



ORIGINAL
Artículo en español

Rev Esp Podol. 2022;33(2):110-114
DOI: 10.20986/revesppod.2022.1646/2022

Reducción de presiones plantares dinámicas en el antepié plantar medial con calcetines biomecánicos

Reduction of dynamic plantar pressures in the medial plantar forefoot with biomechanical socks

Alfonso Martínez Nova, Ana González-Alonso, Maite Fernández-Miranda Gastón y Juan Francisco Morán Cortés

Centro Universitario de Plasencia. Universidad de Extremadura. Plasencia, Cáceres, España

Palabras clave:

Calcetín, biomecánica, presiones plantares, mecanismo de Windlass.

Resumen

Objetivos: Los calcetines con elementos integrados, como un mayor grosor de 2.^a a 5.^a cabeza metatarsal (CMT) y primer dedo, podrían tener un efecto de reducción de la presión plantar en primera cabeza, y potencialmente activar el mecanismo de Windlass. Así, el objetivo de este trabajo fue valorar las presiones plantares dinámicas con el calcetín propio del paciente y otro experimental con los elementos mencionados.

Pacientes y métodos: En una muestra de 28 sujetos (8 hombres y 20 mujeres) se analizó la presión media en 9 zonas del pie con la plataforma Footscan® (RsScan int), primero llevando su propio calcetín y en una segunda medición el experimental (*Podoks Fasciopathy*®). Para el registro baropodométrico se siguió el protocolo del segundo paso.

Resultados: Con los calcetines experimentales se observó una reducción de las presiones plantares en la 1.^a CMT (5.9 ± 3.6 N/cm²) respecto al calcetín propio del sujeto (7.9 ± 2.4 N/cm², $p = 0.021$). Del mismo modo, bajo el pulpejo del primer dedo también se encontró una menor presión (6.9 ± 3.7 vs. 9.0 ± 5.2 N/cm², $p = 0.027$) en el calcetín experimental que en el propio, respectivamente.

Conclusiones: Los calcetines biomecánicos *Podoks Fasciopathy*® reducen en un 25 % las presiones plantares dinámicas bajo la cabeza del primer metatarsiano y en un 23 % el primer dedo comparando con el propio calcetín. Esto podría tener un potencial efecto beneficioso en la activación del mecanismo de Windlass, y por tanto ayudar en el tratamiento de patologías podológicas.

Keywords:

Socks, biomechanics, plantar pressures, Windlass mechanism.

Abstract

Objectives: Socks with integrated elements, such as a thicker fabric from 2nd to 5th metatarsal head (MTH) and hallux, could have a first-head plantar pressure reduction effect, and potentially activate the Windlass mechanism. Thus, the aim of this work was to evaluate dynamic plantar pressures with the patient's own sock and another experimental with the aforementioned elements.

Patients and methods: A sample of 28 subjects (8 men and 20 women) analyzed the mean pressure in 9 areas of the foot with the platform Footscan® (RsScan int), carrying first their own sock and in a second assessment, the experimental one (*Podoks Fasciopathy*®). For the baropodometric record the protocol of the second step was followed.

Results: The socks showed a reduction in plantar pressures in the 1st MTH (5.9 ± 3.6 N/cm²) compared to the subject's own sock (7.9 ± 2.4 N/cm², $p = 0.021$). Similarly, a lower pressure (6.9 ± 3.7 vs. 9.0 ± 5.2 N/cm², $p = 0.027$) was also found under the first toe compared to the experimental sock, respectively.

Conclusions: The biomechanical socks *Podoks Fasciopathy*® reduced by 25 % the dynamic plantar pressures under the first metatarsal head and by 23 % under the hallux, comparing with the subject own sock. This could have a potential beneficial effect on the activation of the Windlass mechanism and thus help in the treatment of podiatric disorders.

Recibido: 21-07-2022

Aceptado: 29-08-2022



0210-1238 © Los autores. 2022.
Editorial: INSPIRA NETWORK GROUP S.L.
Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC Reconocimiento 4.0 Internacional
(www.creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Correspondencia:
Alfonso Martínez Nova
podoalf@unex.es

