



universidad
de león



TRABAJO DE FIN DE GRADO EN CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL
DEPORTE

Curso Académico 2015/2016

ANÁLISIS BIOMECÁNICO DEL EFECTO DE LAS ZAPATILLAS DE CLAVOS DE VELOCIDAD EN EL RENDIMIENTO

Biomechanical analysis of effect of speed spikes on performance

Autor/a: Adrián Jiménez Velayos

Tutor/a: Juan García López

Fecha: 7 de diciembre de 2015

VºBº TUTOR/A

VºBº AUTOR/A

Índice

| | |
|---|----|
| RESUMEN | 2 |
| 1. INTRODUCCIÓN | 3 |
| 2. OBJETIVOS DEL TRABAJO Y COMPETENCIAS A DESARROLLAR POR EL ESTUDIANTE | 5 |
| 3. METODOLOGÍA | 7 |
| 3.1. Sujetos..... | 7 |
| 3.2. Procedimiento..... | 7 |
| 3.2.1. Primera fase | 7 |
| 3.2.2. Segunda fase | 8 |
| 3.2.3. Obtención de las variables de análisis..... | 11 |
| 3.2.4. Análisis estadístico | 14 |
| 4. RESULTADOS | 15 |
| 5. DISCUSIÓN | 18 |
| 6. CONCLUSIONES, APLICACIONES Y PERSPECTIVAS | 21 |
| 7. BIBLIOGRAFIA | 22 |
| ANEXOS | 24 |

RESUMEN

Los objetivos de este trabajo han sido cuantificar el efecto del uso de zapatillas de clavos en el rendimiento de la carrera de velocidad, segregando entre el efecto del clavo y del peso, así la influencia del calzado en los parámetros biomecánicos de la carrera. Participaron 9 atletas femeninas de nivel regional y nacional (pruebas de 100 y 200 m lisos) que realizaron tres carreras de 40 m, usando de forma aleatoria tres clases de calzado (zapatillas de clavos, zapatillas de running y zapatillas de clavos lastradas hasta el peso de las zapatillas de running). Los resultados obtenidos demostraron que el rendimiento mejoraba un 1.8% con las zapatillas de clavos respecto de las zapatillas de running, de los cuales un 1.2% era debido a los clavos y un 0.6% a la diferencia de peso. Al analizar las variables biomecánicas se observó que la frecuencia de zancada permaneció constante, la amplitud de zancada aumentó debido al efecto de los clavos (2 cm) y el tiempo de contacto disminuyó (5 ms) debido a un efecto combinado de los clavos y el peso. En conclusión, el rendimiento en carreras de velocidad se ve mejorado al utilizar zapatillas de clavos respecto a las zapatillas de running, siendo un tercio de la mejora debida a la diferencia de peso, y el resto al efecto de los clavos. Futuros trabajos deberían realizarse con hombres y mujeres de igual y superior nivel a los utilizados en el presente estudio.

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

ABSTRACT

The purposes of this work have been to quantify the effect of the use of spikes on sprint's performance, segregating between the cleat's effect and the weight's effect, and the influence of the footwear in biomechanical parameters of running. 9 female athletes of regional and national level (proofs of 100 and 200 m dash) participated in this study, they performed three 40 m races, using randomly three kinds of footwear (spikes, running shoes and weighted spikes to running shoes' weight). The obtained results demonstrated the performance improve 1.8% with spikes in respect of with running shoes, of which 1.2% were due to the cleats and 0.6% were due to the difference of weight. When analyzing the biomechanical variables it was observed the stride frequency remains constant, the stride length increased due to the cleats' effect (2 cm) and the contact time decrease (5 ms) due to a combined effect of the cleats and the weight. In conclusion, the performance on sprint races is improved when it is used spikes in respect of running shoes, one third of the improvement is due to the weight difference, and the rest of the improvement is due to the cleats' effect. Future works should be made with men and women of same and higher level to the used in the present study.

Keywords: spikes, biomechanics, sprint, performance.

1. 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 encuentran 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 que evidencien la mejoría del rendimiento corriendo con este calzado (Majumdar y Robergs, 2011).

En teoría el tipo de calzado utilizado afecta a las fuerzas de reacción del suelo durante la carrera, pero esto solo 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 y un mayor pico de fuerza de frenado (Logan et al., 2010). 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 (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 mover el centro de presión de la fuerza, incrementando el brazo de palanca 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 en carreras de velocidad es la tracción de la suela, que como sucede con la rigidez de la suela, el rendimiento se vería mejorado incrementando la tracción, pero llega un punto en el que deja de haber beneficios independientemente de lo que se aumente la tracción de la suela (Worobets y Wannop, 2015).

