

García-Arroyo, J.; Pacheco-da-Costa, S.; Molina-Rueda, F. y Alguacil-Diego, I.M. (202x) Analysis of Plantar Pressure during the Running in Place over Different Surfaces. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte vol. (\*) pp. \*.  
[Http://cdeporte.rediris.es/revista/\\_\\_\\_\\*](http://cdeporte.rediris.es/revista/)

## ORIGINAL

### ANÁLISIS DE LA PRESIÓN PLANTAR DURANTE LA CARRERA EN EL SITIO EN DIFERENTES SUPERFICIES

### ANALYSIS OF PLANTAR PRESSURE DURING THE RUNNING IN PLACE OVER DIFFERENT SURFACES

García-Arroyo, J.<sup>1</sup>; Pacheco-da-Costa, S.<sup>2</sup>; Molina-Rueda, F.<sup>3</sup> y Alguacil-Diego, I.M.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Fisioterapeuta. Centro Ten (España) [jaimegarroyo@gmail.com](mailto:jaimegarroyo@gmail.com)

<sup>2</sup> PhD. Departamento de Enfermería y Fisioterapia. Universidad de Alcalá (España) [soraya.pacheco@uah.es](mailto:soraya.pacheco@uah.es)

<sup>3</sup> PhD. Departamento de Fisioterapia, Terapia Ocupacional, Rehabilitación y Medicina Física. Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad Rey Juan Carlos (España) [francisco.molina@urjc.es](mailto:francisco.molina@urjc.es), [isabel.alguacil@urjc.es](mailto:isabel.alguacil@urjc.es)

**Código UNESCO / UNESCO code:** 321311 Fisioterapia / Physiotherapy

**Clasificación Consejo de Europa / Council of Europe classification:** 14. Fisioterapia y rehabilitación / Physiotherapy and rehabilitation

**Recibido** 12 de junio de 2020 **Received** June 12, 2020

**Aceptado** 1 de noviembre de 2020 **Accepted** November 1, 2020

#### RESUMEN

El objetivo de este trabajo es evaluar en 36 corredores aficionados, la fuerza y las presiones del pie sobre tres superficies comúnmente empleadas para el entrenamiento de la carrera en el sitio (césped artificial, suelo técnico de caucho y trampolín plano). Los valores de fuerza y presión se registraron mediante plantillas instrumentadas (Gebiomized® Munster, Germany). Se obtuvieron los siguientes parámetros: Fuerza máxima (N) y picos de presión (N/cm<sup>2</sup>) en 6 zonas específicas del pie.

Según los resultados, la fuerza máxima ejercida por el pie dominante en césped artificial (657 N) y en suelo técnico de caucho (692,5 N) fue significativamente superior al registrado sobre el trampolín (262 N). Respecto a la presión, la mayor parte de la presión ejercida por el pie en superficies duras (césped artificial y suelo técnico de caucho), se observó en las cabezas de los metatarsianos, mientras que en el trampolín la presión se repartió entre estas y el calcáneo.

**PALABRAS CLAVE:** Biomecánica, Carrera; Plantillas; Presión plantar; Fuerzas de compresión.

## ABSTRACT

The aim of this study is to evaluate in 36 amateur runners, the Maximum Force and Peak Pressure of the foot on three surfaces commonly used for the running in place training (artificial turf, rubber floor and flat trampoline). The values of force and pressure were recorded by means of instrumented insoles (Gebiomized® Munster, Germany). The following parameters were obtained: Maximum Force (N) and Peak Pressure (N/cm<sup>2</sup>) in 6 specific areas of the foot.

According to the results, the maximum force exerted by the dominant foot on artificial turf (657 N) and rubber floor (692.5 N) was significantly higher than the recorded on the trampoline (262 N). Regarding the pressure, most of the pressure exerted by the foot on hard surfaces (artificial turf and technical floor), was observed in the heads of the metatarsals, while in the trampoline the pressure was distributed between them and the calcaneus.

**KEYWORDS:** Biomechanics; Running; Insole; Plantar pressure; Compressive forces.

## 1 INTRODUCCIÓN

La carrera constituye una práctica deportiva muy popular, con más aficionados cada año (Runningusa.org, 2013). En España, el porcentaje de la población que practica la carrera al menos una vez al mes asciende al 14,5%, siendo la segunda modalidad deportiva practicada más popular solo por detrás del ciclismo (17%)(Educacionyfp.gob.es, 2020).

La carrera es una actividad presente en la mayoría de los deportes y, por ello, es habitual su inclusión durante el período de recuperación del deportista. Para realizarla correctamente minimizando el riesgo de sufrir una lesión en su práctica, han de observarse una serie de requisitos como una correcta alineación postural, una adecuada fuerza muscular o unos recorridos articulares conservados, entre otros (Brigaud & Villena, 2016; Goss & Gross, 2011).