Introducción

El pie, compuesto por 28 huesos, 33 articulaciones y decenas de ligamentos, tendones y músculos, es la pieza clave de la anatomía humana para mantener el equilibrio y para realizar acciones tales como andar, saltar y correr. Alguna alteración biomecánica, problema estructural o desalineaciones de los segmentos óseos pueden ocasionar sobresolicitaciones que pueden acabar generando patología dolorosa en la región metatarsal o del talón, limitación de movimiento de algunas articulaciones o aparición de callosidades en el pie. Actualmente, se conocen diferentes tipos de calcetines con configuraciones, o dotados de distintos elementos, que les otorgan efectos beneficiosos sobre la salud. Calcetines con elementos tridimensionales en la superficie plantar del antepié han mostrado un efecto de reducción en las presiones plantares dinámicas^{1,2}. Otros modelos de calcetín de carrera, con diferente configuración de ondas tridimensionales plantares, han mostrado que mantienen estables las presiones plantares en la zona del antepié tras una carrera de 10 km³. Además de la configuración tridimensional, la composición de los calcetines también ha mostrado unos efectos beneficiosos para la fisiología de la piel. Así, calcetines fabricados con quitosano han mostrado unos efectos de regeneración dérmica y de elevado confort y son capaces de prevenir lesiones en pacientes diabéticos⁴. Otras fibras con propiedades biológicas, como son las fibras bio-cerámicas que, a través de la captación y emisión de infrarrojos lejanos, producen una mejora de la difusión cutánea de la temperatura que optimiza la microcirculación sanguínea⁵.

Así pues, un diseño de unos calcetines biomecánicos con elementos funcionales plantares, a imagen de aquellos integrados en soportes plantares, podrían mejorar la biomecánica del pie gracias a la instauración o activación de forma prematura del denominado mecanismo de Windlass⁶. El efecto Windlass es un mecanismo tipo resorte que desarrolla la fascia plantar por el cual acumula energía elástica con el fin de disminuir el grado de estrés tensil en diferentes tejidos ligamentosos y musculotendinosos del pie durante las actividades de carga⁷. Esto mejora el funcionamiento del pie y el resto de la extremidad inferior, así como genera un alivio de molestias o dolores en la planta del pie como la fascitis plantar o la sensación de fatiga muscular de la planta del pie, entre otras⁸.

Este tipo de calcetines está siendo desarrollado por la industria, por lo que la hipótesis de este trabajo es que un elemento tridimensional, situado de manera estratégica en la zona del antepié (2-5.ª cabeza metatarsal) y zona plantar del hallux, provocaría una descarga de las presiones bajo la primera cabeza metatarsal. Sin embargo, este efecto no ha podido ser demostrado, por lo que el objetivo de este trabajo fue comprobar las presiones plantares con el nuevo calcetín biomecánico *Podoks Fasciopathy*[®] respecto a un calcetín de uso habitual.

Pacientes y métodos

La muestra se compuso de 28 participantes (20 mujeres y 8 hombres) y con una edad media de 26.7 ± 10.2 años, un peso medio de 67.8 ± 15.7 kg, una altura media de 168.9 ± 10.1 cm y un índice de masa corporal medio de 23.9 ± 4.1 kg/m². Todos ellos eran estudiantes o personal docente o de administración del grado en podología del Centro Universitario de Plasencia. Las mediciones se realizaron

en el mes de junio de 2022. Los participantes dieron su consentimiento verbal y escrito para la participación en el estudio, firmando consentimiento informado. Los criterios de inclusión fueron: 1) tener entre 18 y 65 años, 2) presentar un pie estructuralmente normal, sin alteraciones morfológicas o funcionales evidentes, y 3) no presentar dolores en el momento de realizar la prueba. Se excluyeron aquellos participantes que: 1) presentaran dolores en extremidad inferior que les modifique el patrón de marcha normal, o 2) que hubieran sufrido fracturas o cirugías en extremidades inferiores en los 6 meses anteriores.

Protocolo de medición

A los participantes se les solicitó que acudieran a la valoración con sus propios calcetines, de uso habitual y con los que se encontraran confortables. La medición baropodométrica previa se realizó con la plataforma de presiones FootScan[®] Plate System (RScan Int., Beringen, Bélgica). La plataforma se situó en el centro del pasillo de la sala de exploración biomecánica. Seguidamente, se indicó a los participantes cómo colocarse, a unos 1.5 m de la plataforma, dando un primer paso fuera de ella y el segundo pisando la plataforma, para continuar caminando unos 3 o 4 m más⁹. Se tomaron tres mediciones válidas de cada pie. Tras la primera medición, se entregaron a los participantes un par de calcetines biomecánicos (*Podoks Fasciopathy*[®], Fixtoe Company, Alicante, España), con un elemento amortiguador (mayor grosor) en la zona de segunda a quinta cabeza metatarsal, lo que deja la primera cabeza con el grosor propio de la base del cal-



Figura 1. Características del calcetín *Podoks Fasciopathy*[®]. Mayor acolchado de 2.ª-5.ª CMT (1) y talón (2), compartimentos para el primer dedo con mayor grosor plantar (3) y para los dedos menores (4) y banda compresora estabilizadora de mediopié (5).