Estudiando las diferencias en el rendimiento en la carrera de velocidad corriendo con zapatillas de clavos, con zapatillas de running y descalzo, se concluyó que el rendimiento en niños, con los tres tipos de calzado, era similar sin encontrar diferencias significativas con ninguna de las condiciones de calzado (Theophilos et al., 2014). Este estudio se realizó con

sujetos cuyas edades se comprendían entre 11 y 13 años, no con adultos, y cuya experiencia era poca, de entre 1 y 3 años (Theophilos et al., 2014). Asimismo el uso de zapatillas de clavos en pruebas de velocidad reduce el rango de movimiento de la articulación metatarsal y la máxima velocidad de flexión dorsal (Toon, Williams, Hopkinson y Caine., 2009; Smith, Lake y Lees., 2013). Estos efectos de las zapatillas de clavos serían desventajosos para el rendimiento de los atletas.

Además de la rigidez de la zapatilla, y de que tenga o no clavos en la suela, el peso podría constituir una característica esencial en el rendimiento. En carreras de media y larga distancia se acepta que la disminución de 100 gr en cada pie supone una reducción del 1% en el gasto energético (Ogueta-Alday, 2014). En carreras de aceleración (sprint 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.

2. OBJETIVOS DEL TRABAJO Y COMPETENCIAS A DESARROLLAR POR EL ESTUDIANTE

A partir de nuestro conocimiento no hemos encontrado ninguna investigación que estudie el rendimiento de atletas velocistas experimentados en función de si corren con o sin zapatillas de clavos. Por ello 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, comparando su uso con el de las zapatillas de entrenar, eliminando el efecto del peso entre ambas clases de calzado. El objetivo secundario es estudiar cuales son los parámetros biomecánicos que determinan el posible incremento del rendimiento durante la carrera de velocidad.

Las competencias generales a desarrollar por el estudiante están relacionadas con la selección y utilización de instrumentos de medida y la valoración de una actividad concreta, así como con la aproximación a la investigación y la formación científica. Destacan las siguientes:

- Conocer y comprender los objetos de estudio de las Ciencias de la Actividad Física y del Deporte.
- Adquirir la formación científica básica aplicada a la actividad física y al deporte en sus diferentes manifestaciones.
- Conocer y comprender los efectos y los factores biomecánicos que condicionan la práctica de la actividad física y del deporte.
- Comprender la literatura científica del ámbito de la actividad física y del deporte.
- Saber aplicar las tecnologías de la información y comunicación al ámbito de las Ciencias de la Actividad Física y del Deporte.
- Desarrollar competencias para el aprendizaje autónomo y la adaptación a las nuevas situaciones.
- Desarrollar hábitos de excelencia y calidad en el ejercicio profesional, actuando con respeto a los principios éticos necesarios.

Así mismo se han desarrollado otras, de manera específica, en este trabajo. Todas ellas relacionadas con la capacidad de utilizar diferentes herramientas para el estudio de diferentes variables de la carrera:

- Aplicar los principios biomecánicos al campo de la actividad física y del deporte.
- Interpretar resultados y controlar variables utilizando diferentes métodos y técnicas instrumentales de medición o estimación, tanto de laboratorio como de campo, y aplicarlas en grupos de entrenamiento.
- Seleccionar y saber utilizar los recursos, instrumentos, herramientas y equipamientos adecuados para cada actividad concreta.

3. METODOLOGÍA

3.1. Sujetos

En este estudio han participado 9 atletas velocistas de género femenino, de nivel regional y nacional, con una edad de 18.9 ± 2.6 años, un peso de 55.4 ± 7.2 kilogramos y una talla de 163.1 ± 3.1 centímetros. 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 realizados durante las pruebas.

3.2. Procedimiento

Este estudio 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, altura y peso de las atletas; y se midieron los pesos 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). Cada atleta realizó tres carreras de 40 m, cada una de ellas con un tipo de calzado diferente: con las zapatillas de entrenamiento, con las zapatillas de clavos y con las zapatillas de clavos con un lastre que igualase su peso al de las zapatillas de entrenar. El orden de las carreras fue aleatorio para evitar la influencia de la fatiga y/o el aprendizaje. Para la toma de datos se emplearon fotocélulas y cámaras de alta velocidad. Tras estas 2 fases tuvo lugar la obtención de las variables a estudiar y su posterior análisis de datos y estadístico.

3.2.1. Primera fase

Todas las participantes en el estudio, previamente al inicio de las pruebas, tuvieron que dar su consentimiento firmado, en el cual autorizaban a los investigadores a utilizar los datos obtenidos. Firmaban conocer los objetivos y beneficios del estudio, y eximían a los responsables de la prueba de cualquier responsabilidad derivada de su realización. Además se anotaron la edad, la altura y el peso de las participantes, y el peso de sus zapatillas de clavos (170 ± 16 gr) y el de sus zapatillas de entrenar (241 ± 26 gr). La medición del peso de las zapatillas se realizó con una báscula digital de mano (Weitheng Portable Electronic Scale, precisión 10 gramos), en la que se pesaban ambas zapatillas juntas y se dividía el resultado entre 2, obteniendo así el resultado más exacto posible (Figura 1).



