

Análisis biomecánico del efecto de las zapatillas de clavos en el rendimiento del esprint en hombres velocistas

Biomechanical analysis of spikes shoe's effects on the sprint performance of male sprinters

Pedro Corbí-Santamaría¹, Adrián Jiménez-Velayos¹, Miguel Corbí-Santamaría², Juan García-López¹

1. Departamento de Educación Física y Deportiva. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Universidad de León. España

2. Departamento de Didácticas Específicas. Universidad de Burgos. España

Resumen

El propósito de este trabajo es cuantificar el efecto del uso de zapatillas de clavos en el rendimiento de la carrera de velocidad de hombres velocistas, diferenciando entre el efecto de los clavos y de la masa de las zapatillas, para valorar la influencia del calzado en los parámetros biomecánicos de la carrera. Participaron 9 atletas varones de nivel regional y nacional (pruebas de 100, 200 y 400 m lisos) que realizaron tres sprints de 40 m, usando de forma aleatoria tres clases de calzado (zapatillas de clavos, zapatillas de running y zapatillas de clavos lastradas con plomo hasta igualar la masa de las zapatillas de running). Los resultados obtenidos demostraron que el rendimiento mejoraba un 2,6% con las zapatillas de clavos respecto de las zapatillas de running, de los cuales un 1,7% era debido a los clavos y un 0,9% a la diferencia de masa. Al analizar las variables biomecánicas se observó que la velocidad aumentó debido al aumento de la frecuencia y la amplitud de paso. Con las zapatillas de clavos, la amplitud aumentó y el tiempo de contacto disminuyó, debido a un efecto combinado de los clavos y la masa. En conclusión, el rendimiento en carreras de velocidad se ve mejorado al utilizar zapatillas de clavos respecto a las zapatillas de running, siendo dos tercios de la mejora debida a los clavos, y el resto al efecto de la masa de la zapatilla.

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

Abstract

The purpose of the present study was to quantify the effect of the use of spikes on sprint performance in male athletes, separating between both cleats and mass effects; additionally, the influence of the footwear on biomechanical parameters of running was analyzed. Nine male regional-national sprint athletes (i.e., 100, 200 and 400 m distances) participated in this study, they performed three 40 m sprints in a randomized order (i.e., spikes, running shoes and mass-added spikes). Performance improved 2,6% with spikes with respect to running shoes, where 1,7% was due to the cleats and 0,9% was due to the mass. When analyzing the biomechanical variables, it was observed that the speed increased because both step rate and step length also increased. Step length increased and the contact time decreased due to a combined effect of the cleats and the mass. In conclusion, the sprint performance improved when using spikes with respect to running shoes, two third of the improvement was due to the cleats, and the rest to the shoe's mass.

Key words: spikes, biomechanics, sprint, performance.

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

Introducción

En las pruebas de atletismo de velocidad, el rendimiento se ve influenciado, entre otros, por factores fisiológicos, antropométricos, ambientales y biomecánicos. Dentro de estos últimos se encuentra el calzado (Majumdar y Robergs, 2011). A finales del pasado siglo XX algunos autores, en sus estudios biomecánicos sobre la carrera de velocidad, ya intuían que las zapatillas con clavos podían producir mejoras en el rendimiento. No obstante, no había estudios que demostrasen y cuantificasen dichas mejoras (Mero, Comi y Gregor, 1992). Hoy en día todos los velocistas utilizan zapatillas de clavos para competir, y ningún atleta cuyo objetivo sea el rendimiento se plantea correr con otro tipo de calzado, lo que contrasta con que todavía hay muy pocos estudios que evidencien estas mejoras en el rendimiento (Majumdar y Robergs, 2011).

En la literatura se han identificado 3 propiedades del calzado que podrían afectar al rendimiento en la carrera de velocidad: masa, rigidez y tracción. Estas propiedades, en teoría, afectarían a las fuerzas de reacción aplicadas en el suelo y al gasto energético que supone mover las zapatillas. Sin embargo, la mayoría de los estudios se han realizado a velocidades submáximas (Logan, Hunter, Hopkins, Feland, Parcell, 2010; Ogueta-Alday, 2014; Zingsem, Gutiérrez-Dávila y Rojas, 2014), y son escasos los realizados en pruebas de máxima intensidad y corta duración (ej. sprint, salto vertical, cambios de dirección rápidos) (Stefanyshyn y Fusco, 2004; Worobets y Wannop, 2015; Mohr, Trudeau, Nigg, y Nigg, 2016; Jiménez y García-López, 2017).

La masa de la zapatilla ha sido reconocida como un factor importante en el gasto energético (i.e. se acepta que 100 gr en cada pie aumentan un 1% el gasto de energía) en carreras de media y larga distancia (Ogueta-Alday y García-López, 2016). Sin embargo, estudios recientes llevados a cabo en acciones de máxima intensidad y corta duración no son concluyentes (Worobets y Wannop, 2015; Mohr y col., 2016). Así, por ejemplo, en jugadores de baloncesto que utilizaban el mismo modelo de zapatilla con distinta masa, no se mejoraba el rendimiento en sprints de diez metros ni en el salto vertical (Worobets y Wannop, 2015). En el mismo deporte, se ha concluido que la masa únicamente tiene un efecto psicológico, ya que el rendimiento en estas acciones sólo mejoraba cuando los jugadores conocían la masa de sus zapatillas, o sea, cuando se les indicaba que corrían con las zapatillas más ligeras (Mohr y col., 2016).