Figura 2. Detalle de los dos compartimentos para los dedos. El primer dedo se aloja de manera individual. El segundo compartimento aloja a los dedos menores.

caletín. También presenta un mayor grosor situado en la zona plantar del talón (Figura 1). La zona de los dedos está compuesta por dos compartimentos, uno para el primer dedo (que en su zona plantar tiene un tejido de rizo también más grueso), y otro compartimento para los dedos menores (Figura 2). Además, el caletín cuenta con una banda de compresión, que estabiliza el mediopié.

Los participantes se pusieron los calcetines, acomodándolos y caminando unos minutos para adaptarse a ellos. Posteriormente, pasaron nuevamente por la plataforma para tomar unas nuevas mediciones, según el protocolo anteriormente descrito. El software asociado dividió la planta del pie en 10 zonas (1.º dedo, dedos menores, de 1.º a 5.º cabeza metatarsiana, mediopié, talón medial y talón lateral). La variable analizada fue la presión plantar máxima.

Estudio estadístico

Para el análisis estadístico se realizaron las medias de las tres mediciones, para obtener un valor robusto que representara los tres pasos realizados. Para mantener la independencia de los datos¹⁰ se seleccionó de manera aleatoria un pie de cada participante, con el que se realizaron los test de contraste de hipótesis. Se realizó una prueba t-Student para muestras relacionadas. Los análisis estadísticos de los resultados se realizaron mediante el programa SPSS (IBM SPSS Statistics for Windows, Versión 22.0, licencia campus UEX). Se estableció un nivel de significación del 5 % ($p < 0.05$).

Resultados

La zona con una mayor presión plantar, con el caletín propio del sujeto se situó en la zona del tercer metatarsiano con $16.4 \pm 11.4 \text{ N/cm}^2$, seguido del segundo metatarsiano con $13.3 \pm 6.4 \text{ N/cm}^2$ (Tabla I). Mientras, el valor más bajo se encontró en la zona de los dedos me-

Tabla I. Valores de presión medio con el caletín propio y los calcetines Podoks Fasciopathy®.

		Media	DE	Valor p
		N/cm ²		
Primer dedo	Caletín propio	9.0	5.2	0.027
	Podoks fasciopathy®	6.9	3.7	
Dedos 2-5.º	Caletín propio	2.8	2.5	0.397
	Podoks fasciopathy®	2.4	1.7	
Meta 1	Caletín propio	7.9	2.4	0.021
	Podoks fasciopathy®	5.9	3.6	
Meta 2	Caletín propio	13.3	6.4	0.818
	Podoks fasciopathy®	12.9	7.1	
Meta 3	Caletín propio	16.4	11.4	0.529
	Podoks fasciopathy®	15.1	6.7	
Meta 4	Caletín propio	11.4	9.4	0.658
	Podoks fasciopathy®	10.6	6.6	
Meta 5	Caletín propio	5.5	6.1	0.380
	Podoks fasciopathy®	4.5	3.5	
Mediopié	Caletín propio	3.1	1.9	0.274
	Podoks fasciopathy®	2.7	1.2	
Talón medial	Caletín propio	11.7	4.6	0.901
	Podoks fasciopathy®	11.6	3.7	
Talón lateral	Caletín propio	10.8	4.3	0.679
	Podoks fasciopathy®	11.1	3.1	

DE: desviación estándar.

nores ($2.8 \pm 2.5 \text{ N/cm}^2$, Tabla I). Con los calcetines biomecánicos Podoks Fasciopathy®, los valores de presión plantar también fueron más elevados en tercera y segunda cabeza metatarsal (15.1 ± 6.7 y $12.9 \pm 7.1 \text{ N/cm}^2$, respectivamente), con el valor más bajo en la zona de los dedos menores ($2.4 \pm 1.7 \text{ N/cm}^2$). La prueba t-Student para muestras pareadas reveló que la presión plantar fue menor con los calcetines Podoks Fasciopathy® que con los calcetines propios en la zona de la primera cabeza metatarsal (5.9 ± 3.6 vs. $7.9 \pm 2.4 \text{ N/cm}^2$, $p = 0.021$) y el primer dedo (6.9 ± 3.7 vs. $9.0 \pm 5.2 \text{ N/cm}^2$; $p = 0.027$, Tabla I).