Figura 1.-Pesaje de las zapatillas con una báscula digital de mano.

3.2.2. Segunda fase

La prueba consistió en la realización de 3 esprines de 40 m cada uno, con suficiente descanso entre ellos 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 peso al de las zapatillas de entrenamiento (Figura 2), 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 30, 60, 80 y 100 gr, en función de la diferencia de peso entre las zapatillas de clavos y de entrenamiento 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 3).



Figura 2.-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).



Figura 3.-Plomos de diferentes pesos (30 gr, 60 gr, 80 gr y 100 gr) y su colocación como lastres en las zapatillas de clavos.

Para la obtención de datos durante los esprints se utilizaron un pulsador en el taco de salida delantero, 4 barreras de fotocélulas (DSD Láser System, precisión 0.001 s) y 5 cámaras de alta velocidad (Casio Exilim EX – ZR1000) (Figura 4). El pulsador y las fotocélulas iban conectados a un ordenador portátil, el cual mediante un software nos proporcionaba los tiempos totales y parciales de cada prueba. Las fotocélulas se situaron cada 10 m; a los 10

m, 20 m, 30 m y 40 m; a la altura de la cadera ~1 m (García-López et al., 2012). Se colocaron 2 cámaras en los laterales, grabando a 120 fps, tomando imágenes de los tramos 0-10 m y 30-40 m, coincidiendo con la fase de aceleración y la fase de máxima velocidad respectivamente. Las 3 cámaras 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, una grabando la salida y la otra grabando la llegada, 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!) (Figuras 5A y 5B). El tiempo de carrera comenzaba a registrarse a partir de que la atleta abandonaba el taco delantero (el pulsador dejaba de estar accionado).

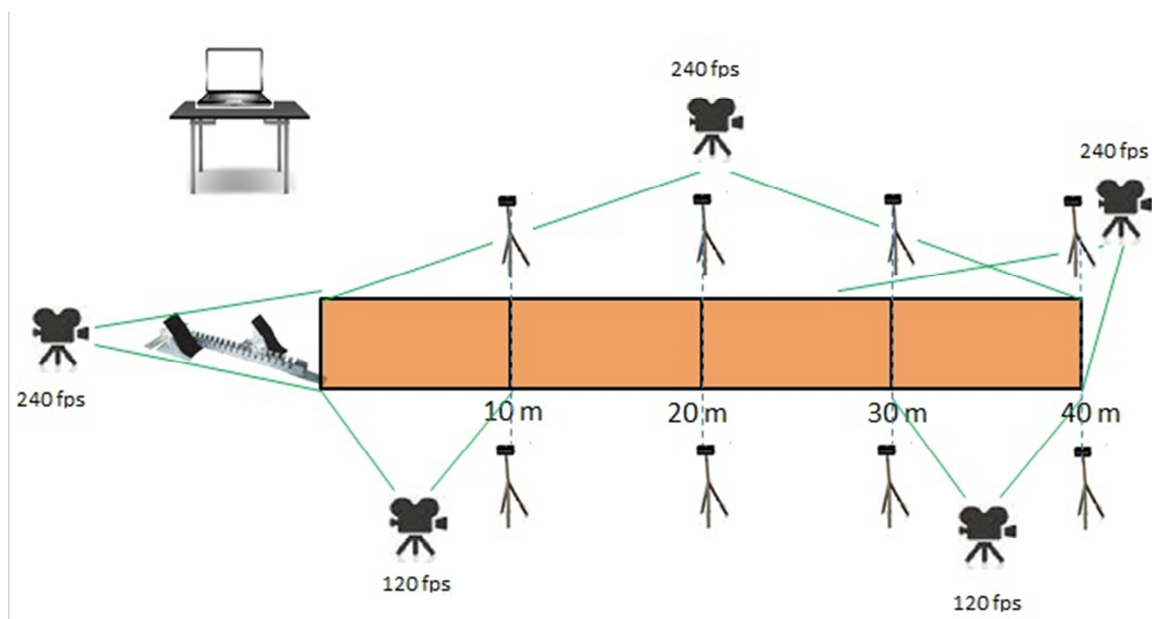


Figura 4.-Esquema de la disposición del material para la realización de la prueba.

