (Weitheng Portable Electronic Scale, precisión 0.010 kg), registrando ambas zapatillas juntas y dividiendo el resultado entre 2.

Segunda fase

La prueba consistió en la realización de 3 carreras de velocidad de 40 m cada una, con suficiente descanso entre ellas (3-5 min) para que no influyese la fatiga. En cada carrera se utilizó un tipo de calzado diferente: zapatillas de clavos, zapatillas de entrenar y zapatillas de clavos con un lastre de plomo que igualase su masa a la de las zapatillas de *running* (Figura 1), siendo el orden de las carreras con cada tipo de calzado aleatorio. Las zapatillas de clavos y de *running* eran las propias que utilizaban las atletas, si bien todas las zapatillas de clavos utilizaban una longitud de clavo de 6 mm. Los diferentes lastres utilizados fueron de 0.030, 0.060, 0.080 y 0.100 kg, en función de la diferencia de masa entre las zapatillas de clavos y de *running* de cada atleta. Dichos lastres de plomo se colocaron en el empeine del pie, por fuera de la zapatilla de clavos. Primero se envolvía cada lastre en cinta aislante y se unían a los cordones de la zapatilla y, después, se aseguraba con vuelta y media de cinta aislante la colocación del lastre a la zapatilla.



Figura 1.-Diferentes tipos de zapatillas usadas en la realización de las pruebas (de izquierda a derecha: zapatillas de clavos, zapatillas de clavos lastradas y zapatillas de *running*).

El rendimiento en las carreras de velocidad se obtuvo mediante un sistema de cronometraje compuesto por un pulsador electrónico colocado en el taco de salida delantero y un sistema de cronometraje de 4 barreras de fotocélulas de haz simple (DSD Láser System, precisión 0.001 s). Las variables biomecánicas de frecuencia y amplitud de zancada, así como el tiempo de contacto, se obtuvieron utilizando 5 cámaras de alta velocidad (Casio Exilim EX – ZR1000) (Figura 2). El sistema de cronometraje iba conectado a un ordenador portátil, el cual mediante un software proporcionaba los

tiempos totales y parciales de cada prueba. Las fotocélulas de haz simple se situaron cada 10 m; a los 10 m, 20 m, 30 m y 40 m respecto a la línea de salida; a la altura de la cadera, aproximadamente a una altura de 1 m del suelo (García-López y col., 2012). Las atletas colocaron los tacos de salida libremente (como normalmente lo hacían en competición), y esta posición fue reproducida exactamente en las tres carreras de 40 m. Además se colocaron 2 cámaras de alta velocidad laterales, grabando a 120 fps, tomando imágenes de los tramos 0-10 m y 30-40 m. Las 3 cámaras de alta velocidad restantes grabaron a 240 fps: una se ubicó en un lateral y grabó toda la carrera siguiendo el movimiento de las corredoras, y las otras 2 se colocaron a la altura del suelo, grabando los apoyos del pie en los tramos 0-10 m y 30-40 m, para obtener mejores imágenes de los tiempos de contacto y de vuelo. Para la realización de las diferentes pruebas las atletas se colocaban en los tacos de salida en posición de salida baja, y se les daba la salida de la misma manera que cuando compiten, con las órdenes de: ¡A sus puestos!, ¡Listos!, ¡Ya! (cambiando el disparo que en competición marca el inicio de la carrera por la voz de ¡Ya!). El tiempo de carrera comenzaba a registrarse a partir de que la atleta abandonaba el taco delantero (el pulsador dejaba de estar accionado).