La influencia de la rigidez, definida como la resistencia a la flexión del calzado, ha sido analizada durante acciones de máxima intensidad y corta duración en baloncesto (Worobets y Wannop, 2015), y en pruebas de velocidad en atletismo (Stefanyshyn y Fusco, 2004). Ambos estudios coinciden en que el aumento de rigidez supone una mejora en el rendimiento, hasta un punto en que disminuiría, existiendo pues una rigidez óptima, posiblemente individual para cada deportista. Esta mejora se debería al hecho de minimizar la pérdida de energía en la articulación metatarsofalángica durante el apoyo en el suelo y al hecho de evitar que el centro de presiones tenga que retroceder durante el mismo, si bien no se han determinado los factores que condicionan esa rigidez óptima para cada atleta (Stefanyshyn y Fusco, 2004). Esto hace que cada atleta tenga que probar con diferentes grados de rigidez, hasta encontrar la que le resulta óptima (Stefanyshyn y Fusco, 2004).

La influencia de la tracción, definida como la fuerza de rozamiento entre el calzado y la superficie donde se utiliza, también ha sido estudiada durante acciones de máxima intensidad en baloncesto (Worobets y Wannop, 2015). Utilizando tres coeficientes de rozamiento (0,8, 1,0 y 1,2) se observaron mejoras en el rendimiento en el salto vertical y en el sprint con los

dos primeros (Worobets y Wannop, 2015), lo que confirmaría la hipótesis de que existe un determinado umbral de rozamiento (Luo y Stefanyshyn, 2011). Para los cambios de dirección se observó una mejora en el rendimiento con el valor máximo de tracción (Worobets y Wannop, 2015), y aunque existe controversia a este respecto (quienes opinan que también existiría un umbral), posiblemente el hecho de que los cambios de dirección exijan un mayor agarre o tracción del calzado podría justificar este comportamiento.

La zapatilla de clavos utilizada en pruebas de velocidad de atletismo se caracteriza por una baja masa, elevada rigidez y alta tracción. Sin embargo, los resultados de los estudios realizados sobre la influencia de este calzado en el rendimiento son controvertidos. Theophilos y col. (2014) no encontraron diferencias en el rendimiento del sprint en niños entre 11 y 13 años que utilizaron zapatillas de clavos, running y descalzo, lo que posiblemente pudiera deberse a la edad de los participantes y a la poca experiencia en el uso de este tipo de calzado (entre 1 y 3 años). Otros estudios biomecánicos, que no han evaluado su efecto en el rendimiento, han demostrado que las zapatillas de clavos reducen el rango de movimiento de la articulación metatarsofalángica y la máxima flexión dorsal del tobillo, lo que a priori podría significar una pérdida de rendimiento (Toon, Williams, Hopkinson y Caine, 2009).

Aparte del estudio de Stefanyshyn y Fusco (2004) mencionado anteriormente, sólo se tiene conocimiento de dos trabajos que ha evaluado el efecto en el rendimiento del uso de zapatillas de clavos durante las pruebas de velocidad en atletismo (Smith, Lake y Lees., 2014; Jiménez y García-López, 2017). El primero de ellos comparó, en atletas experimentados, la mejora de rendimiento al utilizar zapatillas de clavos respecto a la situación de descalzo, obteniendo una mejora del 3,8% en el sprint de 55 m (Smith, Lake y Lees., 2014). Además, en un trabajo reciente donde se compararon zapatillas de clavos y zapatillas de running se observó una mejora del 1,8% en el sprint de 40 m. Este estudio fue realizado en mujeres velocistas de nivel regional y nacional, donde la zapatilla de clavos mejoró el rendimiento en 0,105 s (1,8%), de los cuales 0,037 s (0,6%) se debieron a la masa (clavos lastrada). El análisis biomecánico desveló que no hubo cambios significativos en la frecuencia de carrera, pero sí en la amplitud de cada paso, que fue 2 cm mayor con zapatilla de clavos que con la de running, sin diferencias cuando la zapatilla de clavos se lastró (no hubo efecto de la masa). La zapatilla también afectó al tiempo de contacto del pie con el suelo, que fue aumentando progresivamente en 3 ms entre zapatilla de clavos y lastrada, y 2 ms entre la zapatilla lastrada y running (Jiménez y García-López, 2017).

El objetivo principal del presente trabajo es cuantificar el efecto en el rendimiento y la biomecánica de la carrera de la utilización de las zapatillas de clavos durante el sprint de 40 m en hombres velocistas de nivel autonómico-nacional, diferenciando el efecto de la tracción-rigidez del efecto de la masa de la zapatilla. Como objetivo secundario, los resultados obtenidos serán comparados con los de un trabajo anterior (Jiménez y García-López, 2017), donde se cuantificaron las mismas variables en mujeres de similar nivel competitivo, para valorar si existe influencia del género (lleva implícito un mayor nivel de rendimiento o menor tiempo) en los cambios obtenidos con las zapatillas de clavos.

