Fisioterapia 2021;43(1):30–37

Fisioterapia

www.elsevier.es/ft

ORIGINAL

Efecto de la morfología de las plantas de los pies en la distribución de presión plantar en atletas jóvenes con diferentes tipos de pie

I. Miguel-Andrés[a,*], J.J. Mayagoitia-Vázquez[a], S.L. Orozco-Villaseñor[a], M. León-Rodríguez[b] y D. Samayoa-Ochoa[c]

[a] *Biomecánica, Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas (CIATEC, A.C.), León, Guanajuato, México*
[b] *Universidad Politécnica de Guanajuato, Campus Cortázar, Guanajuato, México*
[c] *ESIME Zacatenco, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México*

Recibido el 26 de marzo de 2020; aceptado el 9 de julio de 2020
Disponible en Internet el 8 de septiembre de 2020

PALABRAS CLAVE
Pie plano;
Pie cavo;
Deportistas;
Pie;
Marcha

Resumen
Introducción y objetivos: Estudios previos han sugerido que las diferencias en la estructura de los pies podrían afectar el comportamiento de la distribución de la presión plantar, por lo que esto podría aumentar la probabilidad de sufrir una lesión. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de la morfología de las plantas de los pies sobre la distribución de la presión plantar entre el pie normal, el pie plano, cavo extremo y el pie cavo en condiciones estáticas y dinámicas.
Metodología: Ciento dieciocho deportistas, con una edad promedio de 14,45 ± 2,17 años y una masa promedio de 58,78 ± 12,18 kg, participaron en esta investigación. Ninguno de los participantes presentó alguna lesión que le impidiera realizar las pruebas.
Resultados: Se encontró que la distribución de la carga en el retropié del pie plano, el cavo extremo y el pie cavo fue mayor que la presión del pie normal en condiciones estáticas. Sin embargo, el análisis ANOVA no mostró una diferencia significativa entre estas condiciones de los pies (pie derecho $p = 0,25$ y pie izquierdo $p = 0,36$). El análisis de la presión en condiciones dinámicas reveló que los deportistas con pie cavo en el pie derecho presentaron un valor más elevado en la región de los metatarsos; esto podría ser un factor de riesgo para producir alteraciones musculoesqueléticas. Por el contrario, la disminución de presión en sujetos con pie plano presentaría un riesgo menor.

* Autor para correspondencia.
Correo electrónico: imiguel@ciatec.mx (I. Miguel-Andrés).

https://doi.org/10.1016/j.ft.2020.07.003
0211-5638/© 2020 Asociación Española de Fisioterapeutas. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

Conclusión: El análisis de la distribución de la presión plantar entre los 4 tipos de pies en condiciones estáticas y dinámicas demuestra que la presión plantar se modifica por el tipo de pie que presenta cada individuo. Los resultados del presente trabajo contribuyen de forma directa en conocer más a profundidad la biomecánica de la distribución de presión plantar en sujetos con diferente tipo de pie.
© 2020 Asociación Española de Fisioterapeutas. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

KEYWORDS
Flatfoot;
Pes cavus;
Athletes;
Foot;
Gait

Effect of the morphology of the soles of the feet on plantar pressure distribution in young athletes with different foot types

Abstract
Introduction and objective: Previous studies have suggested that differences in the structure of the feet might affect the behaviour of plantar pressure distribution, this might increase the probability of getting injured. The objective of this work was to determine the effect of the morphology of the soles of the feet on plantar pressure distribution among normal foot, flatfoot, extreme cavus and cavus foot in static and dynamic conditions.
Methodology: One hundred and eighteen athletes, mean age 14.45 ± 2.17 years, mean mass 58.78 ± 12.18 kg took part in this research. None of the participants presented an injury that prevented them from carrying out the tests.
Results: It was found that the load distribution in the hindfoot of the flat foot, extreme cavus and cavus foot was higher than the normal foot in static condition. However, One-way ANOVA analysis did not show a significant difference among these feet conditions (right foot, $P=.25$ and left foot, $P=.36$). The analysis of pressure in dynamic conditions revealed that athletes with right cavus foot had a higher value in the metatarsal region, this could be a risk factor for producing musculoskeletal abnormalities. Conversely, lowering pressure in flatfoot subjects would present a lower risk.
Conclusion: The analysis of the plantar pressure distribution among the 4 types of feet in static and dynamic conditions proves that plantar pressure is modified by the type of foot of each individual. The results of the current work contribute directly to learning more about the biomechanics of plantar pressure distribution in subjects with different foot types.
© 2020 Asociación Española de Fisioterapeutas. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Puntos clave