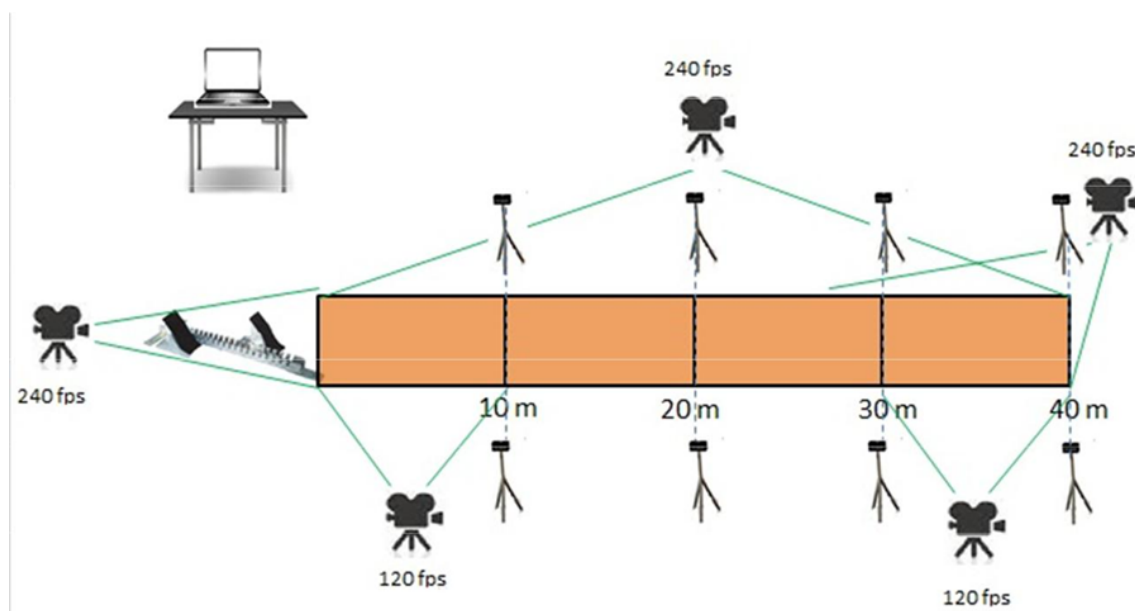


Figura 2.-Esquema de la disposición del material para la realización de la prueba.

Obtención de las variables de análisis

Los tiempos de cada carrera de velocidad se registraron mediante el sistema de cronometraje, a intervalos de 10 m desde el despegue del pie del taco delantero de salida. Así se obtuvo el tiempo total (0-40 m), así como los tiempos de carrera en 0-20 m y 20-40 m. El motivo de analizar los intervalos de tiempo cada 20 m en vez de cada 10 m fue disminuir el error aleatorio que introducen los sistemas de cronometraje que utilizan fotocélulas de haz simple al registrar distancias inferiores a 15 m (García-López y col., 2012). Además a partir de las grabaciones realizadas por las cámaras de alta velocidad y utilizando el software gratuito “Kinovea v.23.”, se obtuvieron los valores promedio de frecuencia de zancada, amplitud de zancada y tiempo de contacto. Estos valores se calcularon a partir de la media de los registros obtenidos en los primeros y últimos 10 m de carrera, tal y como se describe a continuación.

En los primeros 10 m (0-10 m), la frecuencia de zancada se midió a partir del tiempo (t) transcurrido desde el primer contacto con el suelo hasta el sexto contacto antes de los 10 m ($Fr = 6 \cdot t^{-1}$). La amplitud de zancada se obtuvo midiendo la distancia total (d) de los seis primeros pasos ($A = d \cdot 6^{-1}$), tras un proceso de calibración que tomaba como referencia los 10 primeros metros de carrera. El tiempo de contacto se determinó a partir de la media del tiempo de contacto de los seis primeros apoyos.

En los últimos 10 m de carrera (30-40 m), la frecuencia de zancada se midió a partir del tiempo (t) transcurrido desde el primer contacto con el suelo al sobrepasar los 30 m hasta el cuarto contacto antes de los 40 m ($Fr = 4 \cdot t^{-1}$). Como la velocidad de carrera en esta fase era estable (se obtuvo a partir del registro del tiempo de las fotocélulas en los últimos 10 m), la amplitud de zancada se obtuvo usando la fórmula: Amplitud de zancada (m) = Velocidad (m/s) · Frecuencia⁻¹ (Hz). El tiempo de contacto se obtuvo tomando el valor medio de los primeros cuatro apoyos al sobrepasar los 30 m.

Análisis estadístico

Los resultados son expresados como media ± DS. El software SPSS+ V.17.0 fue utilizado para el análisis estadístico (SPSS, Inc., Chicago, IL, USA). El test de Kolmogorov-Smirnov fue aplicado para asegurar la distribución normal de todas las variables analizadas. Un análisis de la varianza (ANOVA) de dos vías con medidas repetidas fue utilizado para analizar el efecto de los clavos y el peso en las variables biomecánicas analizadas. La prueba posthoc de Newman-Keuls fue utilizada para establecer diferencias entre las medias. El tamaño del efecto ó “Effect size” (ES) de las diferencias encontradas también fue analizado (Cohen, 1988). La magnitud de las diferencias fue considerada trivial ($ES < 0.2$), pequeña ($0.2 \leq ES < 0.5$), moderada ($0.5 \leq ES < 0.8$), y grande ($ES \geq 0.8$). Para todos los tratamientos estadísticos se fijó un $\alpha = 0.05$.