Método

Participantes

En este estudio participaron 9 velocistas hombres de nivel competitivo regional y nacional, especialistas en pruebas de atletismo desde 60 a 400 metros. Tenían una edad de $17,5 \pm 4,0$ años, una masa de $62,1 \pm 3,7$ kilogramos, una estatura de $173,3 \pm 4,5$ centímetros y una experiencia en el entrenamiento en dichas pruebas de $5,2 \pm 2,8$ años. Todos ellos pertenecían

a clubes de nivel nacional, formaban parte del mismo grupo de entrenamiento y contaban con el mismo entrenador. Los deportistas fueron informados con anterioridad sobre los objetivos y el protocolo del estudio y dieron su consentimiento por escrito. Tras las diferentes pruebas, los corredores y su entrenador recibieron un informe sobre el rendimiento en las pruebas de esprint realizadas y las variables biomecánicas asociadas al mismo.

Procedimiento

El estudio se llevó a cabo en 3 fases, siguiendo un procedimiento experimental muy similar al establecido en un trabajo anterior realizado con mujeres velocistas, en el que se pretendían los mismos objetivos (Jiménez, 2016). En la primera fase se realizó una reunión con los corredores y el entrenador donde se informó de los objetivos y beneficios del estudio. Una vez aceptaron participar se les envió un cuestionario por la aplicación electrónica Google Drive, donde se recogieron los datos de los participantes. Paralelamente a este proceso, se procedió a la recogida de la masa de las zapatillas de running y de clavos. Previamente a la realización de la prueba se recogieron los consentimientos firmados por parte de los atletas. La segunda fase consistió en la realización, cronometraje y filmación de las pruebas de velocidad, las cuales se desarrollaron en el módulo cubierto superior de las pistas de atletismo Purificación Santamaría, del complejo polideportivo San Amaro en Burgos. Esta instalación deportiva disponía de 6 calles de 110 m de longitud recubiertas con tartán, y estaba homologada por la Real Federación Española de Atletismo para la realización de competiciones oficiales. Cada atleta realizó tres carreras de 40 m, 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 lastradas con plomo hasta alcanzar la masa de las zapatillas de running. El orden de realización de las tres carreras fue aleatorio, para descartar la posible influencia de la fatiga o el aprendizaje en los resultados obtenidos. En la tercera fase tuvo lugar el análisis de los vídeos de las pruebas, la obtención de las variables a estudiar y su posterior análisis de datos y estadístico. Finalmente se procedió a la entrega, explicación y puesta en común de dichos resultados con los atletas participantes en la prueba.

Primera fase

Se realizó una reunión con los corredores y el entrenador donde se informó de los objetivos y beneficios del estudio. Una vez aceptaron participar se les envió un cuestionario por la aplicación electrónica Google Drive donde se registró: edad, altura, masa, prueba de especialidad, categoría, marca personal, experiencia, modelo de zapatilla de running y modelo de zapatilla de clavos. Paralelamente a este proceso, se procedió a la recogida de la masa de las zapatillas de running ($281,6 \pm 30,4$ gr) y de clavos ($180,5 \pm 20,4$ gr) con la ayuda de una báscula de mano (Weitheng Portable Electronic Scale, precisión 10 gramos) en la que se pesaban ambas zapatillas y después se dividía el resultado entre 2 (Jiménez, 2016), para obtener un resultado más exacto (Figura 1).



Figura 1.-Diferentes tipos de zapatillas usadas en las pruebas (de arriba a abajo: zapatilla de clavos, zapatilla de clavos lastrada y zapatilla de running) (izquierda). Pesaje de las zapatillas con la báscula digital de mano Weitheng Portable ElectronicScale (derecha).

Segunda fase

La segunda fase consistió en la realización de las pruebas de velocidad. Cada atleta realizó tres esprints de 40 m cada uno, con una recuperación completa (más de 5 minutos) tras los mismos. En cada sprint utilizaron un tipo de calzado diferente: zapatillas de running, zapatillas de clavos y zapatillas de clavos lastradas con plomo hasta alcanzar la masa de las zapatillas tipo running (Figura 1). El orden en el que usó cada tipo de calzado fue aleatorio. Las zapatillas de running y de clavos eran las que el velocista utiliza habitualmente para entrenar y competir. La longitud de los clavos era de 6 mm para todos los atletas. La masa de los plomos utilizados como lastre fue de 30, 60, 80 y 100 gr. Dichos lastres se colocaron en el empeine del pie, en la zona de los cordones de la zapatilla de clavos, para igualar la masa de las zapatillas de clavos a las de running. Los plomos se envolvían con cinta aislante y se unían a los cordones de la zapatilla. Después, se aseguraban con dos vueltas de cinta aislante a la zapatilla para evitar que se desprendiesen de la misma durante la carrera (Jiménez, 2016).

En la Figura 2 se ilustran los materiales utilizados para la cuantificación de las variables en los esprints: 1 pulsador en el taco de salida delantero, 4 barreras de fotocélulas (DSD Láser System) y 2 cámaras de alta velocidad (Casio Exilim EX – ZR1000). El pulsador y las fotocélulas iban conectados a un ordenador portátil, el cual mediante el software SportTest-v3.2.2 (Desarrollo de Software Deportivo, León, España) proporcionaba el tiempo total y los tiempos parciales de cada sprint. Las fotocélulas se situaron cada 10 m desde la línea de salida (es decir, a los 10, 20, 30 y 40 m); con el haz de luz aproximadamente a la altura de la cadera (García-López y col., 2012), y tenían una precisión para el cronometraje de 0,001 s. Se colocaron 2 cámaras en los laterales sobre un trípode, grabando a 240 fps, tomando imágenes de los tramos 0-10 m y 30-40 m, coincidiendo con la fase de aceleración en la salida y la fase de carrera lanzada, respectivamente (Jiménez, 2016).