Discusión

La función de los elementos mullidos integrados en el caletín se basa principalmente en disminuir el grado de estrés tensil de estructuras plantares como la fascia plantar gracias a los cambios cinéticos que se dan sobre la superficie plantar del pie¹¹. Es sabido que un incremento o exceso de fuerza reactiva del suelo sobre el antepié plantar medial (cabeza del primer metatarsiano) se asocia a un exceso de estrés tensil en la fascia plantar, principalmente en pies pronados, convirtiéndose en un factor de riesgo para el desarrollo de una fasciopatía plantar⁸. El elemento mullido que abarca la zona plantar del segundo al quinto metatarsiano ha mostrado un efecto biomecánico, puesto que disminuye la presión plantar bajo la cabeza del primer metatarsiano en un 25 % respecto a la ejercida



Figura 3. Baropodometría dinámica con el calcetín propio del paciente. Se observa hiperpresión en la primera cabeza metatarsal del pie izquierdo.

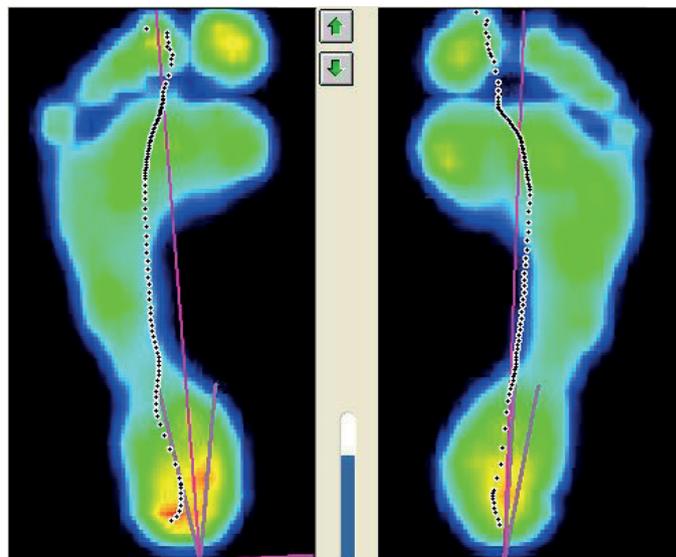


Figura 4. Baropodometría dinámica con el calcetín Podoks Fasciopathy, donde se reduce la presión en la primera cabeza metatarsal.

con el propio calcetín del participante, disminuyendo así las fuerzas dorsiflexoras sobre el primer metatarsiano, las cuales se relacionan con el aumento del estrés tensil que soporta la fascia plantar. Este efecto puede observarse en la imagen baropodométrica de uno de los participantes del estudio (Figuras 3 y 4). Por otra parte, el elemento mullido de la base plantar del hallux tenderá a activar de forma precoz el mecanismo de Windlass y de esta forma mejorará la proporción de fuerzas tensiles en la fascia plantar, optimizando así la fase del periodo propulsivo en la carrera o marcha. La reducción de presión bajo el primer radio sugiere un mejor funcionamiento de este en población sana. Así, podría extrapolarse que, en población con patología podal, los tratamientos físicos u ortésicos podían ser combinados con el uso de calcetines diseñados específicamente. Esta combinación de tratamientos abriría un enorme potencial de mejora respecto a los resultados clínicos y funcionales que podrían conseguirse. Este efecto de reducción de presión plantar selectiva ha sido también observado en otros modelos de calcetines, con elementos de descarga metatarsal central, con reducciones de presión en segunda y tercera cabeza metatarsal de un 19.5 %¹.

El efecto biomecánico del calcetín podría explicarse por la combinación de la tensión que genera el calcetín biomecánico sobre el sostén del arco interno por medio de la compresión de sus fibras elásticas. Esto, asociado a los diferentes elementos mullidos del antepié y hallux, generarán una situación de mayor eficiencia mecánica del pie debido a una instauración adecuada del mecanismo de Windlass y control de las fuerzas tensiles sobre la fascia plantar^{6,8,11,12}.

Este trabajo presenta algunas limitaciones, como pueden ser: 1) la reducción de las presiones plantares hallada es a muy corto plazo (casi inmediata); sería necesario un estudio longitudinal de varios semanas o meses para poder afirmar que el efecto biomecánico persiste en el tiempo para poder tener un beneficio clínico; 2) no

se han caracterizado los diferentes tipos de pies (por ejemplo, en neutro, pronado o supinado), por lo que no es posible determinar si el efecto es mayor, menor o nulo en algunos de estas morfologías podales. Se abre así una línea de investigación que pueda aportar estos datos.