Resultados

La Tabla 1 muestra los resultados promedio de toda la prueba. El tipo de zapatilla utilizada influyó en el rendimiento en los 40 m ($d = 2.53$, efecto grande), que mejoró en 0.105 s (1.8%) al utilizar zapatilla de clavos respecto a la de *running*, de los cuales 0.037 s (0.6%) se debieron al peso (clavos lastrada). No hubo cambios significativos en la frecuencia de zancada. Sí se observó un efecto moderado de la zapatilla en la amplitud de zancada ($d = 0.79$, efecto moderado), que fue aproximadamente 0.02 m mayor con zapatilla de clavos que con la de *running*, sin diferencias cuando la zapatilla de clavos se lastró (no hubo efecto del peso). La zapatilla también afectó al tiempo de contacto ($d = 1.03$, efecto grande), que fue aumentando progresivamente en 0.002-0.003 s de la zapatilla de clavos a lastrada y *running*.

Tabla 1. Media ± DS de tiempo 0-40 m, frecuencia, amplitud de zancada y tiempo de contacto obtenidos con los diferentes tipos de zapatilla analizados (clavos, clavos lastrada y *running*).

Variable/Zapatilla	Clavos	Clavos lastrada	Running	Efecto peso	Efecto clavo
Tiempo (s)	5.572±0.108	5.609±0.097	5.677±0.132	$\alpha < 0.05$	$\alpha < 0.001$
Frecuencia (Hz)	4.10±0.12	4.09±0.08	4.10±0.10	$\alpha = 0.38$	$\alpha = 0.36$
Amplitud (m)	1.66±0.04	1.66±0.02	1.64±0.04	$\alpha = 0.45$	$\alpha = 0.09$
T. contacto (s)	0.134±0.009	0.137±0.008	0.139±0.006	$\alpha = 0.10$	$\alpha < 0.05$

T. contacto: Tiempo de contacto. Diferencias estadísticamente significativas ($\alpha < 0.05$).

La Tabla 2 muestra los resultados obtenidos en los primeros 20 m de carrera, donde el tipo de zapatilla utilizada influyó en el rendimiento ($d= 1.52$, efecto grande), que mejoró en 0.044 s (1.4%) al utilizar zapatilla de clavos respecto a la de *running*, de los cuales 0.015 s (0.5%) se debieron al peso (clavos lastrada). No hubo cambios significativos en la frecuencia ni en la amplitud de zancada. La zapatilla también afectó al tiempo de contacto ($d= 0.90$, efecto grande), que aumentó 0.006 s de la zapatilla de clavos a lastrada y 0.003 s de esta última a la de *running*.

Tabla 2. Media \pm DS de tiempo 0-20 m, frecuencia, amplitud de zancada y tiempo de contacto obtenidos en los primeros 10 m de carrera con los diferentes tipos de zapatilla analizados (clavos, clavos lastrada y *running*).

Variable/Zapatilla	Clavos	Clavos lastrada	Running	Efecto peso	Efecto clavo
Tiempo (s)	3.154 \pm 0.051	3.169 \pm 0.041	3.198 \pm 0.079	$\alpha= 0.07$	$\alpha<0.01$
Frecuencia (Hz)	3.98 \pm 0.15	3.94 \pm 0.08	3.96 \pm 0.15	$\alpha= 0.22$	$\alpha= 0.29$
Amplitud (m)	1.37 \pm 0.06	1.38 \pm 0.03	1.36 \pm 0.06	$\alpha= 0.38$	$\alpha= 0.15$
T. contacto (s)	0.157 \pm 0.013	0.163 \pm 0.011	0.166 \pm 0.008	$\alpha= 0.09$	$\alpha<0.05$

T. contacto: Tiempo de contacto. Diferencias estadísticamente significativas ($\alpha<0.05$).

La Tabla 3 muestra los resultados obtenidos en los últimos 20 m de carrera, donde el tipo de zapatilla utilizada influyó en el rendimiento ($d= 1.65$, efecto grande), que mejoró en 0.060 s (2.4%) al utilizar zapatilla de clavos respecto a la de *running*, de los cuales 0.021 s (0.8%) se debieron al peso (clavos lastrada). No hubo cambios significativos en la frecuencia ni en la amplitud de zancada. La zapatilla no afectó al tiempo de contacto, que sólo osciló 0.001 s, si bien fue menor con la zapatilla de clavos que con la de *running*.