Para la realización de cada sprint los atletas se colocaban en los tacos de salida, realizando la prueba individualmente. Primero se les permitía realizar una salida de prueba tras ajustar los tacos a sus necesidades. A continuación, se les daba la salida de la misma manera que en competición oficial, con las órdenes de: ¡A sus puestos!, ¡Listos!, ¡Ya! El tiempo de carrera comenzaba a registrarse a partir de que la atleta abandonaba el taco delantero (el pulsador dejaba de estar accionado). Cuando terminaba cada atleta, recuperaba completamente y se preparaba y ajustaba el siguiente calzado que tenía que utilizar.

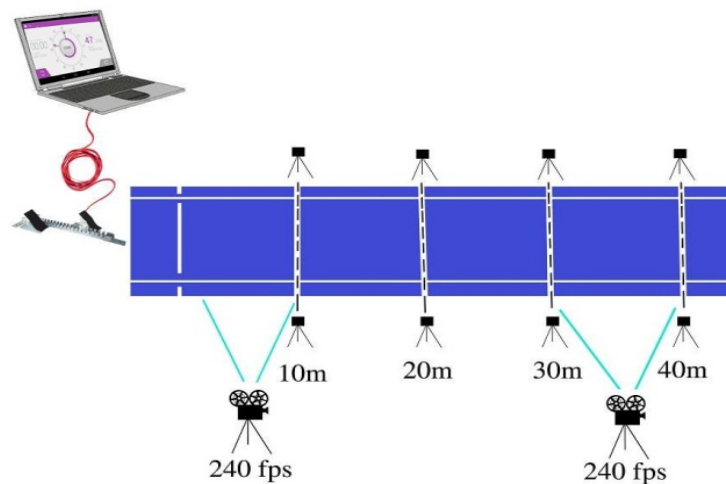


Figura 2.-Esquema de la disposición del material durante la prueba.

Tercera fase

En la tercera fase tuvo lugar el análisis de los vídeos obtenidos durante las pruebas, la obtención de las variables a estudiar y su posterior análisis de datos y estadístico. También se entregaron, explicaron y pusieron en común dichos resultados con los atletas participantes en la prueba.

Se obtuvieron los tiempos totales de cada sprint (0-40 m), y los tiempos en el primer (0-20 m) y último parcial (20-40 m). Para la obtención de los datos de variables biomecánicas (frecuencia y amplitud de carrera y tiempo de apoyo) se utilizó el software gratuito “Kinovea v.0.8.15”, a través del cual se analizaron, por parte de un único evaluador, los videos grabados con las cámaras de alta velocidad en los tramos de 0-10 y 30-40 m de carrera. El valor medio de las variables biomecánicas en estos dos tramos también fue obtenido. La frecuencia de carrera en ambos tramos se medía a partir del tiempo que transcurría entre el primer contacto con el suelo del primer paso (tras rebasar los 0 y 30 m, respectivamente), hasta el fotograma anterior a que el pie contara con la pista justo antes de la línea de los 10 y 40 m, respectivamente. Ese tiempo se dividía entre los pasos realizados, siendo 6 en la fase de aceleración y 3-4 en la fase lanzada. La amplitud de cada paso se obtuvo tras un proceso de calibración de los 10 m en ambas fases, obteniendo la distancia entre el primer y último apoyo antes mencionados, y dividiéndola por el número de apoyos. La calibración se llevó a cabo considerando el desplazamiento del atleta en una dimensión (1D), para lo cual, se tomaron dos puntos (inicio y final de los 10 m calibrados) en el medio de la calle por la que el atleta corría. Para comprobar la fiabilidad y el error técnico de medida, la amplitud de paso de los atletas con zapatilla de clavos volvió a medirse un año y medio después, obteniendo un coeficiente de correlación superior a 0.999 y un error que osciló entre los 0 y 0.0006 m (0.04%). La medición del tiempo de contacto se obtuvo individualmente de cada uno de los pasos analizados, tomando el valor medio como representativo.

Análisis estadístico

Los resultados fueron expresados como media \pm 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 (clavos vs masa) fue utilizado

para cuantificar el efecto de estos factores en el rendimiento y las variables biomecánicas. 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 ($ES \geq 0,8$). Valores de $p < 0,05$ fueron considerados como estadísticamente significativos.

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 ($F= 18,9$ y $p= 0,00006$; $d= 2,35$, efecto grande), que mejoró en 0,142 s (2,6%) al utilizar zapatilla de clavos respecto a la de running, de los cuales 0,051 s (0,9%) se debieron a la masa (clavos lastrada). No hubo diferencias significativas en la frecuencia ni la amplitud de carrera, aunque la tendencia fue a aumentar con las zapatillas de clavos y lastrada (0,06 Hz y 3 cm mayor con zapatilla de clavos que con la de running), obteniéndose un efecto moderado en ambas variables ($F= 1,3$ y $1,6$; $p= 0,30$ y $0,23$; $d= 0,65$ y $0,69$; respectivamente). La zapatilla también afectó al tiempo de contacto ($F= 10,5$ y $p= 0,0012$; $d= 1,87$, efecto grande), que fue 6 ms menor con la zapatilla de clavos respecto a la de running.

Tabla 1. Tiempo 0-40 m, media de frecuencia y amplitud de carrera y de tiempo de contacto obtenidos con los diferentes tipos de zapatilla analizados (clavos, clavos lastrada y running).