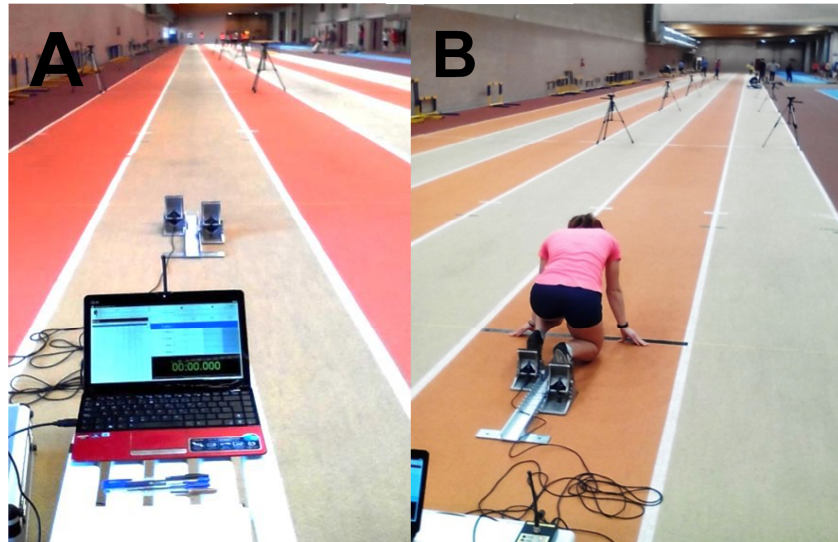


Figura 5A.- Disposición del material durante la prueba. Figura 5B.- Colocación de la atleta en la posición de salida baja.

3.2.3. Obtención de las variables de análisis

Además de los tiempos totales de cada sprint de 40 m, también 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 la fases de aceleración y carrera lanzada, tal y como se describe a continuación. Para la obtención de los datos de variables biomecánicas se utilizó el software gratuito “Kinovea v.23.”, a través del cual se analizaron los videos grabados con las cámaras de alta velocidad y se consiguieron los datos requeridos. Estos datos fueron tomados de los tramos 0-10 m (fase de aceleración) y 30-40 m (fase de carrera lanzada), se calculó el valor promedio en cada fase y también la media entre ambas fases, para cada variable, como valor medio de la prueba completa.

En la fase de aceleración, para obtener la frecuencia de zancada se medía el tiempo que pasaba entre el primer contacto con el suelo, de la primera zancada, hasta que se contactaba con la pista tras la última zancada antes de los 10 m, y ese tiempo se dividía entre las zancadas realizadas (Figura 6). La amplitud se obtuvo tras un proceso de calibración, en el que se dibujaba en el video una línea desde la línea de salida hasta la de los 10 m, por el centro de la calle en la que se realizaba la prueba, y se introducía la medida de esta línea dibujada como referencia. Tras esto se medía la amplitud de todas las zancadas (desde la primera hasta la última antes de los 10 m) que se han mencionado anteriormente (Figura 7). Para obtener la amplitud de zancada se dividió esta longitud total entre el número de zancadas realizadas. La medición del tiempo de contacto se obtuvo individualmente de cada una de las zancadas analizadas (aproximadamente 6), tomando el valor promedio como representativo de esta fase (Figura 8).

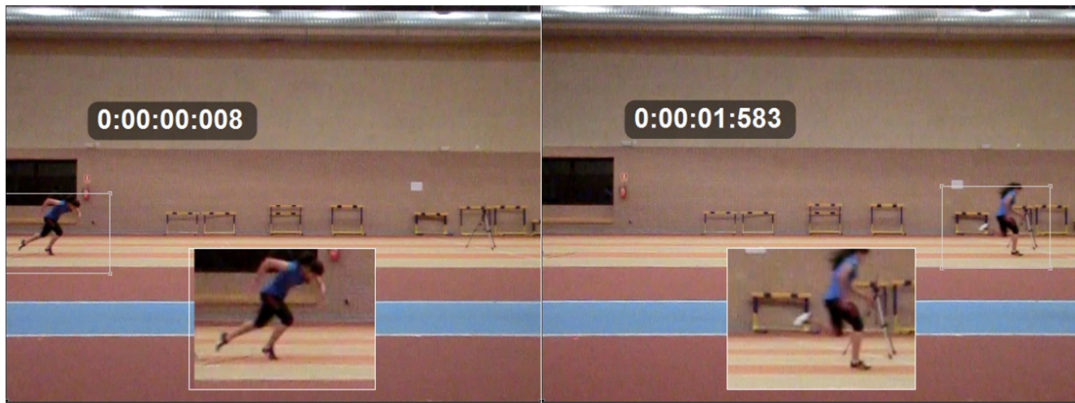


Figura 6.-Inicio y fin del cronometro para medir la frecuencia de zancada en la fase de aceleración (0-10 m).