En la transición hacia la carrera se han descrito una serie de estrategias como la: disminución de la velocidad (Pires, Lay & Rubenson, 2014), la reducción del peso del deportista mediante la inmersión parcial en agua (Ruschel, Hauptenthal, Hubert, de Brito Fontana & Roesler, 2010), la carrera en agua profunda (Bushman et al. 1997), el empleo de cintas de marcha con presión positiva (Neal, Fleming, Eberman, Games & Vaughan, 2016), la alternancia de carrera con marcha (Keijsers, Stolwijk & Pataky, 2010), el acortamiento de la longitud de

zancada (Pires et al., 2014) o variar la inclinación de la superficie en la cual se corre (Van Caekenberghe, De Smet, Segers & De Clercq, 2010).

Con objeto de analizar la carga a la que se somete el pie durante la carrera lineal sobre suelo o sobre tapiz rodante, varios autores han analizado la presión plantar en diferentes superficies (Hong et al., 2012; Tessutti et al., 2012; El Kati et al., 2010; Stolwijk et al. 2010; Page, 2013). El análisis instrumental posibilita graduar el entrenamiento de la carrera controlando la presión que ejerce el pie sobre las diversas superficies de contacto, además de informar acerca de la dureza de las superficies empleadas y sobre las zonas de la planta del pie sometidas a una mayor o menor presión, lo que favorece la elección de la superficie más idónea para el entrenamiento. Frente a las plataformas de fuerza, los sistemas integrados en el calzado, como las plantillas instrumentadas, presentan varias ventajas como la flexibilidad, movilidad, simplicidad y adaptabilidad a varios tipos de calzados de diferentes materiales, características y alturas de talón, además de que el sujeto puede desarrollar la carrera de una forma más natural (Zulkifli & Loh, 2018). No obstante, siendo la carrera en el sitio una modalidad de entrenamiento habitual de este gesto deportivo, el conocimiento sobre las presiones ejercidas sobre el pie utilizando distintas superficies, se considera limitado.

El objetivo del presente estudio es evaluar y comparar, mediante plantillas instrumentadas, la fuerza y las presiones de contacto del pie, en atletas sobre tres superficies comúnmente empleadas para el entrenamiento de la carrera en el sitio: césped artificial, suelo técnico de caucho y trampolín plano. Conocer el comportamiento de la fuerza y de las presiones del pie en distintas superficies, podría permitir graduar o elegir la superficie idónea para cada etapa de la recuperación tras una lesión.

## **2 MATERIAL Y MÉTODO**

### *2.1 Sujetos*

Para reclutar a los participantes, se puso una nota en varios tablones de anuncios en polideportivos municipales, así como en el centro de entrenamiento donde se realizaron las pruebas. Se establecieron los siguientes criterios de inclusión: edad comprendida entre 25 y 55 años, ser aficionado a la carrera y habituado a correr y realizar al menos 3 horas de ejercicio físico a la semana.

Como criterios de exclusión, los participantes no debían presentar pies planos, alteración de la sensibilidad, usar plantillas correctoras, tener menos de 25° de flexión dorsal de tobillo o haber padecido una lesión en miembros inferiores durante los 6 meses anteriores a la realización del estudio incluyendo.

## 2.2 Aspectos éticos

Todos los participantes firmaron un consentimiento informado. Previamente a la realización del estudio se obtuvo la aprobación del Comité de Ética local con número de registro: 0304201707817. Los procedimientos utilizados para la realización del presente estudio han cumplido los principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos recogidos en la Declaración de Helsinki (The World Medical Association, Wma.net. 2019).

## 2.3 Procedimiento

Este estudio se desarrolló en las dependencias de un centro deportivo en Madrid (España) entre julio de 2018 y septiembre de 2018.

En la sesión de reclutamiento, los participantes fueron entrevistados y evaluados con objeto de determinar el cumplimiento de los criterios de inclusión.

Se solicitó a los participantes que no entrenasen más de 45 minutos el día de la realización de la prueba, que no compitieran el día anterior, y que, en caso de sentir dolor durante la realización de cualquiera de las pruebas, detuvieran la actividad.