- El tipo de pie en deportistas modifica la distribución de presión plantar.
- Individuos con pie cavo tienden a aumentar la presión en la fase plana del pie.
- Individuos con pie plano tienden a disminuir la presión en la fase plana del pie.

Introducción

El pie es la base de sustentación del aparato locomotor y tiene la capacidad, gracias a su peculiar biomecánica, de convertirse en una estructura rígida o flexible en función de las necesidades para las que es requerido y las características del terreno en que se mueve[1]. Presenta una estructura en forma de arco en la parte medial que proporciona estabilidad, amortiguación y propulsión[2-4]. Además, el pie es un sistema dinámico que distribuye las cargas entre los diversos puntos del apoyo plantar.

Actualmente, se ha encontrado una alta prevalencia de pie cavo y alteraciones musculoesqueléticas en deportistas que podría disminuir el rendimiento físico de los atletas[5]. Estas lesiones en el pie se presentan de manera cada vez más frecuente. Sin embargo, debido a su estructura compleja el entendimiento de las causas que las producen es complicado[2]. Varios autores han implementado el uso de la baropodometría como instrumento confiable para medir la distribución de la presión plantar y detectar alteraciones del pie en condiciones estáticas y dinámicas[6-8]. A pesar de ello, actualmente no hay un consenso sobre si el tipo de pie (normal, plano o cavo) o cambios en su estructura podrían afectar al comportamiento de la distribución de la presión plantar[9,10].

El pie plano se produce por el colapso del arco medial y la posición en valgo del talón. Por el contrario, el pie cavo se forma cuando la altura del arco medial y la bóveda

plantar aumentan[11-16]. Se tiene la idea de que el pie plano y cavo pueden modificar el funcionamiento y estructura del pie[10]; sin embargo, no hay información concluyente que soporte esta idea. Algunos autores han resaltado la importancia de realizar estudios de la fisiología y estructura del pie, para ser capaces de entender los mecanismos que producen una alteración musculoesquelética y con ello poder implementar medidas de prevención[10,17]. Por ejemplo, se ha encontrado que la distribución de la presión plantar podría ayudar a detectar la aparición de úlceras en pacientes con diabetes[17-19]. Además, se han encontrado diferencias significativas en la distribución de la presión del pie entre sujetos jóvenes y adultos mayores. Las diferencias se han encontrado en las regiones del calcáneo, la cabeza del primer metatarso y en el lado medial del pie. En sujetos de edad avanzada, estas diferencias podrían afectar a la estabilidad al caminar[20]. También se ha encontrado que la distribución de la presión plantar en sujetos con callosidades en el talón y el antepié en el pie izquierdo presentan un patrón diferente del que presenta el pie derecho[8].

Otros estudios han encontrado diferencias significativas entre los tipos de pie para el área de contacto en el mediopié, la fuerza máxima y la presión máxima en el antepié lateral. La fuerza máxima y la presión máxima disminuyen significativamente en sujetos con pie plano, por lo tanto, estos individuos podrían tener un menor riesgo de fracturas por estrés metatarsiano[21]. Sin embargo, otros estudios más recientes han encontrado que el tipo de pie no influye de manera significativa en la cinemática y la cinética de la rodilla y la articulación subastragalina[22,23].

El presente trabajo de investigación busca aportar información que ayude a aclarar la discrepancia que existe en la comunidad científica, con relación a determinar si el tipo de pie puede tener un efecto sobre la distribución de presión plantar. Además, actualmente la interpretación del efecto de la morfología de las plantas de los pies sobre la presión plantar en atletas jóvenes no ha sido estudiada a profundidad. Por lo tanto, esta investigación tiene como objetivo determinar el efecto del tipo de pie en la distribución de la presión en atletas jóvenes con diferentes tipos de pie, en condiciones estáticas y dinámicas.