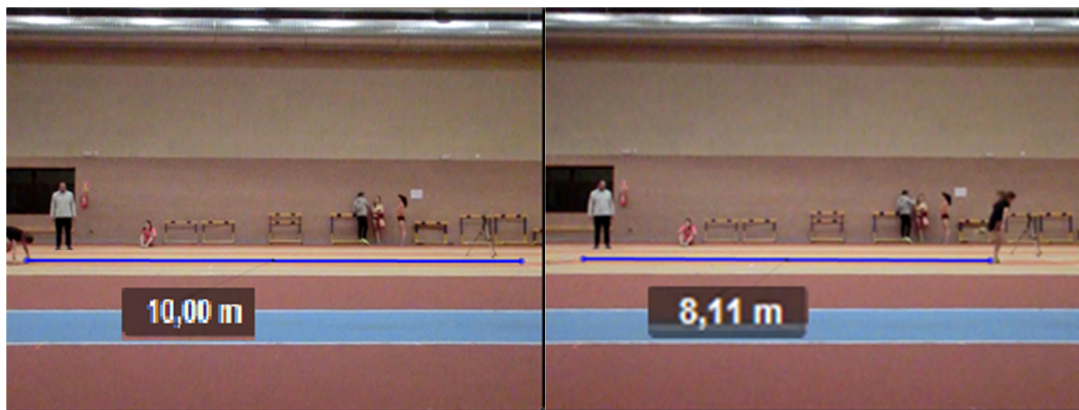


Figura 7.-Establecimiento de la línea de distancia recorrida para la obtención de la amplitud de zancada en la fase de aceleración (0-10 m).

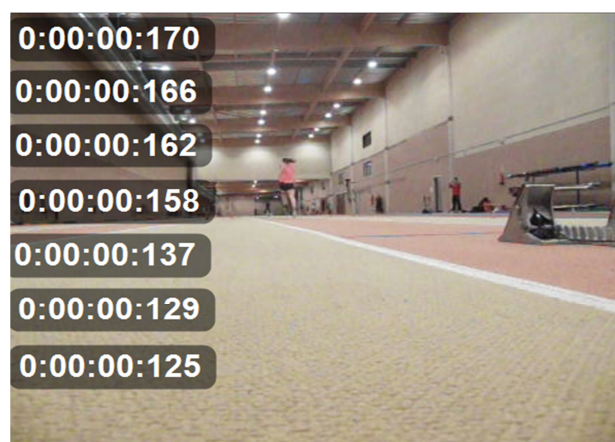


Figura 8.-Toma de tiempos de contacto en la fase de aceleración (0-10 m)

En la fase de carrera lanzada la frecuencia de zancada se midió de la misma forma que en la fase de aceleración, cronometrando el tiempo que pasaba desde que se producía el primer contacto con el suelo al sobrepasar los 30 m hasta el último contacto justo antes de los 40 m, dividiendo este tiempo por el número de zancadas (Figura 9). Como la velocidad de carrera en esta fase era estable, la amplitud de zancada se obtuvo usando la fórmula: $\text{Amplitud de zancada (m)} = \text{Velocidad (m/s)} / \text{Frecuencia (Hz)}$. La velocidad de carrera era obtenida del registro de las fotocélulas en estos últimos 10 m. El tiempo de contacto se obtuvo de la misma manera que en la fase de aceleración, tomando el número de apoyos en los últimos 10 m (aproximadamente 4) y obteniendo su valor promedio (Figura 10).



Figura 9.-Inicio y fin del cronometro para medir la frecuencia de zancada en la fase de carrera lanzada (30-40 m).

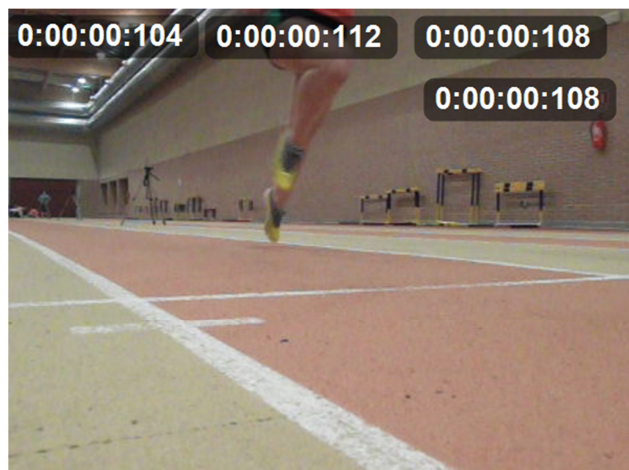


Figura 10.-Tiempos de contacto en la fase de carrera lanzada (30-40 m)

3.2.4. Análisis estadístico

Los resultados son 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 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 ($ES \geq 0.8$). Valores de $p < 0.05$ fueron considerados como estadísticamente significativos.

4. 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 ~ 2 cm 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 2-3 ms de la zapatilla de clavos a lastrada y running.