Tabla 3. Media \pm DS de tiempo 20-40 m, frecuencia, amplitud de zancada y tiempo de contacto obtenidos en los últimos 10 m de carrera con los diferentes tipos de zapatilla analizados (clavos, clavos lastrada y *running*).

Variable/Zapatilla	Clavos	Clavos lastrada	Running	Efecto peso	Efecto clavo
Tiempo (s)	2.418 \pm 0.062	2.439 \pm 0.060	2.478 \pm 0.070	$\alpha< 0.05$	$\alpha<0.01$
Frecuencia (Hz)	4.23 \pm 0.12	4.24 \pm 0.10	4.24 \pm 0.11	$\alpha= 0.43$	$\alpha= 0.48$
Amplitud (m)	1.95 \pm 0.04	1.95 \pm 0.04	1.93 \pm 0.05	$\alpha= 0.48$	$\alpha= 0.14$
T. contacto (s)	0.111 \pm 0.007	0.112 \pm 0.008	0.112 \pm 0.006	$\alpha= 0.29$	$\alpha<0.05$

T. contacto: Tiempo de contacto. Diferencias estadísticamente significativas ($\alpha<0.05$).

Las mejoras en el rendimiento de la carrera al comparar las zapatillas de clavos y de *running* fueron muy similares en los primeros 20 m (0.045 s) y últimos 20 m de carrera (0.060 s), si bien el efecto del cambio de zapatillas fue más marcado en los últimos 20 m (Figura 3).

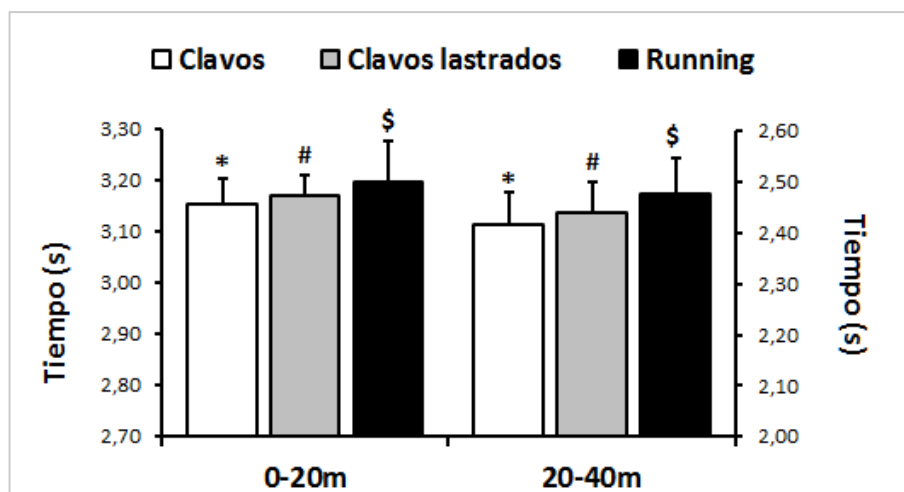


Figura 3. Comparación entre los tiempos empleados en los primeros y últimos 20 m de carrera con los diferentes tipos de zapatillas utilizados (clavos, clavos lastrada y *running*). Diferencias significativas ($\alpha < 0.05$): * entre la zapatilla de clavos y *running*; # entre la zapatilla de clavos y clavos lastrados; \$ entre la zapatilla de clavos lastrados y *running*.

Discusión

El principal hallazgo de este estudio ha sido cuantificar la mejora que se produce en el rendimiento de la carrera de velocidad de 40 m en mujeres atletas al utilizar la zapatilla de clavos (aprox. 1.8% en una carrera de 40 m), así como segregar el efecto del peso (aprox. 0.6%, ya que estas zapatillas son más ligeras) del de los clavos (aprox. 1.2%, debido a la menor amortiguación, mayor rigidez de la suela y posibilidades de tracción con los clavos). Estas mejoras se debieron fundamentalmente a un aumento de la amplitud de zancada (aprox. 0.02 m) y a una disminución del tiempo de contacto (aprox. 0.005 s), manteniéndose la frecuencia de zancada constante. Las mejoras fueron similares en los primeros y últimos metros de carrera, si bien el efecto del tipo de zapatillas fue más marcado en los últimos 20 m.