La intensidad de actividad física se cuantificó mediante la escala International *Physical Activity Questionnaire* (IPAQ) (Skelton, 2000). La ausencia de pies planos se midió a través del *Navicular drop test* (Rajakaruna, Arulsingh, Raj & Sinha, 2015). La flexión dorsal del tobillo se evaluó mediante el test de dorsiflexión de tobillo (Langarika-Rocafort, Empananza, Aramendi, Castellano & Calleja-González, 2017) con el inclinómetro digital de la aplicación para smartphone Goniometer Pro 5FUF5 CO<sup>®</sup>, considerada válida y fiable (Kuegler et al., 2015; Pourahmadi et al., 2016). Antes de la realización de las pruebas se recogieron los siguientes datos de cada participante: peso, talla, edad y miembro inferior dominante mediante el step forward test (Velotta, Weyer, Ramirez, Winstead & Bahamonde, 2011).

Respecto a las pruebas, cada individuo fue instruido a correr en el sitio sobre tres superficies: césped artificial con certificación Fifa<sup>®</sup> Quality Pro, suelo técnico de caucho y trampolín plano de la marca Gymnova<sup>®</sup>. Se solicitó a los participantes que realizaran un calentamiento basado en la siguiente secuencia: 1) cuatro minutos de rodaje suave en una bicicleta estática de la marca WattBike<sup>®</sup> (Nottingham, UK) a 80 rpm y con una potencia de 90-100 W sin superar los 100 W.; 2) dos minutos de trote ligero por una superficie de césped artificial y ejercicios de movilidad de cadera, rodilla y tobillo (paso de valla, aperturas, estiramiento en flexión y extensión y lunge). Además, en cada superficie, se permitió al participante realizar un pequeño ensayo de 30 segundos de duración para familiarizarse con la prueba. Entre cada prueba, se estableció un periodo de descanso de un minuto de duración. Además, se aleatorizó el orden de ejecución de las pruebas sobre las superficies

(Graphpad®). Todas las pruebas se llevaron a cabo en interior, entre las 17 y las 19 horas y en las mismas condiciones ambientales de temperatura (22-23°C) y humedad (55-60%).

Para definir la velocidad de ejecución se utilizó un diapasón (Lima Alberton et al., 2015). En este estudio se optó por una aplicación de móvil llamada Real Metronome Pro® (Gismart Limited, UK). Se estableció una cadencia de 180 rpm de tal forma que el apoyo de cada pierna fuera de 90 impactos por minuto (Figura 1).

**Figura 1.** Carrera en el sitio sobre tres superficies distintas.



Sujeto en césped artificial, suelo técnico de caucho y trampolín plano.

#### 2.4 Instrumentación

Se utilizaron las plantillas instrumentadas Gebiomized® (Munster, Germany). Las plantillas registran con una frecuencia máxima de 200 Hz y presentan una resolución de 12 bits (Nogueras Miranda, Grande Rodríguez & Cordente Martínez, 2018).

La talla de las plantillas disponibles para el estudio varió desde los 245 mm (talla 39 europea) hasta los 295 mm (talla 44,5 europea). Las plantillas se colocaron en las zapatillas de entrenamiento (Adidas® modelo Supernova Glide 6, con un drop de 11 mm y un peso de 295 g para la talla 42) (Stöggel & Martiner, 2016). Las plantillas se conectaron mediante cable al equipo transmisor que los participantes llevaban en la espalda.

#### 2.5 Medidas de resultado

Las medidas de resultado se cuantificaron a través del software de las plantillas instrumentadas. Las plantillas registran los datos de 50 puntos y el software calcula los valores de presión virtual entre los puntos, donde no se coloca ningún sensor. De esa manera, podemos mostrar una distribución uniforme.

Una vez alcanzado la velocidad adecuada en cada prueba, se procedió a registrar 10 pisadas con cada pie, seleccionándose, dentro de esos 10 pasos y a través de una valoración visual gráfica, aquellos 6 consecutivos más correctos

y simétricos (Hong, Wang, Li & Zhou, 2012). Las variables del estudio recogidas fueron:

- **Fuerza máxima (Fmax)** en toda la planta del pie (N). Es definida como una magnitud vectorial que se mide al aplicar una aceleración de  $1\text{m/s}^2$  a un cuerpo de 1 kg de masa. Conociendo el área que tiene cada sensor, se puede conocer el valor de fuerza total que recibe el pie en el tiempo que dura el estímulo.
- **Pico de presión (N/cm<sup>2</sup>)**, siendo la presión de la fuerza en dirección perpendicular por unidad de superficie. En este caso se estudiaron 6 zonas: zona 1 (PP1, dedos del pie), zona 2 (PP2, cabeza del primer metatarsiano), zona 3 (PP3, 2º, 3er y 4º metatarsiano), zona 4 (PP4, cabeza del 5º metatarsiano), zona 5 (PP5, arco longitudinal del pie) y zona 6 (PP6, calcáneo).