Tabla 1. Tiempo 0-40 m, media de frecuencia y amplitud de zancada y de 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 | P<0.05 | P<0.001 |
| Frecuencia (Hz) | 4.10±0.12 | 4.09±0.08 | 4.10±0.10 | NS | NS |
| Amplitud (m) | 1.66±0.04 | 1.66±0.02 | 1.64±0.04 | NS | P= 0.09 |
| T. contacto (s) | 0.134±0.009 | 0.137±0.008 | 0.139±0.006 | P= 0.10 | P<0.05 |

T. contacto: Tiempo de contacto; NS: Efecto no significativo.

La Tabla 2 muestra los resultados obtenidos en la fase de aceleración. El tipo de zapatilla utilizada influyó en el rendimiento en los 20 m ($d= 1.52$, 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 en ~ 6 ms de la zapatilla de clavos a lastrada y ~ 3 ms de esta última a la de running.

Tabla 2. Tiempo 0-20 m, media de frecuencia y amplitud de zancada y de 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) | 3.154±0.051 | 3.169±0.041 | 3.198±0.079 | P= 0.07 | P<0.01 |
| Frecuencia (Hz) | 3.975±0.147 | 3.937±0.084 | 3.962±0.154 | NS | NS |
| Amplitud (m) | 1,373±0.058 | 1.377±0.027 | 1.360±0.060 | NS | NS |
| T. contacto (s) | 0.157±0.013 | 0.163±0.011 | 0.166±0.008 | P= 0.09 | P<0.05 |

T. contacto: Tiempo de contacto; NS: Efecto no significativo.

La Tabla 3 muestra los resultados obtenidos en la fase de carrera lanzada. El tipo de zapatilla utilizada influyó en el rendimiento en los últimos 20 m ($d= 1.65$, 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 ~ 1 ms, si bien fue menor con la zapatilla de clavos que con la de running.

Tabla 3. Tiempo 20-40 m, media de frecuencia y amplitud de zancada y de 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) | 2.418±0.062 | 2.439±0.060 | 2.478±0.070 | P< 0.05 | P<0.01 |
| Frecuencia (Hz) | 4.228±0.117 | 4.237±0.104 | 4.240±0.109 | NS | NS |
| Amplitud (m) | 1.952±0.043 | 1.951±0.044 | 1.925±0.053 | NS | NS |
| T. contacto (s) | 0.111±0.007 | 0.112±0.008 | 0.112±0.006 | NS | P<0.05 |

T. contacto: Tiempo de contacto; NS: Efecto no significativo.

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 la carrera lanzada que en la fase de aceleración (Figura 11).

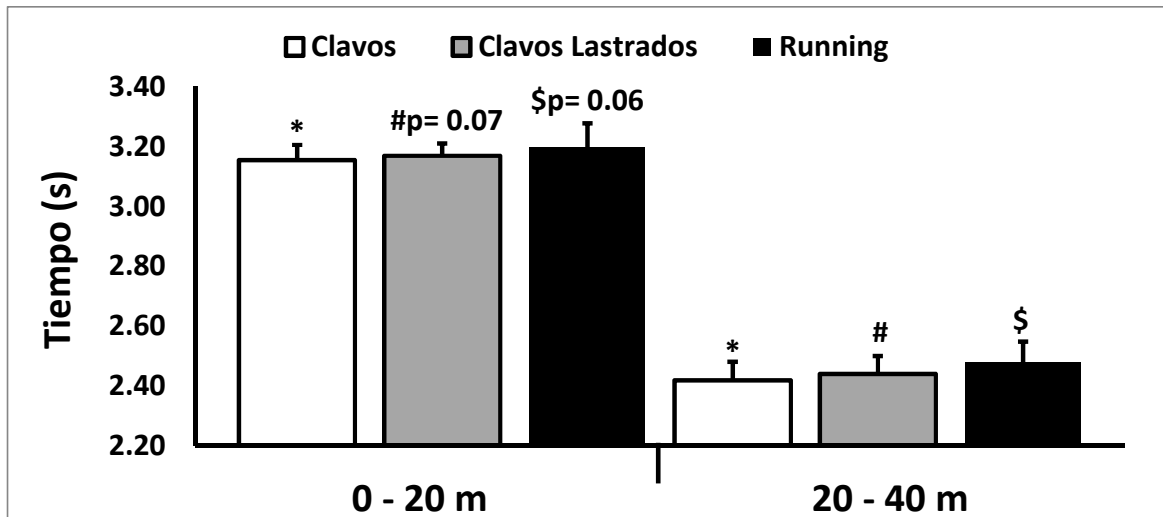


Figura 11. Comparación entre los tiempos de carrera en las diferentes fases de carrera (aceleración ó 0-20 m, lanzada ó 20-40 m) con los diferentes tipos de zapatillas utilizados (clavos, clavos lastrada y running). Diferencias significativas: * entre la zapatilla de clavos y running; # entre la zapatilla de clavos y clavos lastrados; \$ entre la zapatilla de clavos lastrados y running.