En conclusión, los calcetines biomecánicos *Podoks Fasciopathy*[®] reducen en un 25 % las presiones plantares dinámicas bajo la cabeza del primer metatarsiano y en un 23 % bajo el primer dedo. Esta mejora cinética podría facilitar la acción del mecanismo de Windlass y ser potencialmente beneficiosa para ayudar al tratamiento de algunas patologías podológicas, como la fascitis plantar, el hallux limitus funcional, fatiga plantar ligamentosa (sensación de pie abierto), fatiga plantar muscular o dolor en el arco interno del pie entre otras.

Conflictos de intereses

Los autores declaran que la empresa Fixtoe Company, fabricante de los calcetines *Podoks Fasciopathy*[®], ha fabricado y cedido desinteresadamente los calcetines experimentales a los autores. No existe vínculo económico directo entre la empresa y ninguno de los autores del estudio.

Fuentes de financiación

La empresa Fixtoe Company cedió de forma gratuita los calcetines para la realización del estudio. Fuera de esta aportación, el estudio no contó con ninguna otra fuente de financiación externa.

Declaración ética

El estudio fue aprobado por la comisión de bioética y bioseguridad de la Universidad de Extremadura.

Bibliografía

1. Caracuel López JM, Sánchez Rodríguez R, Gómez-Martín B, Escamilla-Martínez E, Martínez Nova A, Jiménez Cano VM. Reducción de las

- presiones plantares dinámicas en un calcetín experimental. Un estudio preliminar. *Rev Esp Podol.* 2021;32(2):86-92. DOI: 10.20986/revespod.2021.1619/2021.
2. Martínez-nova A, Caracuel-I JM, Escamilla-martínez E, Beatriz G, Raquel S. Socks with an U-shaped 3D discharge element are capable to reduce dynamic plantar pressures under the central forefoot. *J Tissue Viability.* 2022;31(2):309-14. DOI: 10.1016/j.jtv.2021.11.005.
 3. Niño González M, Sánchez Rodríguez R, Escamilla Martínez E, Gómez Martín B, Morán Cortés JF, Martínez Nova A. Presiones plantares en dos modelos de calcetín con diferente separación de ondas tridimensionales. *Rev Esp Podol.* 2022. DOI: 10.20986/revesppod.2022.1641/2022. In press.
 4. Aparicio, I.; Giménez, J. V.; Pérez-Soriano, P.; Martínez-Nova, A; Macián, C.; Llana S. Evaluación de tecnología regenerativa en calcetines durante la marcha nórdica. *Eur J Hum Movem.* 2012;28:101-10.
 5. Escamilla-Martínez E, Gómez-Martín B, Sánchez-Rodríguez R, Fernández-Seguín LM, Pérez-Soriano P, Martínez-Nova A. Running thermoregulation effects using bioceramics versus polyester fibres socks. *J Ind Text.* 2022;51(8):1236-49. DOI: 10.1177/1528083719898850. DOI: 10.1177/1528083719898850.
 6. Kirby KA. Biomechanics of the normal and abnormal foot. *J Am Pod Med Assoc.* 2000;90(1):30-4. DOI: 10.7547/87507315-90-1-30.
 7. Sichtung F, Ebrecht F. The rise of the longitudinal arch when sitting, standing, and walking: Contributions of the windlass mechanism. *PLoS One.* 2021;16(4):e0249965. DOI: 10.1371/journal.pone.0249965.
 8. Fuller E. The Windlass Mechanics of the Foot. A mechanical Model to Explain Pathology. *J Am Pod Med Assoc.* 2000;90(1):35-46. DOI: 10.7547/87507315-90-1-35.
 9. Sánchez-Rodríguez R, Martínez-Nova A, Escamilla-Martínez E, Pedreira-Zamorano JD. Can the Foot Posture Index or their individual criteria predict dynamic plantar pressures? *Gait Posture.* 2012;36(3):591-5. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2012.05.024.
 10. Menz H. Two feet, or one person? Problems associated with statistical analysis of paired data in foot and ankle medicine. *Foot.* 2004;14(1):2-5. DOI: 10.1016/S0958-2592(03)00047-6.
 11. Kirby KA, Precision Intricast I. Foot and Lower Extremity Biomechanics V: Precision Intricast Newsletters, 2014-2018. Precision Intricast, Incorporated; 2018.
 12. Kirby KA. Sistema de reparto de cargas del arco longitudinal del pie. *Rev Esp Podol.* 2017;28(1):37-45. DOI: 10.1016/j.repod.2017.03.002.