Material y métodos

Ciento dieciocho atletas jóvenes (62% mujeres y 38% hombres), edad promedio de 14,45 ± 2,17 años, masa promedio 58,78 ± 12,18 kg participaron en esta investigación. El presente estudio fue observacional y de corte transversal. Todos los participantes fueron capaces de caminar descalzos sobre el baropodómetro a velocidad promedio para una población mexicana (1,14 m/s)[24]. Los deportes considerados en este estudio fueron: basquetbol, beisbol, fútbol, halterofilia, karate, natación, remo y voleibol. La intensidad de los entrenamientos fue de 3 a 5 días por semana y de 2 a 3 h por día en la categoría amateur. Como criterio de inclusión, se revisó que todos los participantes estuvieran activos en su deporte y aquellos que presentaron algún tipo de lesión reciente fueron excluidos del estudio. Se reclutó a participantes de las diferentes actividades deportivas de forma aleatoria en el departamento de fisioterapia y se procedió a revisar que cumplieran con los criterios de inclusión para realizar las mediciones; quienes no cumplieron con los criterios de inclusión fueron excluidos del estudio. Posteriormente, se explicó a cada uno de los participantes los procedimientos, los riesgos y los beneficios a fin de obtener su consentimiento de participación voluntaria y por escrito, de acuerdo con la Ley General de Salud de México, y cuidando los principios de la Declaración de Helsinki. El presente estudio fue aprobado por el Comité de Bioética del Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas, con registro ante la Comisión Nacional de Bioética N.° CONBIOETICA11CEI00620131108.

Procedimiento

A todos los participantes se les explicó el protocolo a seguir y el tiempo de duración de las mediciones. Cada voluntario recibió instrucciones de permanecer de pie, descalzo y con las manos en los costados sobre la plataforma del baropodómetro (Sensormedica, Guidonia Montecelio, Roma, Italia) para medir la distribución de la presión plantar en condiciones estáticas. El tiempo de duración de la prueba fue de aproximadamente 5 min por participante. Posteriormente, se le ordenó caminar 4 repeticiones a lo largo del baropodómetro (2 plataformas de 120 × 50 cm cada una) de forma natural a una velocidad promedio de 1,14 m/s para medir la distribución de la presión plantar en condiciones dinámicas. Con la ayuda de un cronómetro, se revisó que se caminara a la velocidad antes mencionada.

Además, a cada voluntario se le indicó que permaneciera erguido con los 2 pies descalzos sobre un PodoScan 2D (Sensormedica, Guidonia Montecelio, Roma, Italia) para digitalizar ambas huellas de los pies. Posteriormente, el índice de pie plano Chippaux-Smirak (CSI, por sus siglas en inglés)[13] fue calculado a partir de las huellas digitalizadas y los pies de los deportistas fueron clasificados en 4 grupos diferentes: pie normal, pie plano, pie cavo y cavo extremo. El CSI es la relación entre la longitud más pequeña del medio pie y la longitud más grande de la región de la cabeza de los metatarsos[13].

Análisis estadístico

El análisis de la distribución de la carga sobre la superficie plantar en condiciones estáticas para los 4 tipos de pie fue realizado a través de un análisis de varianza (one-way ANOVA). De igual manera, se empleó el análisis de varianza para estudiar el efecto del tipo de pie sobre la distribución de presión plantar durante la marcha.

Procesamiento de datos

Las imágenes digitalizadas de las plantas de los pies fueron analizadas en Matlab R2015a versión 8.5.0.197613 (The MathWorks Inc., Natick, Massachusetts, EE. UU.) y el CSI fue calculado como se muestra en la figura 1. Las huellas de las plantas de los pies se clasificaron de acuerdo con el ancho del antepié (A) y el ancho del mediopié (B). La relación B/A o el ICS proporcionó evidencia clara del tipo de pie de los deportistas[5,13]. Se crearon 4 categorías para los diferentes tipos de pie: pie normal, pie plano, cavo extremo y pie cavo.