## 2.6 Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó utilizando el programa IBM SPSS statistics® (versión 22.0). Los resultados de las variables del estudio se expresaron mediante mediana y rango intercuartil. Para determinar si los datos seguían una distribución normal se empleó la prueba de Shapiro-Wilk. Al no seguir una distribución normal, se empleó la Prueba de Friedman para medidas repetidas. Para aquellas variables en las que se obtuvieron diferencias significativas, se llevó a cabo posteriormente la prueba de rangos de signos de Wilcoxon, que permite comparar dos muestras relacionadas. Al realizarse tres comparaciones en el estudio (césped artificial vs. suelo técnico de caucho, césped artificial vs. trampolín, suelo técnico de caucho vs. trampolín) se consideró un valor  $p < 0,016$  como nivel de significación estadística (tras aplicar corrección de Bonferroni:  $\alpha = .05/3$ ).

## 3 RESULTADOS

De los 40 sujetos elegibles inicialmente, 36 finalizaron el estudio (edad  $33,9 \pm 7,2$  años; peso  $75,3 \pm 7,8$  Kg; estatura  $179,0 \pm 7,5$  cm). Salvo 3 sujetos, el resto presentaba una dominancia derecha para miembro inferior. Todos los participantes se encontraban en la categoría 2 (moderadamente activos) del IPAQ.

Los registros de presión total y de las zonas del pie 1, 2, 3, 4 y 5 (tabla 1) se comportan de una manera similar, siendo los valores, para la Fmax, de mayor a menor los obtenidos en suelo técnico de caucho (692,5 N), césped artificial (657 N) y trampolín (262 N) (suelo técnico de caucho vs. césped vs. trampolín:  $p < 0,01$ ). La comparación por pares también reflejó diferencias significativas, observándose una presión más distribuida, como cabía esperar, en la superficie deformable del trampolín.

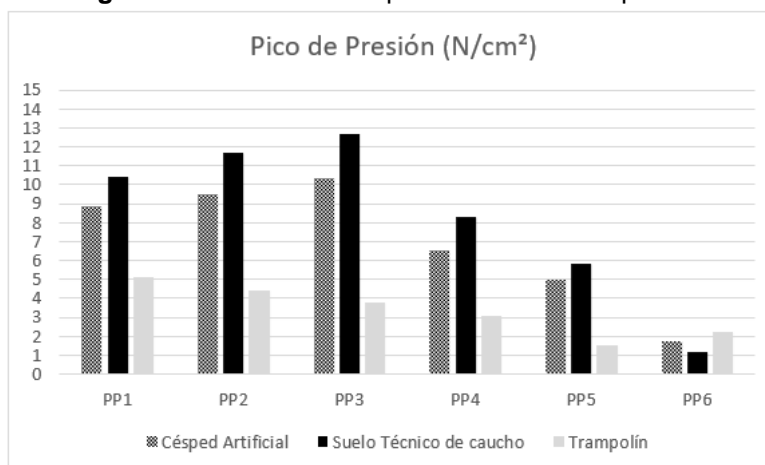
**Tabla 1.** Mediana y el rango intercuartil de las variables de presión en las distintas superficies

	Césped artificial		Suelo técnico de caucho		Trampolín		Friedman		Wilcoxon	
	Mediana	RI	Mediana	RI	Mediana	RI	Chi	p	Z	p
<b>Fmax</b> (N)	657	398	692,5	377	216	165	36,38	p<0,01	a) 4,321 b)-5,232 c)-5,232	a) p<0,01 b) p<0,01 c) p<0,01
<b>PP1</b> (N/cm <sup>2</sup> )	8,85	5,6	10,45	6	5,1	6,3	17,08	p<0,01	a) 1,303 b)-4,086 c)-4,235	a) 0,193 b) p<0,01 c) p<0,01
<b>PP2</b> (N/cm <sup>2</sup> )	9,5	9,5	11,7	10,9	4,4	6,8	56,84	p<0,01	a) 3,89 b)-5,193 c)-5,232	a) p<0,01 b) p<0,01 c) p<0,01
<b>PP3</b> (N/cm <sup>2</sup> )	10,35	4,9	12,65	5,9	3,8	3,3	64,88	p<0,01	a) 4,769 b)-5,232 c)-5,232	a) p<0,01 b) p<0,01 c) p<0,01
<b>PP4</b> (N/cm <sup>2</sup> )	6,5	3,4	8,3	5,3	3,1	1,5	62,36	p<0,01	a) 4,128 b)-5,201 c)-5,233	a) p<0,01 b) p<0,01 c) p<0,01
<b>PP5</b> (N/cm <sup>2</sup> )	4,95	3,8	5,85	3,7	1,55	2	58,42	p<0,01	a) 2,785 b)-5,232 c)-5,232	a) 0,005 b) p<0,01 c) p<0,01
<b>PP6</b> (N/cm <sup>2</sup> )	1,7	3,3	1,15	3,4	2,25	1,6	3,95	0,138	a)-1,865 b) 0,024 c)-1,712	a) 0,062 b) 0,981 c) 0,087