Las mejoras de rendimiento del 1.8% en la carrera observadas en el presente trabajo no son comparables con ningún otro estudio, ya que como se ha comentado en los antecedentes, no existen estudios que valoren el efecto de la zapatilla de clavos en atletas experimentados. Sin embargo, Smith et al (2014) han comparado la mejora del rendimiento en 55 metros al correr descalzo y calzado con zapatilla de clavos, obteniendo el doble de incremento de rendimiento (un 3.8%) que el observado en el presente estudio. Esta diferencia puede deberse al hecho de comparar dos situaciones extremas (descalzo vs clavos) en vez de dos situaciones con utilización de calzado (*running* vs clavos).

De otra parte, el efecto de los clavos en la mejora del rendimiento en el sprint (aprox. 1.2%) es el doble que el efecto del peso (aprox. 0.6%). Esto puede deberse a que, en el presente trabajo, realmente al comparar las zapatillas de clavos (lastrada y no lastrada) y de *running*, se están mezclando tres variables que son propias de las zapatillas de clavos: menor amortiguación, mayor rigidez y mayor tracción. Estudios anteriores en zapatillas de atletismo sólo han valorado el efecto de la rigidez, cifrándolo en un 1.2% en pruebas de 40 m (Stefanyshyn y Fusco, 2004). Contrariamente, estudios realizados en baloncesto afirman que el efecto de la tracción es mayor que el de la rigidez (Worobets y Wannop, 2015), a la vez que no obtienen ninguna influencia del peso en el

rendimiento. No tenemos constancia de ningún trabajo que haya valorado el efecto de la amortiguación del calzado en el rendimiento en pruebas de velocidad. Por lo tanto, futuros estudios deberían comprobar, de forma aislada, la influencia de estas variables en el rendimiento de la carrera de velocidad, de forma similar a como se ha hecho en este último trabajo. Igualmente, si se realizaran futuros trabajos con hombres y mujeres velocistas de similar y mayor nivel, servirían para confirmar si realmente existe un efecto del peso en el rendimiento en la carrera de velocidad, independientemente del nivel y el sexo del velocista.

Las mejoras en el rendimiento obtenidas al utilizar las zapatillas de clavos podrían deberse a que se observa una tendencia a aumentar la amplitud de zancada, sin cambios en la frecuencia de zancada. En consonancia con estudios anteriores, la amplitud de zancada es determinante del rendimiento en las pruebas de velocidad, no siendo así la frecuencia de zancada (Korhonen, Mero y Suominen., 2003). Los resultados obtenidos en la prueba entera (Tabla 1) mostraron un efecto moderado de la zapatilla en la amplitud de zancada ($d = 0.79$), a pesar de no existir diferencias estadísticamente significativas entre correr con clavos lastrados o con zapatillas de *running* ($\alpha = 0.09$). Sin embargo, atendiendo a los datos de los primeros y últimos 20 m de carrera (Tablas 2 y 3), no existen diferencias significativas ($\alpha = 0.15$ y $\alpha = 0.14$, respectivamente), aunque si se observa cierta tendencia a que la amplitud de zancada sea mayor al correr con zapatillas de clavos en ambas fases. Esto puede deberse a la sensibilidad de la metodología utilizada, ya que es difícil detectar cambios de 0.02 m o menores utilizando fotogrametría con marcaje manual, y al hablar de amplitud media los errores se suavizan y por tanto si se encuentran diferencias significativas. Futuros trabajos deberían utilizar una metodología que permitiera detectar menores cambios en la amplitud de zancada (ej. dispositivos optoeléctricos colocados en la pista o detección automática de marcadores en el pie mediante fotogrametría).