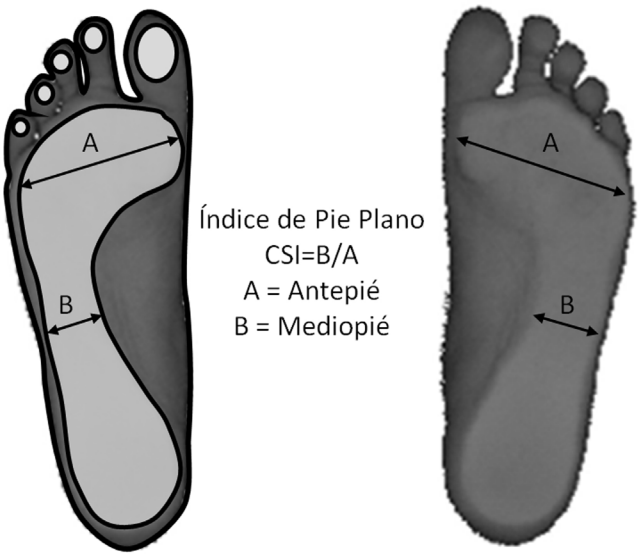

Figura 1 Medición de la morfología de las plantas de los pies. CSI: índice de Chippaux-Smirak.

El rango del CSI para el pie normal fue 0,25 $\leq$ CSI < 0,45, para el pie plano fue CSI $\geq$ 0,45, para el cavo extremo CSI = 0 y para el pie cavo fue 0 < CSI < 0,25[5,13,25-27].

En el primer análisis, se realizó la comparación de la distribución de presión entre el antepié y el retropié. Ambas regiones fueron comparadas en condiciones estáticas para los 4 diferentes tipos de pie. Se estableció que el 40% de la carga en la región anterior del pie y el 60% de la carga en la región posterior del pie fueron presiones estándar para las evaluaciones en estático[1]. Para el segundo análisis, las huellas de los pies fueron divididas en 4 diferentes regiones o fases: la primera fue fase de contacto inicial (FCI), la segunda fue fase de contacto del antepié (FCA), la tercera fue fase plana del pie (FPP) y la cuarta fue fase de despegue del antepié (FDA), como se muestra en la figura 2. La división de las presiones plantares en las 4 regiones descritas anteriormente se realizó en el software FreeStep™ (Sensormedica, Guidonia Montecelio, Roma, Italia). Las 4 mediciones de la distribución de presión plantar en condiciones dinámicas en cada participante se promediaron y la presión plantar para cada una de las fases o regiones del pie fue comparada entre sí en los diferentes tipos de pie.

Resultados

Morfología de las plantas de los pies

Los resultados del análisis de la morfología de las plantas de los pies para el pie derecho fueron: el 55,9% pie normal, el 8,5% pie plano, el 9,3% cavo extremo y el 26,3% pie cavo. El análisis de la morfología de las huellas de los pies para el pie izquierdo fue: el 59,3% pie normal, el 10,2% pie plano, el 6,8% cavo extremo y el 23,7% pie cavo. El análisis del CSI mostró una alta prevalencia de pie cavo en los deportistas en ambos pies.

Distribución de presión plantar en condiciones estáticas

La figura 3 muestra el promedio y la desviación estándar de la distribución de la carga en el retropié y el antepié de ambos pies, el pie normal, pie plano, cavo extremo y pie cavo. Los 4 tipos de pie presentaron un porcentaje mayor de carga en el retropié, un valor por encima del 60%. El pie normal fue el único tipo de pie que presentó valores más cercanos al 60 y el 40%, como se muestra en la figura 3. Por otro lado, el pie izquierdo presentó la mayor diferencia de carga entre el antepié y el retropié.

La diferencia en la distribución de carga entre el antepié y el retropié del pie derecho fue del 19,1% para el pie normal, el 26,4% para el pie plano, el 28,9% para el cavo extremo y el 29,7% para el pie cavo. Por otro lado, la diferencia en el pie izquierdo fue del 26,3% para el pie normal, el 35,2% para el pie plano, el 38,9% para el cavo extremo y el 30,3% para el pie cavo.