Variable/Zapatilla	Clavos	Clavos lastrada	Running
Tiempo (s)	5,199±0,166***	5,250±0,169#	5,341±0,160\$\$
Frecuencia (Hz)	4,28±0,20	4,27±0,21	4,22±0,20
Amplitud (m)	1,75±0,06	1,74±0,07	1,72±0,06
T. contacto (s)	0,131±0,009**	0,131±0,010	0,137±0,010\$\$

*, diferencias significativas entre zapatillas de clavos y running; #, diferencias significativas entre zapatillas de clavos y clavos lastrada (efecto de la masa); \$, diferencias significativas entre zapatillas de clavos lastrada y de running (efecto del clavo). * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

La Figura 3 muestra el rendimiento individual (tiempo total 0-40 m) de los 9 velocistas analizados (S1...S9), así como el valor medio obtenido por los mismos (Media). Obsérvese el comportamiento diferencial de los velocistas, por ejemplo, comparando S2 (al que le afectó más la masa de la zapatilla que la pérdida de rigidez y tracción) y S9 (al que le afectó mucho la rigidez y tracción, no perdiendo tiempo por el aumento de la masa de la zapatilla).

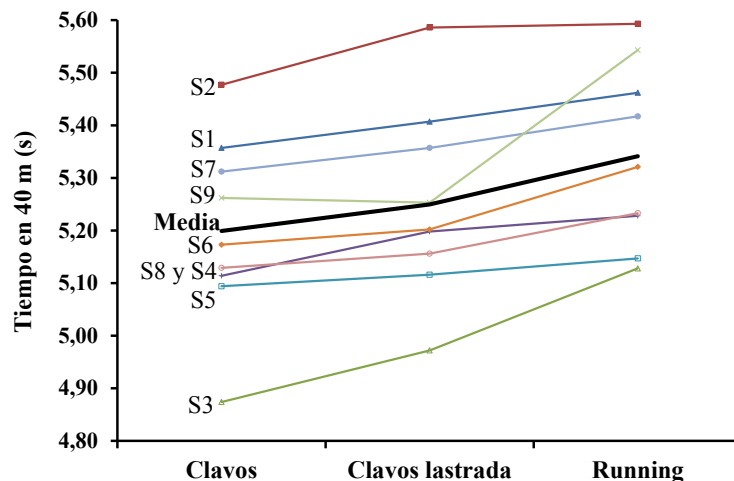


Figura 3. Rendimiento individual en 40 m de los 9 velocistas participantes en el estudio (S1...S9), así como el valor medio de los mismos (Media), en función del tipo de zapatilla utilizada.

La Tabla 2 muestra los resultados obtenidos en el tramo 0-20 m. El tipo de zapatilla utilizada influyó en el rendimiento en los 20 m ($F= 4,3$ y $p= 0,03$; $d= 1,13$, efecto grande), que mejoró en $0,068$ s ($2,2\%$) al utilizar zapatilla de clavos respecto a la de running, de los cuales $0,019$ s ($0,6\%$) se debieron a la masa (clavos lastrada). No se observaron diferencias significativas en la frecuencia ni en la amplitud de carrera, a pesar de obtenerse un efecto pequeño y moderado ($F= 0,7$ y $1,3$; $p= 0,53$ y $0,29$; $d= 0,45$ y $0,67$, respectivamente). La zapatilla no afectó al tiempo de contacto entre clavos y clavos lastrados, pero sí disminuyó en 6 ms con clavos y lastre respecto a las zapatillas de running ($F= 3,6$ y $p= 0,051$; $d= 1,10$, efecto grande).

Tabla 2. Tiempo 0-20 m, media de frecuencia y amplitud de carrera y de tiempo de contacto obtenidos con los diferentes tipos de zapatilla analizados (clavos, clavos lastrada y running).

Variable/Zapatilla	Clavos	Clavos lastrada	Running
Tiempo (s)	2,946±0,083*	2,965±0,087	3,014±0,105\$
Frecuencia (Hz)	4,27±0,24	4,25±0,27	4,21±0,20
Amplitud (m)	1,40±0,07	1,40±0,09	1,38±0,08
T. contacto (s)	0,151±0,010*	0,151±0,013	0,157±0,013\$

*, diferencias significativas entre zapatillas de clavos y running; \$, diferencias significativas entre zapatillas de clavos lastrada y de running (efecto del clavo). * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

La Tabla 3 muestra los resultados obtenidos en el tramo 20-40 m. El tipo de zapatilla utilizada influyó en el rendimiento en los últimos 20 m ($F= 18,1$ y $p= 0,00008$; $d= 2,36$, efecto grande), que mejoró en $0,063$ s ($2,7\%$) al utilizar zapatilla de clavos respecto a la de running, de los cuales $0,016$ s ($0,7\%$) se debieron a la masa (clavos lastrada). No se observaron diferencias significativas en la frecuencia ni en la amplitud de carrera, a pesar de obtenerse un efecto moderado en ambas variables ($F= 1,1$ y $1,0$; $p= 0,35$ y $0,39$; $d= 0,62$ y $0,50$, respectivamente). La zapatilla no afectó al tiempo de contacto entre clavos y clavos lastrados, pero sí disminuyó en 5 ms con clavos y lastre respecto a las zapatillas de running ($F= 5,1$ y $p= 0,02$; $d= 1,30$, efecto grande).