a) césped artificial vs. Suelo técnico de caucho; b) césped artificial vs. trampolín; c) suelo técnico de caucho vs. trampolín. Fmax: Fuerza máxima (en toda la región del pie), PP1: pico de presión en área 1 (delantera del pie), PP2: pico de presión en área 2 (cabeza del 1er metatarsiano), PP3: pico de presión en área 3 (cabezas del 2do, 3er y 4º metatarsiano), PP4: pico de presión en área 4 (cabeza 5º metatarsiano), PP5: Pico de presión en área 5 (arco longitudinal del pie), PP6: pico de presión en área 6 (hueso calcáneo)

En las superficies más duras (césped artificial y suelo técnico de caucho), la presión que se ejerce es mayor en la región anterior del pie (zonas 1, 2 y 3). Los registros de presión de la zona PP6 no siguieron, sin embargo, la tendencia descrita. Se registraron los valores más altos en trampolín (2,25 N/cm<sup>2</sup>), seguido de la superficie césped artificial (1,7 N/cm<sup>2</sup>) y suelo técnico de caucho (1,15 N/cm<sup>2</sup>), si bien estas diferencias no fueron significativas (Figura 2).

**Figura 2.** Pico de Presión por área en las 3 superficies.



Unidades de picos de presión expresadas en N/cm<sup>2</sup>. PP1: pico de presión en área 1 (delantera del pie), PP2: pico de presión en área 2 (cabeza del 1er metatarsiano), PP3: pico de presión en área 3 (cabezas del 2do, 3er y 4º metatarsiano), PP4: pico de presión en área 4 (cabeza 5º metatarsiano), PP5: Pico de presión en área 5 (arco longitudinal del pie), PP6: pico de presión en área 6 (hueso calcáneo)

Atendiendo al porcentaje de presión ejercida respecto al valor máximo de cada superficie (tabla 2) observamos que, todas, las zonas de mayor presión se sitúan en la parte anteromedial del pie (áreas 1, 2 y 3); si bien, en una superficie deformable como es el trampolín, destaca el registro obtenido en la zona posterior del pie, superior al obtenido en las superficies más duras.

**Tabla 2.** Comparación de presión en cada una de las regiones del pie

Área	Superficie		
	Césped Artificial	Suelo Técnico de caucho	Trampolín
1	86	83	100
2	92	92	86
3	100	100	75
4	63	66	61
5	48	46	30
6	16	9	44

Porcentaje de presión respecto al área que marca el máximo (área 3 en césped artificial y suelo técnico y área 1 en trampolín)

#### 4 DISCUSIÓN

El propósito de este estudio fue analizar los valores de fuerza que ejerce el pie y de presión de cada una de las áreas del pie, al realizar carrera en el sitio en distintas superficies como césped artificial, suelo técnico de caucho y trampolín plano. Ello resulta de interés en el reentrenamiento y vuelta a la actividad deportiva tras una lesión, ya que la práctica de la carrera en el sitio o skipping



forma parte de un entrenamiento o de un proceso de recuperación (Sáez de Villareal, Suárez-Arrones, Requena, Haff & Ferret, 2015). Además, conocer el grado de impacto al que es sometido el pie sobre cada superficie puede facilitar la elección de la superficie más idónea.

Según los hallazgos de este trabajo, puede establecerse que la carrera en el sitio en césped artificial y suelo técnico de caucho se asocia con valores mayores de presión sobre el pie en comparación con el trampolín plano. Durante la carrera en superficies duras, los valores de presión con mayor magnitud se ejercen en las regiones anteriores del pie, mientras que la presión está más distribuida a lo largo del pie sobre superficies blandas. Por tanto, estas diferencias ponen de manifiesto que la técnica del individuo durante la carrera se adapta a la superficie de contacto. Este hecho está basado en el modelo "spring mass", descrito por Blickhan en 1989 en el estudio de Grimmer et al., 2008, según el cual la tensión de la extremidad inferior se ajusta a la superficie de entrenamiento (Grimmer, Ernst, Gunther & Blickhan, 2008).