Es evidente notar que los deportistas con pie cavo y cavo extremo tienden a sobrecargar la parte posterior del pie en condiciones estáticas. Aunque el porcentaje de carga en el retropié fue mayor en los pies patológicos (pie plano, cavo extremo y pie cavo), el análisis estadístico de varianza ANOVA no mostró que la diferencia fuera significativa entre los 4 tipos de pie (p = 0,25 pie derecho y p = 0,36 pie izquierdo).

Distribución de presión plantar en condiciones dinámicas

La figura 4 presenta el porcentaje de la distribución de presión plantar del pie derecho en los 4 grupos de deportistas jóvenes. También se pueden observar las 4 etapas de la fase apoyo en el pie derecho, iniciando con el contacto del talón (FCI) hasta el despegue del pie (FDA). Los valores más elevados de presión se encontraron en la FPP y los más bajos en la FDA en los 4 tipos de pie. Se realizó un análisis estadístico ANOVA en las 4 fases o etapas del ciclo de marcha (FCI, FCA, FPP y FDA). Sin embargo, no se encontró una diferencia significativa en los diferentes tipos de pie, para la FCI (p = 0,81), FCA (p = 0.39), FPP (p = 0,67) y FDA (p = 0.06).

La figura 5 exhibe los porcentajes de la distribución de presión plantar del pie izquierdo en la fase de apoyo para los diferentes tipos de pie. El pie plano presentó el valor de presión más elevado en la FCI. Además, el pie izquierdo presentó mayores variaciones en la distribución de presión plantar para los 4 tipos de pie en comparación con el pie derecho. El análisis estadístico ANOVA de las presiones plantares mostró una diferencia significativa en la FCI (p = 0,03) y en la FPP (p = 0.02) entre los diferentes tipos de pie. Por otro lado, la FCA y la FDA no presentaron una diferencia significativa en los diferentes tipos de pie, FCA p = 0,56 y FDA p = 0,46.

Discusión

La presente investigación se desarrolló para determinar el efecto de la morfología de la huella de los pies en la distribución de presión plantar entre el pie normal, el pie plano, el

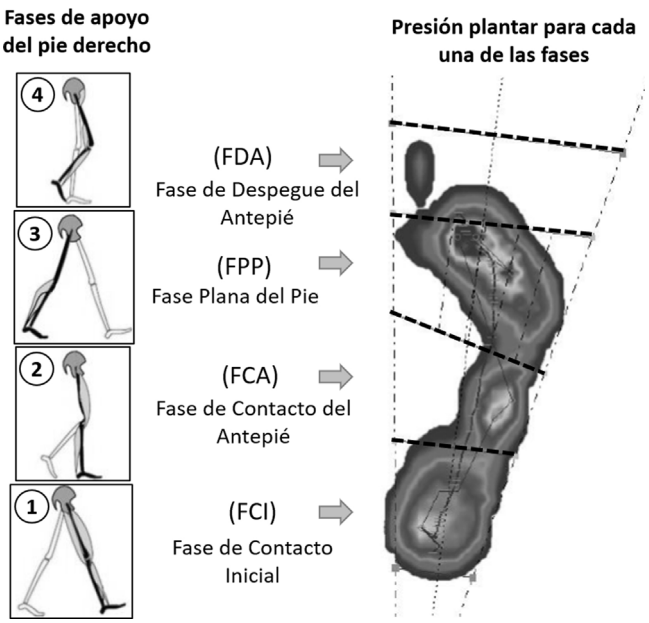

Figura 2 Cuatro etapas o fases de la distribución de presión plantar durante la fase de apoyo del pie derecho: fase de contacto inicial (FCI), fase de contacto del antepié (FCA), fase plana del pie (FPP) y fase de despegue del antepié (FDA). Las líneas punteadas transversales indican la división de cada una de las fases del pie.