Tabla 3. Tiempo 20-40 m, media de frecuencia y amplitud de carrera y de tiempo de contacto obtenidos con los diferentes tipos de zapatilla analizados (clavos, clavos lastrada y running).

Variable/Zapatilla	Clavos	Clavos lastrada	Running
Tiempo (s)	2,265±0,074***	2,281±0,085	2,328±0,089\$\$\$
Frecuencia (Hz)	4,29±0,17	4,29±0,19	4,23±0,22
Amplitud (m)	2,09±0,06	2,08±0,07	2,07±0,05
T. contacto (s)	0,112±0,007*	0,112±0,008	0,117±0,008\$

*, diferencias significativas entre zapatillas de clavos y running; \$, diferencias significativas entre zapatillas de clavos lastrada y de running (efecto del clavo). * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Las mejoras en el rendimiento de la carrera al comparar los diferentes modelos de zapatillas fueron muy similares en los tramos 0-20 y 20-40 m de carrera (0,068 y 0,063 s al comparar zapatilla de clavos y running, respectivamente) (Figura 4).

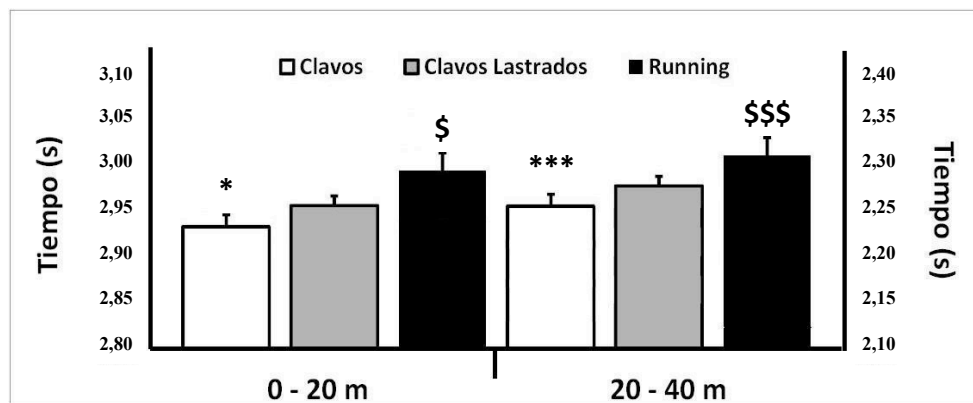


Figura 4. Comparación entre los tiempos de carrera en los dos tramos de la prueba de 40 m (0-20 y 20-40 m) con los diferentes tipos de zapatillas utilizados (clavos, clavos lastrada y running). Diferencias significativas: *, entre zapatillas de clavos y running; \$, entre zapatillas de clavos lastrada y de running (efecto del clavo). * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Discusión

El principal hallazgo de este estudio ha sido cuantificar, en atletas hombres de cierto nivel competitivo, la mejora que se produce en el rendimiento de la carrera de velocidad al utilizar la zapatilla de clavos respecto a una zapatilla convencional (2,6% en una carrera de 40 m). En esta mejora, el 0,9% se debió a la menor masa de las zapatillas de clavos, y el 1,7%, se debió a la rigidez de la suela y mayor tracción de los clavos. Estos dos últimos factores posiblemente permitieron un mejor aprovechamiento de la fuerza horizontal en cada impulso, lo que pudo traducirse en un aumento de la amplitud de cada paso. La frecuencia de carrera también aumentó, posiblemente por la disminución del tiempo de contacto. Las mejoras fueron similares en los dos tramos de carrera analizados (0-20 y 20-40 m) (Figura 4).

Se ha observado un comportamiento individual de los velocistas analizados (Figura 3), y mientras a algunos les afectó más el aumento de la masa que la rigidez y tracción de la zapatilla (ej. S2), en otros ocurrió lo contrario (ej. S9). Estos resultados están en la línea de lo descrito por otros autores que valoraron el efecto de las variables mencionadas en atletas (Stefanyshyn y Fusco, 2004) y jugadores de baloncesto (Worobets y Wannop, 2015). Posiblemente la mayor aplicación práctica de este hallazgo sea la necesidad de hacer una

valoración individual del atleta con zapatillas de diferentes características, seleccionando la que le resulte más favorable para la mejora del rendimiento deportivo.

Cualitativamente estos resultados son muy similares a los obtenidos en un trabajo anterior que fue realizado con mujeres velocistas, donde la mejora fue del 1,8%, debiéndose un tercio de la misma a la masa y dos tercios a la zapatilla (Jiménez y García-López, 2017). Cuantitativamente se podría pensar que un 2,6% de mejora es mayor que un 1,8%, aunque al realizar la comparación (valoración de la influencia del género en la ganancia porcentual), no se observan diferencias estadísticamente significativas en ninguno de los tramos analizados (Figura 5). A partir de la comparación de ambos estudios, parece que el género no influye en el aprovechamiento de la zapatilla de clavos, aunque futuros trabajos con grupos de hombres y mujeres de mayor nivel deben confirmarlo.