Nuestros resultados coinciden con los hallazgos obtenidos por otros autores (Tessutti et al., 2012; Wang, Hong, Li & Zhou, 2012). Tessutti et al., en 2010, al analizar la presión plantar durante la carrera lineal en cuatro superficies (asfalto, cemento, caucho y césped natural), describen menores presiones al correr sobre superficies blandas como el césped, registrando sobre cemento y asfalto grandes presiones, concretamente en las áreas anterior e interna del pie. De esta manera, según los autores, la carrera sobre césped natural o de acuerdo con nuestros hallazgos, sobre superficies blandas como el trampolín, puede ser más apropiada para atenuar la presión plantar en corredores aficionados, reduciendo el estrés total sobre el aparato locomotor. En este sentido, una de las estrategias habituales para llevar a cabo la rehabilitación de una lesión del miembro inferior es disminuir la carga que soporta el pie (Bertelsen et al., 2017). Dugan y Weber recomiendan durante la fase funcional de la rehabilitación (Dugan & Weber, 2007), después de lesiones óseas por estrés de miembro inferior, priorizar una menor presión en la zona, utilizando superficies deformables como el trampolín, superficies que además ejercerán una mayor demanda sobre el sistema propioceptivo (Paredes Hernández, Martos Varela & Romero Moraleda, 2011; Romero-Franco, Martínez-Amat & Martínez-López, 2013).

Los datos obtenidos en nuestro estudio indican que superficies deformables como el trampolín plano poseen la capacidad de reducir los picos de presión en todas las áreas del pie. Se ha descrito que el riesgo de lesión en corredores es mayor con altas fuerzas de impacto (Lopes, Hespagnol, Yeung & Costa, 2012), que las superficies blandas pueden reducir este riesgo (Molloy, 2016) y que los corredores que adquieren el hábito de reducir las fuerzas de impacto contra el suelo, minimizando el efecto de esas fuerzas sobre el cuerpo, presentan un menor riesgo de desarrollar lesiones (Hreljac, 2004). Por tanto, parece lógico pensar que el trampolín se presenta como una herramienta de elección en la recuperación del corredor que ha sufrido una lesión del miembro inferior.

La literatura científica se centra en el estudio de las superficies de entrenamiento de la carrera como causa de lesión, más que en el análisis de la superficie ideal para la rehabilitación deportiva (Hong et al., 2012; Tessutti et al., 2012; Tessutti, Trombini-Souza, Ribeiro, Nunes, Sacco, 2008). De las lesiones habitualmente descritas y relacionadas con superficie duras, destacan la patología osteoarticular (lesiones meniscales, síndrome de estrés tibial, fracturas de estrés y lesiones de la columna vertebral) (Taunton, 2002). Por tanto, para el reentrenamiento de la carrera tras este tipo de lesiones, podría recomendarse el uso de superficies blandas como el trampolín plano. Además, en caso de lesiones del antepié (metatarsalgias, fracturas por estrés, entre otras) (Liem, Truswell & Harrast, 2013) sería aconsejable evitar el uso de superficies duras en las fases iniciales del entrenamiento, ya que, como se ha evidenciado en el presente trabajo, la mayor magnitud de presión en superficies duras como el suelo técnico de caucho o el césped tiene lugar en las áreas del antepié.

No obstante, las superficies blandas pueden no ser apropiadas para el reentrenamiento de la carrera en sujetos con patología del retropié, como la fascitis plantar. Durante la carrera, la fascia plantar participa en la absorción del peso corporal, concretamente en la fase de respuesta a la carga, siendo el retropié, el área sometida a mayores presiones (Lopes et al., 2012). Según los resultados de este trabajo, una superficie blanda como el trampolín incrementa la presión sobre el retropié, en comparación con las superficies duras. Por tanto, para patologías que afectan al retropié, el trampolín puede no ser la superficie más adecuada de entrenamiento.

#### *4.1 Limitaciones del estudio*

Este estudio presenta una serie de limitaciones. El reducido tamaño de la muestra limita la interpretación de los resultados. Además, solo se incluyeron varones, por lo que los hallazgos no pueden extrapolarse a la población femenina. Por último, sería recomendable realizar un análisis de la carrera en el sitio sobre otras superficies comúnmente utilizadas como el césped natural o el asfalto.

## **5 CONCLUSIONES**

La fuerza máxima y el pico de presión plantar varían en función de la superficie empleada durante la carrera en el sitio. Las superficies duras como el césped artificial y el suelo técnico de caucho generan mayores presiones en el pie, principalmente en la parte delantera, en comparación con una superficie deformable como el trampolín.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Bertelsen, M. L., Hulme, A., Petersen, J., Brund, R. K., Sørensen, H., Finch, C. F., & Nielsen, R. O. (2017). A framework for the etiology of running-related