Las mejoras en el rendimiento al utilizar zapatillas de clavos fueron muy similares entre los primeros y últimos 10 m de carrera, si bien ligeramente superiores en estos últimos. Sin embargo, los mecanismos gracias a los que se obtienen dichas mejoras fueron diferentes en ambas fases, dado que en los primeros 10 m se redujo el tiempo de contacto cuando se corrió con zapatillas de clavos, pero esto no sucedió en los últimos 10 m. A priori podría pensarse que durante la fase de aceleración de una carrera de velocidad existe una mayor aplicación de fuerza e impulso horizontal (Kawamori, Nosaka y Newton., 2013), que es el factor determinante en la velocidad obtenida (Hunter, Marshall y McNair., 2005), y que por tanto el efecto de los clavos sería mayor en esta fase. Sin embargo esto no ha sido así y la ganancia es similar en ambas, e incluso más marcada en la fase de carrera lanzada. Futuros trabajos con hombres y mujeres de mayor nivel son necesarios para confirmar estos hallazgos, además de investigaciones que comparen las fuerzas de reacción en la fase de aceleración y en la fase de carrera lanzada con ambos tipos de calzado, para poder dar una mejor explicación de las causas de las ganancias en las diferentes fases.

Otro resultado destacable del presente estudio es que el tiempo de contacto disminuye más en los primeros que en los últimos 10 m de carrera (Tablas 2 y 3). Es posible que la rigidez del calzado ayude a que haya menor movimiento metatarso-falángico al usar las zapatillas de clavos en la fase de aceleración (Smith y col., 2014), y esto permita reducir más el tiempo de contacto sin disminuir la amplitud de zancada, si bien el movimiento metatarso-falángico no ha sido medida en el presente trabajo. También es posible que la

mayor amortiguación de la zapatilla de *running* aumente el tiempo de contacto, lo cual no ha sido investigado previamente. De otra parte, en la fase de carrera lanzada los tiempos de contacto son muy bajos (cerca de los 0.100 s), siendo posible que esta variable no se pueda disminuir más, independientemente del calzado que se use al correr. Estudios previos han mostrado que el tiempo de contacto en la fase de carrera lanzada no es una variable sensible al rendimiento (no aumenta hasta los 69 años en hombres y 59 años en mujeres), al comparar velocistas de diferentes edades (Korhonen y col., 2003). Lo anterior podría justificar las menores diferencias en el tiempo de contacto observadas en los últimos 10 m de carrera.

Las principales limitaciones del presente trabajo han sido: a-Realizar carreras de velocidad de 40 m en vez de 60 ó 100 m, que resultan más representativas del rendimiento en carreras de velocidad. Esta decisión se tomó para evitar un aumento de la variabilidad intra- e inter-sesión de los registros, debida al efecto de la fatiga y de la valoración en días diferentes, respectivamente (Simperingham, Cronin y Ross, 2016). b-No estandarizar la rigidez y el peso de las zapatillas de velocidad, al igual que la amortiguación y el peso de las zapatillas de *running*. Para conseguir una mayor validez ecológica del estudio, se permitió que los atletas utilizaran sus propias zapatillas, lo cual implica diferentes niveles de rigidez, amortiguación y peso de las mismas. Otra opción hubiera sido fabricar zapatillas estándares, y habérselas facilitado a los atletas para realizar un periodo de adaptación con las mismas. c-Mejorar la sensibilidad de los métodos de registro de la amplitud de zancada y el tiempo de contacto, ampliando el estudio al comportamiento de las articulaciones del tobillo y metatarso-falángica.

Conclusiones

Este es el primer trabajo que analiza el efecto de utilizar zapatillas de clavos en el rendimiento de la carrera de velocidad en atletas experimentados. Este calzado mejoró el rendimiento un 1.8%, posiblemente debido a su menor amortiguación, mayor rigidez y mayor tracción (dos tercios), pero también a su menor peso (un tercio), lo cual constituye un hallazgo interesante de cara a futuros trabajos. Las variables biomecánicas que se modificaron fueron la amplitud de zancada (aumentó) y el tiempo de contacto (disminuyó), sin cambios en la frecuencia de zancada. El rendimiento aumentó de forma similar en los primeros y últimos 20 m de carrera, aunque los mecanismos que justifican ambas mejoras fueron diferentes en ambas fases. Futuros trabajos deben intentar separar el efecto de la amortiguación del de la rigidez y la tracción de las zapatillas de clavos. De la misma forma, más trabajos con hombres y mujeres de igual y superior nivel son necesarios, para verificar si el sexo o el nivel deportivo pueden condicionar las diferencias encontradas en el presente trabajo.