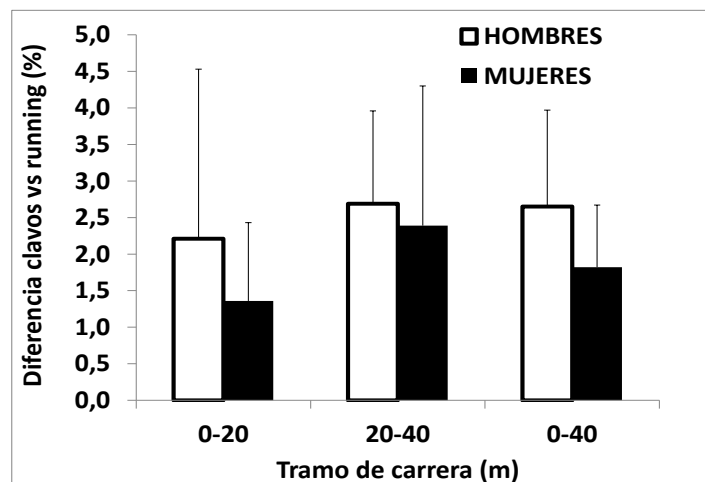


Figura 5. Diferencias en rendimiento (%) al utilizar las zapatillas de clavos respecto a las zapatillas de running, en los diferentes tramos de carrera. Hombres (n= 9): grupo de hombres velocistas del presente trabajo. Mujeres (n= 9): grupo de mujeres velocistas del trabajo de Jiménez y García-López (2017). Diferencias no significativas.

Las mejoras obtenidas en el presente estudio (2,6%), y las referidas en el trabajo de Jiménez y col. (1,8%, 2017) son menores que el 3,8% encontrado en un estudio anterior sobre una distancia de sprint de 55 m (Smith y col., 2014). Esta mejora es tan elevada debido a que compararon dos situaciones muy extremas (correr descalzo vs zapatilla de clavos), cuando en los trabajos previamente mencionados se comparó la situación de calzado con zapatillas de running y clavos. Al correr descalzo la tracción que el pie realiza con el suelo es pequeña, lo que podría haber condicionado el rendimiento respecto a una situación donde hay mucha tracción (Worobets y Wannop, 2015). El uso de clavos aumenta considerablemente la tracción en cada apoyo, lo que permitiría aplicar una fuerza e impulso horizontal mayores, que permitirían correr más rápido.

Tal y como se ha comentado en la introducción, las tres propiedades del calzado que podrían alterar el rendimiento en el sprint son la masa, la rigidez y la tracción de las zapatillas. Estudios anteriores han manipulado la rigidez, valorando su efecto en una mejora del rendimiento del 1,2% en pruebas de 40 m (Stefanyshyn y Fusco, 2004). Los resultados del presente estudio y del de Jiménez y col. (2017) permiten estimar la influencia de la masa entre el 0,6 y 0,9%, respectivamente. El resto de mejora (hasta el 1,8 y 2,6%, respectivamente) debería deberse a un efecto combinado de la rigidez y la tracción. Recientes trabajos realizados con zapatillas de baloncesto han obtenido que el efecto de la tracción es mayor que el de la rigidez, sin influencia de la masa (Worobets y Wannop, 2015). Esto puede deberse a las propias características de estas zapatillas (más pesadas, entre 0,331-0,497 kg) y de la

modalidad y velocidad de desplazamiento (más lenta). En el presente trabajo se ha manipulado la tracción y la masa, pero no la rigidez. Por lo tanto, futuros estudios deberían comprobar, de forma aislada, la influencia de la tracción, la rigidez y la masa en el rendimiento en el sprint, de forma similar al trabajo de Worobets y Wannop (2015) en zapatillas de baloncesto.

La mejora del rendimiento en el sprint se debió fundamentalmente a un moderado efecto combinado de aumento de amplitud y frecuencia de carrera, a pesar de no haberse obtenido diferencias significativas en estas variables (Tablas 1, 2 y 3). Las mejoras en amplitud de cada paso y la disminución del tiempo de apoyo en el tramo de carrera 0-40 m (Tabla 1) son comparables a las del trabajo de Jiménez y col. (2017), que obtuvieron cambios en mujeres de 2 cm y 5 ms, respectivamente. En el presente trabajo, los cambios fueron de 3 cm y 6 ms, respectivamente, con zapatilla de clavos respecto a la de running. Estos resultados también son muy similares a los obtenidos en el estudio de Logan y col. (2010), en el que el tiempo de contacto disminuyó 6 ms en atletas de fondo, al comparar zapatillas de running y de clavos a velocidades de carrera submáximas.

En el presente trabajo (Tabla 3) sólo se ha detectado una pequeña diferencia respecto al trabajo de Jiménez y col. (2017), quienes no obtuvieron apenas cambios en el tiempo de contacto y en la frecuencia de carrera en el tramo de carrera 30-40 m. La justificación podría estar en que los tiempos de contacto del trabajo mencionado con la zapatilla de clavos y de running fueron de 111 y 112 ms, mientras que en el presente estudio han sido de 112 y 117 ms, respectivamente. La disminución del tiempo de apoyo permitió, a su vez, un aumento de la frecuencia de carrera en el tramo 30-40 m, lo que tuvo repercusión a nivel global de la carrera (0-40 m). Esta disminución del tiempo de contacto podría deberse a la masa de las zapatillas de running utilizadas por los hombres del presente trabajo, que fue significativamente mayor que en las mujeres del estudio mencionado ($0,282 \pm 0,032$ y $0,241 \pm 0,027$ kg, respectivamente, $p < 0,01$), sin diferencias significativas en la masa de las zapatillas de clavos ($0,181 \pm 0,022$ y $0,170 \pm 0,017$ kg, respectivamente). Normalmente las zapatillas de running para hombres son más pesadas que para mujeres, aportando mayores propiedades de amortiguación, porque se les presupone una mayor masa corporal, lo que podría aumentar el tiempo de contacto en la fase de carrera lanzada. Futuros trabajos deberían controlar estrictamente esta variable, homogeneizando las zapatillas de clavos y running utilizadas durante el experimento.