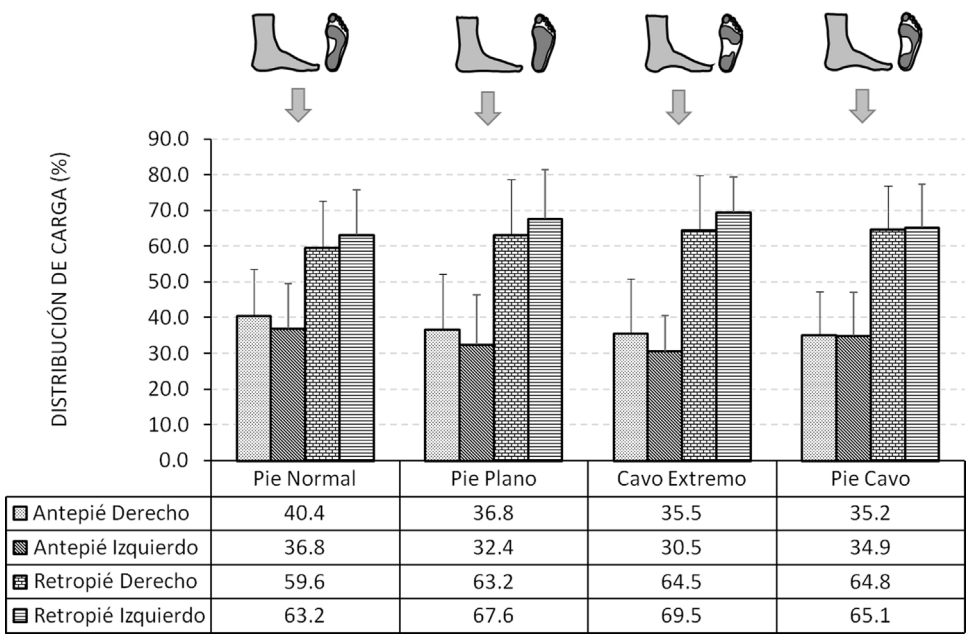

Figura 3 Distribución de carga de los pies derecho e izquierdo en condición estática.

cavo extremo y el pie cavo en condiciones estática y dinámicas. Esto con la intención de entender el patrón de distribución de presión entre los diferentes tipos de pie. Los resultados del porcentaje de la distribución de carga en condiciones estáticas en el pie normal presentaron los valores más cercanos a lo considerado como estándar (60% retropié y 40% antepié); esto coincide con los trabajos desarrollados por Viladot Voegeli y Pomarino y Pomarino[1,28]. Además, se observó que la distribución de carga en la región de retropié se incrementó para el pie cavo y el cavo extremo. Estos cambios podrían tener un efecto más significativo en condiciones dinámicas en individuos con pie cavo[10,11].

El porcentaje de presión en la parte del antepié fue mayor durante la marcha, mientras que en condiciones estáticas la carga fue mayor en el retropié. La región de los metatarsos presentó el porcentaje de presión más alto en los 4 tipos de pie en la fase de apoyo de la marcha. Los deportistas con pie cavo y cavo extremo en el pie derecho mostraron un porcentaje de presión bajo en la parte medio-lateral del pie durante la FCA y el valor más elevado