La principal aplicación práctica de este trabajo es que las atletas practicantes de velocidad, a la hora de seleccionar su calzado, deben primar más la rigidez y la tracción que el peso. La tracción está muy condicionada por la longitud de los clavos, que está limitada por el reglamento, por lo que la rigidez de la zapatilla constituye un elemento esencial. Igualmente, se deberían hacer valoraciones individuales, ya que siguiendo las conclusiones de estudios previos, y a partir del análisis individual que puede hacerse de los resultados del presente trabajo, dependiendo del perfil de atleta (peso, fuerza muscular, etc.) es posible que sea capaz de aprovecharse, en mayor o menor medida, de alguna de las características comentadas.

Referencias

- García-López, J.; Morante, J. C.; Ogueta-Alday, A. C.; González-Lázaro, J.; Rodríguez-Marroyo, J. A., y Villa, G. (2012). El uso de fotocélulas de haz simple y doble para medir la velocidad en carreras. *RICYDE. Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 8(30), 324-333.
<https://doi.org/10.5232/ricyde2012.03003>
- Hunter, J. P.; Marshall, R. N., & McNair, P. J. (2005). Relationships between ground reaction force impulse and kinematics of sprint-running acceleration. *Journal of Applied Biomechanics*, 21(1), 31-43.
<https://doi.org/10.1123/jab.21.1.31>
- Kawamori, N.; Nosaka, K., & Newton, R. U. (2013). Relationships between ground reaction impulse and sprint acceleration performance in team sport athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(3), 568-573.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318257805a>
- Korhonen, M. T.; Mero, A., & Suominen, H. (2003). Age-related differences in 100-m sprint performance in male and female master runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(8), 1419-1428.
<https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000079080.15333.CA>
- Logan, S.; Hunter, I.; Hopkins, J. T.; Feland, J. B., & Parcell, A. C. (2010). Ground reaction force differences between running shoes, racing flats, and distance spikes in runners. *Journal of Sports Science and Medicine*, 9(1), 147-153.
- Majumdar, A., & Robergs, R. (2011). The science of speed: Determinants of performance in the 100 m sprint. *International Journal of Sports Science and Coaching*, 6(3), 479-494.
<https://doi.org/10.1260/1747-9541.6.3.479>
- Ogueta-Alday, A. (2014). *Adaptación, validación y aplicación de una nueva tecnología para valorar la biomecánica de la carrera de resistencia*. [Tesis doctoral]. Universidad de León.
- Smith, G.; Lake, M., & Lees, A. (2014). Metatarsophalangeal joint function during sprinting: A comparison of barefoot and sprint spike shod foot conditions. *Journal of Applied Biomechanics*, 30(2), 206-212.
<https://doi.org/10.1123/jab.2013-0072>
- Simperingham, K. D.; Cronin, J. B., & Ross, A. (2016). Advances in Sprint Acceleration Profiling for Field-Based Team-Sport Athletes: Utility, Reliability, Validity and Limitations. *Sports Medicine*.
<https://doi.org/10.1007/s40279-016-0508-y>
- Stefanyshyn, D., & Fusco, C. (2004). Increased shoe bending stiffness increases sprint performance. *Sports Biomechanics*, 3(1), 55-66.
<https://doi.org/10.1080/14763140408522830>
- Theophilos, P.; Nikolaos, M.; Kiriakos, A.; Athanasia, S.; Michail, P., & Spiros, K. (2014). Evaluation of sprinting performance in adolescent athletes with running shoes, spikes and barefoot. *Journal of Physical Education and Sport*, 14(4), 593-598.
- Toon, D.; Williams, B.; Hopkinson, N., & Caine, M. (2009). A comparison of barefoot and sprint spike conditions in sprinting. *Journal of Sports Engineering and Technology*, 223(2), 77-87.
<https://doi.org/10.1243/17543371jset21>

Jiménez-Velayos, A., y García-López, J. (2017). Análisis de la influencia de las zapatillas de clavos en el rendimiento de una prueba de 40 m en mujeres velocistas. *RICYDE. Revista internacional de ciencias del deporte*, 49(13), 273-284.
<https://doi.org/10.5232/ricyde2017.04906>

Worobets, J., & Wannop, J. W. (2015). Influence of basketball shoe mass, outsole traction, and forefoot bending stiffness on three athletic movements. *Sports Biomechanics*, 14(3), 351-360.
<https://doi.org/10.1080/14763141.2015.1084031>

Zingsem, C.; Gutiérrez-Dávila, M., & Rojas, F. J. (2014). Effect of the type of footwear on biomechanical parameters in the foot contact phase in middle-distance runners. *European Journal of Human Movement*, 33, 79-92.