El hecho de no haber encontrado diferencias significativas en la amplitud de paso en ninguna de las fases de carrera analizadas (Tablas 1, 2 y 3) puede deberse a la metodología empleada para registrar esta variable (es decir, software de uso libre Kinovea), a pesar de haber obtenido un bajo error técnico de medida (0.04% o menos de 0.0006 m) y una alta fiabilidad test-retest intra-observador ($r > 0.999$). No obstante, el tamaño del efecto sí que ha corroborado el aumento de la frecuencia y la amplitud de zancada con las zapatillas de clavos respecto a las de running. Por lo tanto, las principales limitaciones del estudio han sido: No realizar un diseño metodológico que permitiera distinguir entre el efecto de la rigidez y de la tracción al utilizar la zapatilla de clavos. No utilizar zapatillas de running ni de clavos estándares para todos los velocistas (sí una longitud de clavos estándar de 6 mm). No utilizar herramientas con suficiente sensibilidad para detectar cambios menores de 2-3 cm en la amplitud de paso. Futuros trabajos deben mejorar los aspectos comentados.

Conclusiones

El presente trabajo es uno de los pocos que ha analizado el efecto de utilizar zapatillas de clavos en el rendimiento de la carrera de velocidad, cifrándose en un 2,6% durante el esprint de 40 m. Esta mejora se debió fundamentalmente al efecto de los clavos (dos tercios), pero también al efecto de la masa de la zapatilla (un tercio), lo cual coincide con los hallazgos de trabajos anteriores realizados en mujeres de similar nivel competitivo, pero con un menor rendimiento (Jiménez y García-López, 2017). Las zapatillas de clavos mejoraron el rendimiento de forma similar en las fases de carrera de aceleración (0-20 m) y lanzada (20-40 m) y, en general, las variables biomecánicas que se modificaron fueron la amplitud de cada paso (aumentó) y el tiempo de apoyo (disminuyó), provocando un aumento de la frecuencia de paso.

Los atletas de velocidad que utilizan zapatillas de clavos deben seleccionar su calzado primando fundamentalmente la rigidez y el agarre o tracción, y de forma secundaria la masa. Igualmente, se deberían hacer valoraciones individuales, ya que según los resultados observados (Figura 3) y las conclusiones de estudios previos, dependiendo del perfil de atleta (masa, fuerza muscular, etc.) es posible que sea capaz de aprovecharse, en mayor o menor medida, de una de las características comentadas. Futuros trabajos con hombres y mujeres velocistas de mayor nivel competitivo son necesarios para dilucidar si el aprovechamiento de la zapatilla de clavos depende del nivel de rendimiento.

Agradecimientos

Al entrenador y atletas velocistas del club Florentino Díaz Reig de Burgos, que participaron en el presente trabajo, por su contribución voluntaria al mismo. A Pedro Abal del Blanco, por su asistencia durante la fase de recogida de datos.

Referencias

- García-López, J.; Morante, J. C.; Ogueta-Alday, A. C.; González-Lázaro, J.; Rodríguez-Marroyo, J. A., & 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>
- Jiménez, A. (2016). *Análisis biomecánico del efecto de las zapatillas de clavos de velocidad en el rendimiento*. [Trabajo final de grado]. Universidad de León.
<https://buleria.unileon.es/handle/10612/5657>
- Jiménez-Velayos, A., & 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>
- 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.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3737977/>
- Majumdar, A., & Robergs, R. (2011). The science of speed: Determinants of performance in the 100m sprint. *International Journal of Sports Science and Coaching*, 6(3), 479-494.
<https://doi.org/0.1260/1747-9541.6.3.479>
- Mero, A.; Komi, P. V., & Gregor, R. J. (1992). Biomechanics of sprint running. A review. *Sports Medicine*, 13(6), 376-392.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1615256>

Corbí-Santamaría, P.; Jiménez-Velayos, A.; Corbí-Santamaría, M., y García-López, J. (2018). Análisis biomecánico del efecto de las zapatillas de clavos en el rendimiento del esprint en hombres velocistas. *RICYDE. Revista internacional de ciencias del deporte*, 53(14), 243-255.
<https://doi.org/10.5232/ricyde2018.05305>

Mohr, M.; Trudeau, M. B.; Nigg, S. R., & Nigg, B. M. (2016). Increased Athletic Performance in Lighter Basketball Shoes: Shoe or Psychology Effect? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(1), 74-79.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25946305>

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.
<https://buleria.unileon.es/handle/10612/3923>

Ogueta-Alday, A., & García-López, J. (2016). Factores que afectan al rendimiento en carreras de fondo. *RICYDE. Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 45(12), 278-308.
<http://dx.doi.org/10.5232/ricyde2016.04505>

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://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24042098>

Stefanyshyn, D., & Fusco, C. (2004). Increased shoe bending stiffness increases sprint performance. *Sports Biomechanics*, 3(1), 55-66.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15079988>

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.
<https://doi.org/10.7752/jpes.2014.04092>

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>

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://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26517604>

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*, 20(33), 79-92.