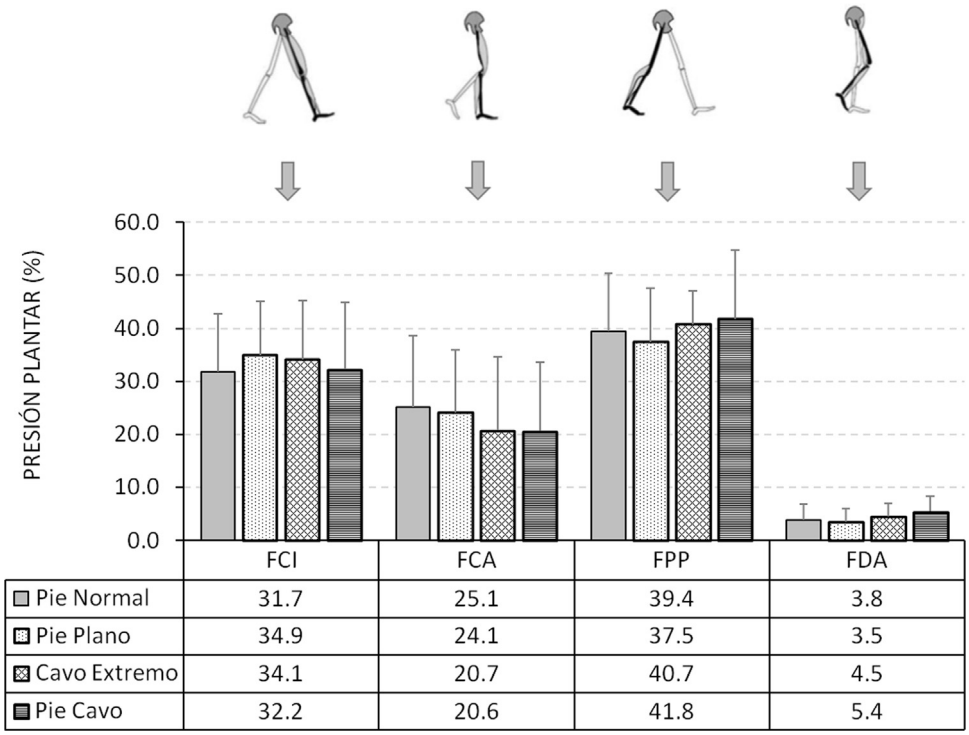

Figura 4 Distribución de presión plantar en las 4 etapas de la fase de apoyo: pie derecho.

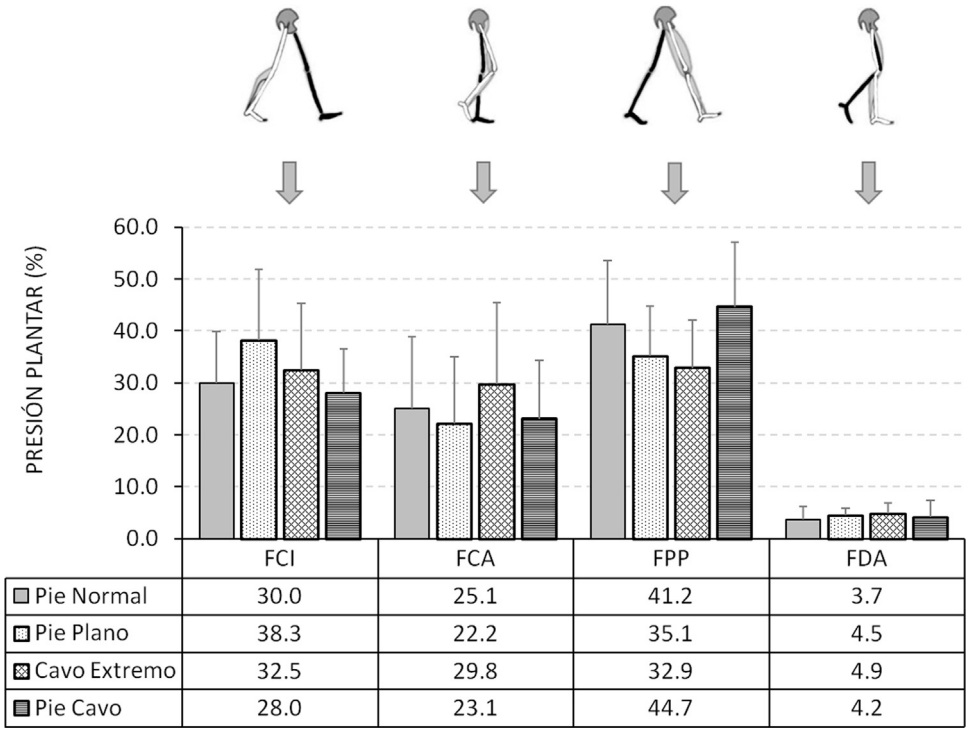

Figura 5 Distribución de presión plantar en las 4 etapas de la fase de apoyo: pie izquierdo.

de presión en la región de los metatarsos durante la FPP. Este comportamiento podría ser debido a los cambios en la estructura del pie y podría ser un factor de riesgo para los deportistas que presenten este tipo de alteración, como lo han sugerido otros autores[11,21].

Además, se encontró que la presión plantar del pie izquierdo en participantes con pie plano se incrementa en la FCI y disminuye en la FPP, esto en comparación con la presión del pie normal. Este comportamiento podría ser producido por el colapso del arco medial del pie y, además,

la disminución de presión en zona del antepié podría reducir el riego de una fractura de los metatarsos[21].