5. DISCUSIÓN

El principal hallazgo de este estudio ha sido cuantificar la mejora que se produce en el rendimiento de la carrera de velocidad al utilizar la zapatilla de clavos (~ 1.8% en una carrera de 40 m), así como segregar el efecto del peso (~ 0.6%, ya que estas zapatillas son más ligeras) del de los clavos (~ 1.2%, debido a la 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 (~ 2 cm) y a una disminución del tiempo de contacto (~ 5 ms), manteniéndose la frecuencia de zancada constante. Las mejoras fueron similares en la fase de carrera de aceleración (0-20 m) que lanzada (20-40 m), si bien el efecto del tipo de zapatillas fue más marcado en esta última.

Las mejoras de rendimiento del 1.8% en la carrera observadas en el presente trabajo no son comparables con ningún otro trabajo, 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 trabajo. 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 (~ 1.2%) es el doble que el efecto del peso (~ 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 dos variables que son propias de las zapatillas de clavos: el aumento de la rigidez de la zapatilla y el aumento de la 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. Futuros estudios deberían comprobar, de forma aislada, la influencia de la tracción y de la rigidez en el rendimiento en el sprint, de forma similar a como se ha hecho en este último trabajo. Igualmente, estos trabajos, con atletas masculinos de similar nivel, y masculinos y femeninos de mayor nivel, servirán para confirmar si realmente existe un efecto del peso en el rendimiento en el sprint.

Las ganancias obtenidas al utilizar las zapatillas de clavos se deben a una mayor amplitud de zancada, la cual es posible porque, manteniendo la misma frecuencia, el tiempo de contacto se reduce, y esto permite volar más. En consonancia con estudios anteriores, la

amplitud de zancada es determinante en las pruebas de velocidad, no siendo así la frecuencia de zancada (Korhonen, Mero y Suominen., 2003). Los resultados obtenidos muestran que existen diferencias significativas en la amplitud de zancada entre correr con clavos o con zapatillas de running, al tomar los datos medios de la prueba entera (40 m), pero atendiendo a los datos de la fase de aceleración y de la fase de carrera lanzada no existen diferencias significativas, 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 una cuestión de finura de la metodología, ya que son difíciles detectar cambios de 2 cm o menores, 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. uso de software de análisis 2D Kinescan-IBV ó ATD en vez de Kinovea).

Las mejoras en el rendimiento al utilizar zapatillas de clavos fueron muy similares entre las fases de aceleración y de carrera lanzada, si bien ligeramente superiores en esta segunda fase. Sin embargo, los mecanismos gracias a los que se obtienen dichas mejoras fueron diferentes en ambas fases, dado que en la fase de aceleración se redujo el tiempo de apoyo cuando se corrió con zapatillas de clavos, pero esto no sucedió en la fase de carrera lanzada. A priori podría pensarse que durante la fase de aceleración 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 resulta igual, 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 en la fase de aceleración cuando se corre con las zapatillas de clavos, pero no en la fase de carrera lanzada, donde se mantiene constante. 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 et al., 2014), y esto permita reducir el tiempo de apoyo sin disminuir la amplitud de zancada, si bien el movimiento metatarso-falángico no ha sido medida en el presente trabajo. De otra parte, en la fase de carrera lanzada los tiempos de contacto son muy bajos (cercaos a los 100 ms), 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 et al., 2003).

Las principales limitaciones del presente trabajo han sido: a-No realizar un diseño metodológico que permitiera distinguir entre el efecto de la rigidez y de la tracción al utilizar la zapatilla de clavos. Igualmente, no se ha utilizado una zapatilla estándar (sí una longitud de clavos estándar de 6 mm). b-No utilizar un software con la suficiente finura para detectar cambios menores de 2 cm en la amplitud de zancada (ej. Kinescan-IBV ó ATD). Futuros trabajos deben mejorar ambos aspectos.

6. CONCLUSIONES, APLICACIONES Y PERSPECTIVAS

Este es el primer trabajo que analiza el efecto de utilizar zapatillas de clavos en el rendimiento de la carrera de velocidad. Este calzado mejoró el rendimiento (~1.8%), fundamentalmente debido al efecto de los clavos (dos tercios), pero también al efecto del 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 apoyo (disminuyó), sin cambios en la frecuencia de zancada. El rendimiento aumentó de forma similar en las fases de carrera de aceleración (0-20 m) y lanzada (20-40 m), aunque los mecanismos que justifican ambas mejoras fueron diferentes en ambas fases. Futuros trabajos con hombres y mujeres de igual y superior nivel son necesarios.

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 una de las características comentadas.