- injuries. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 27(11), 1170–1180. DOI:10.1111/sms.12883
- Brigaud, F (2016) *La carrera. Postura, Biomecánica y Rendimiento*. Ed Paidotribo. Barcelona
- Bushman, B.A., Flynn, M.G., & Andres, F.F. (1997). Effect of 4 wk of deep water run training on performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29(5):694–9.
- Running USA. Cdn.trustedpartner.com. 2019 [acceso 12 de Marzo 2019]. Disponible en:  
[http://cdn.trustedpartner.com/docs/library/RunningUSA2012/RunningUSA\\_NRS\\_2017.pdf](http://cdn.trustedpartner.com/docs/library/RunningUSA2012/RunningUSA_NRS_2017.pdf)
- Dugan, S. A., & Weber, K. M. (2007). Stress Fractures and Rehabilitation. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, 18(3), 401–416. DOI:10.1016/j.pmr.2007.04.003
- Educacionyfp.gob.es. 2019 [acceso 12 de Marzo 2019]. Disponible en:  
[http://www.educacionyfp.gob.es/servicios-al-ciudadano-mecd/dms/mecd/servicios-al-ciudadano-mecd/estadisticas/deporte/anuario-deporte/AED-2017/Anuario\\_de\\_Estadisticas\\_Deportivas\\_2017.pdf](http://www.educacionyfp.gob.es/servicios-al-ciudadano-mecd/dms/mecd/servicios-al-ciudadano-mecd/estadisticas/deporte/anuario-deporte/AED-2017/Anuario_de_Estadisticas_Deportivas_2017.pdf)
- El Kati, R., Forrester, S., & Fleming, P. (2010). Evaluation of pressure insoles during running. *Procedia Engineering*, 2(2), 3053-3058.
- Grimmer, S., Ernst, M., Gunther, M., & Blickhan R. (2008). Running on uneven ground: leg adjustment to vertical steps and self-stability. *Journal of Experimental Biology*, 211(18), 2989–3000. DOI:10.1242/jeb.014357
- Goss, D. L., & Gross, M. T. (2012). A review of mechanics and injury trends among various running styles. *U.S. Army Medical Department journal*, Jul-Sep, 62-71.
- Hong, Y., Wang, L., Li, J. X., & Zhou, J. H. (2012). Comparison of plantar loads during treadmill and overground running. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 15(6), 554-560.
- Hreljac, A. (2004). Impact and Overuse Injuries in Runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(5), 845–849. DOI:10.1249/01.MSS.0000126803.66636.DD
- Keijsers, N. L. W., Stolwijk, N. M., & Pataky, T. C. (2010). Linear dependence of peak, mean, and pressure-time integral values in plantar pressure images. *Gait and Posture*, 31(1), 140–142.
- Kuegler, P., Wurzer, P., Tuca, A., Sendlhofer, G., Lumenta, D. B., Giretzlehner, M., et al. (2015). Goniometer-apps in hand surgery and their applicability in daily clinical practice. *Safety in Health*, 1, 11
- Langarika-Rocafort, A., Emparanza, J. I., Aramendi, J. F., Castellano, J., & Calleja-González, J. (2017). Intra-rater reliability and agreement of various methods of measurement to assess dorsiflexion in the Weight Bearing Dorsiflexion Lunge Test (WBLT) among female athletes. *Physical Therapy in Sport*, 23, 37-44.
- Liem, B., Truswell, H., & Harrast, M. (2013). Rehabilitation and Return to Running After Lower Limb Stress Fractures *Current Sports Medicine Reports*, 12(3):200-207.

- Lima Alberton, C, Santana Pinto, S, Silva Azenha, N, Cadore, E., Peikriszwili Tartaruga M., Brasil, B. et al. (2015) Kinesiological Analysis of Stationary Running Performed in Aquatic and Dry Land Environments. *Journal of Human Kinetics*, 49:5-14.
- Lopes, A. D., Hespanhol, L. C., Yeung, S. S., & Pena Costa, L. O. (2012). What are the Main Running Related Musculoskeletal Injuries. *Sports Medicine*, 42(10), 892–905. DOI:10.2165/11631170-000000000-00000
- Molloy, J. M. (2016). Factors Influencing Running-Related Musculoskeletal Injury Risk Among U.S. Military Recruits. *Military Medicine*, 181(6), 512–523. DOI:10.7205/MILMED-D-15-00143
- Neal, M., Fleming N., Eberman L., Games K., & Vaughan J. (2016) Effect of body-weight-support on lower-limb biomechanic. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 46, 9, (784-793)
- Nogueras Miranda, M., Grande Rodríguez, I., & Cordente Martínez, C.A. (2018) Identificación de fases en la carrera de 100 m lisos en función de variables cinemáticas y dinámicas. *Cultura, ciencia y deporte. Revista de ciencias de la actividad física y del deporte de la Universidad Católica de San Antonio*, 37;39–50
- Page, M. (2013). Plantar pressure measures of running and cutting movements on third-generation artificial turf and natural grass. (Unpublished master's thesis). University of Chester, United Kingdom. [Internet]. Hdl.handle.net. 2019 [acceso 13 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10034/320297>
- Paredes Hernández, V., Martos Varela, S., & Romero Moraleda, B. (2011). Propuesta de Readaptación para la Rotura del Ligamento Cruzado Anterior en Fútbol. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de La Actividad Física y El Deporte*, 11, 573–591.
- Pires, N., Lay, B., & Rubenson, J. (2014) Joint-level of the walk to run transition in humans. *The Journal of Experimental Biology*, 217:3519–27
- Pourahmadi, M. R., Taghipour, M., Jannati, E., Mohseni-Bandpei, M. A., Ebrahimi Takamjani, I., & Rajabzadeh, F. (2016). Reliability and validity of an iPhone® application for the measurement of lumbar spine flexion and extension range of motion. *Peer J*, 4, e2355.
- Rajakaruna, R.M.B.D., Arulsing, W., Oliver Raj, J., & Sinha, M., (2015). A study to correlate clinically validated normalized truncated navicular height to brody's navicular drop test in characterizing medial arch of the foot. *BMR Medicine*, 1(1), pp.1-7
- Romero-Franco N., Martínez-Amat A., & Martínez-López EJ. (2013) Efecto del entrenamiento propioceptivo en atletas velocistas. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de La Actividad Física y El Deporte*, 13(51):437-51.
- Ruschel, C., Haupenthal, A., Hubert, M., De Brito Fontana, H., & Roesler, H. (2010). Loading forces in shallow water running at two levels of immersion. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 42(7), 664–669.
- Sáez de Villareal E., Suárez-Arrones L., Requena B., Haff G. G. & Ferrete C. (2015). Effects of plyometric and sprint training on physical and technical

- skill performance in adolescent soccer players. *J. Strength Cond. Res.*, 29(7), 1894–1903.
- Skelton J. (2000) The function of the discussion section in academic medical writing. *British Medicine Journal*, 2000;320(7244):1269-70.
- Stöggli, T., & Martinier, A. (2016). Validation of Moticon's OpenGo sensor insoles during gait, jumps, balance and cross-country skiing specific imitation movements. *Journal of Sports Sciences*, 0414(August), 1–11. DOI:10.1080/02640414.2016.
- Stolwijk, N. M., Duysens, J., Louwerens, J., W., & Keijsers, N. L. (2010). Plantar pressure changes after long-distance walking. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(12), 2264-2272.
- Taunton, J. E., Ryan, M. B., Clement, D. B., McKenzie, D. C., & Lloyd-Smith D R (2002). A retrospective case-control analysis of 2002 running injuries A retrospective case-control analysis of 2002 running injuries. *Sports Medicine*, 95–102.
- Tessutti, V., Trombini-souza, F., Ribeiro, A. P., Nunes, A. L., De Camargo, I., & Sacco, N. (2010). In-shoe plantar pressure distribution during running on natural grass and asphalt in recreational runners. *Journal of Science and Medicine in Sport*. DOI:10.1016/j.jsams.2008.07.008
- Tessutti, V., Ribeiro, A. P., Trombini-Souza, F. & Sacco, I. C. (2012). Attenuation of foot pressure during running on four different surfaces: asphalt, concrete, rubber, and natural grass. *Journal of Sports Sciences*, 30(14), 1545-1550.
- Van Caekenberghe, I., De Smet, K., Segers, V., & De Clercq, D. (2010) Overground vs. Treadmill walk-to-run transition. *Gait and Posture*, 31, (420-428)
- Velotta, J., Weyer, J., Ramirez, A., Winstead, J., & Bahamonde, R. (2011). Relationship between leg dominance tests and type of task. *Portuguese Journal of Sport Sciences*, 11(Supl. 2), 1035-1038.
- Wang, L., Hong, Y., Li, J. X., & Zhou, J. H. (2012). Comparison of plantar loads during running on different overground surfaces. *Research in Sports Medicine*, 20(2), 75–85. DOI:10.1080/15438627.2012.660816
- WMA - The World Medical Association-Manual de Etica Médica [Internet]. Wma.net. 2019 [Acceso 12 de Marzo de 2019]. Disponible en: <https://www.wma.net/es/que-hacemos/educacion/manual-de-etica-medica/>
- Zulkifli S., & Loh W. (2018). A state-of-the-art review of foot pressure. *Foot and Ankle Surgery*, DOI:10.1016/j.fas.2018.12.005

**Número de citas totales / Total References: 39 (100%)**

**Número de citas propias de la revista /Journal's own references: 2 (5,12%)**