Futuros trabajos deben incluir hombres de igual nivel competitivo a las mujeres utilizadas en el presente trabajo, con el objetivo de averiguar si el género puede condicionar el efecto de los clavos. También serían necesarios estudios con atletas masculinos y femeninos de mayor nivel (nacional e internacional), para dilucidar si esta variable puede condicionar el aprovechamiento de la zapatilla de velocidad. En el presente estudio no se han valorado las fuerzas de reacción ni el movimiento de la articulación metatarso-falángica, lo cual ayudaría a comprender mejor los factores biomecánicos que han condicionado la mejora de rendimiento.

7. BIBLIOGRAFIA

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. *Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 8(30), 324-333.

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.

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.

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.

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.

Ogueta-Alday, Ana. (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.

Stefanyshyn, D., & Fusco, C. (2004). Increased shoe bending stiffness increases sprint performance. *Sports Biomechanics*, 3(1), 55-66.

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.

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.

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.

ANEXOS

CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA REALIZAR UNA PRUEBA DE VELOCIDAD EN PISTA

El objetivo de la prueba es conocer por qué el uso de zapatillas de clavos en pruebas de velocidad de atletismo mejora el rendimiento, en el marco del trabajo de fin de grado titulado “Análisis biomecánico del efecto de las zapatillas de clavos de velocidad en el rendimiento”. El test consistirá en correr a máxima velocidad 3 pruebas de 40 m, cada una de las cuales se correrá con un tipo de calzado (zapatillas de clavos, zapatillas de entrenamiento y zapatillas de clavos lastradas hasta el peso de las zapatillas de entrenamiento). Para la toma de datos se usarán 4 parejas de fotocélulas, y 5 cámaras que grabarán desde diferentes posiciones.

El interesado autoriza a los investigadores a utilizar los datos de su/s prueba/s para ser tratados con fines de investigación, preservando siempre su derecho al anonimato, y cumpliendo con la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal. A cambio, los beneficios que el interesado obtendrá del test serán: a- Conocer y cuantificar su velocidad; b- Aproximarse al conocimiento de cómo afecta el uso de clavos de atletismo al rendimiento.

El principal inconveniente del test es que exige un esfuerzo supramáximo, pudiendo implicar alguna lesión de tipo muscular. Ningún procedimiento invasivo está absolutamente exento de riesgos importantes, incluyendo la mortalidad, si bien esta posibilidad es bastante infrecuente. Siendo conocedor/a de los posibles riesgos de la prueba, ya que habitualmente entreno utilizando pruebas de similares características, eximo a los responsables de la realización de la prueba de cualquier responsabilidad derivada de la misma.

En caso de aparecer cualquiera de los problemas infrecuentes durante la realización de la prueba de velocidad, en el Centro Especializado de Alto Rendimiento Deportivo de León (CEARD) existe personal cualificado para mi atención. En el caso de que no fueran efectivas, el deportista será trasladado a la Unidad de Urgencias del Centro de Salud de la Palomera (a 500 m del CEARD) o, en su caso, al hospital de León (a menos de 5 minutos del CEARD).

La participación en esta prueba es de carácter voluntario, y existe la posibilidad de retirarse de la misma en cualquier momento.

El profesor responsable del trabajo de fin de grado es D. Juan García López, el cual se compromete a informar y contestar a todas las dudas y preguntas del interesado.

CONSENTIMIENTO

Yo D/Dña., Edad años
DNI doy mi consentimiento para que me sea realizada
una prueba de velocidad en pista.

Se me ha facilitado esta hoja informativa habiendo comprendido el significado del
procedimiento y los riesgos inherentes al mismo, y declaro estar debidamente
informado/a. He tenido la oportunidad de aclarar mis dudas en entrevista personal con el
profesor o con el alumno realizador del trabajo D.

Asimismo, he recibido respuesta a todas mis preguntas habiendo tomado la decisión de
manera libre y voluntaria. Comprendo que puedo retirarme de la prueba cuando quiera,
sin tener que dar explicaciones. Por lo tanto, eximo de cualquier responsabilidad
derivada a las personas que realizan la prueba, en tanto que está se realiza a petición
expresa mía

León, a de de

TESTIGO

DNI:

Fdo.

DEPORTISTA

DNI:

Fdo.

PROFESOR/ALUMNO

DNI:

Fdo.

DNI:

Fdo.

DENEGACIÓN O REVOCACIÓN

Yo D/Dña., Edad años
DNI después de ser informado/a de la naturaleza y
riesgos del procedimiento propuesto, manifiesto de forma libre y consciente mi
denegación/revocación para su realización.

León, a de de

TESTIGO

DNI:

Fdo.

DEPORTISTA

DNI:

Fdo.

PROFESOR/ALUMNO

DNI:

Fdo.

DNI:

Fdo.