Aunque el análisis estadístico de varianza ANOVA de las presiones plantares del pie derecho en condiciones dinámicas no mostró diferencias significativas en las 4 fases (FCI, FCA, FPP y FDA), sí mostró diferencias significativas en el pie izquierdo en la FCI y la FPP. Diferentes estudios han encontrado diferencia significativa en la distribución de presión plantar entre los diferentes tipos de pie[8,29]. Sin embargo, los resultados encontrados en el presente estudio no coinciden completamente con los de otros autores; esto podría ser debido a las características propias del estudio, los diferentes rangos de edades o por el tipo de sujetos considerados en los estudios[8,10,21,29]. Los resultados de la distribución de presión plantar en condiciones dinámicas y estáticas en atletas jóvenes son evidencia importante para comprender la biomecánica de la presión plantar en relación con el tipo de pie.

Algunos estudios apoyan la idea de que la biomecánica del pie puede alterarse cuando se modifica la estructura del pie. Syed et al. estudiaron la distribución de la presión plantar en sujetos asintomáticos, de edades comprendidas entre 6 y 81 años. El análisis estadístico de la distribución de la presión del pie durante condiciones estáticas mostró una diferencia significativa entre los sujetos. Los principales factores que influyeron en la presión plantar fueron el género y el tipo de pie[29]. Del mismo modo, Hillstrom et al. realizaron una investigación de la estructura y la función de los pies asintomáticos entre los diferentes tipos de pies, se analizaron sujetos entre 18 y 77 años. Se encontró una diferencia significativa en la presión máxima, la fuerza máxima, la presión, la fuerza y el área de contacto entre los diferentes tipos de pie[10]. Algunos estudios sugieren que la distribución de la presión plantar podría verse afectada por el tipo de pie, el género, la edad, el peso corporal y el calzado. El conocimiento de estos factores que afectan a la distribución de la presión es importante para que los médicos, los fisioterapeutas, los podólogos, los entrenadores, los traumatólogos y los investigadores puedan prevenir lesiones a futuro[7,30].

Por lo tanto, los resultados encontrados en el presente trabajo ayudan a comprender la distribución de la presión plantar en relación con el tipo de pie. Además, se ha pensado que un arco pronunciado en el pie podría afectar la mecánica de las fuerzas que pasan del suelo a la estructura corporal[10,11]. Los resultados del presente trabajo no pueden generalizarse debido a que los participantes considerados en el estudio fueron jóvenes deportistas. Esto hace difícil la comparación de resultados con otros trabajos realizados en sujetos de edad mayor y con alteraciones musculoesqueléticas. Sin embargo, aunque las diferencias no fueron significativas en la mayoría de los casos, los resultados de la presión plantar muestran un efecto particular para cada uno de los tipos de pie, que debería ser considerada durante la evaluación clínica de los deportistas[2,10].

Conclusiones

Los resultados muestran que la presión plantar es mayor en la región posterior del pie derecho e izquierdo en condiciones estáticas para los 4 tipos de pie. La diferencia de presión entre el antepié y el retropié fue mayor en los pies patológicos (pie plano, cavo extremo y pie cavo) que en el pie normal. Además, la presión plantar fue mayor en la parte anterior del pie en condiciones dinámicas en deportistas con pie cavo, lo que representaría un riesgo mayor de sufrir una lesión en los metatarsos. Aunque las diferencias de la presión plantar no fueron significativas en la mayoría de los casos, estas sí muestran variaciones particulares entre sí que podrían ayudar a comprender la biomecánica de la distribución de presión en sujetos con diferente tipo de pie.

Financiación

Secretaría de Innovación, Ciencia y Educación Superior, SICES Guanajuato. (0FJ061801-SICES/CONV/061/2018).

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

1. Viladot Voegeli A. Anatomía funcional y biomecánica del tobillo y el pie. Rev Española Reumatol. 2003;30:467–538.
2. Briggs PJ. The structure and function of the foot in relation to injury. Curr Orthop. 2005;19:85–93, http://dx.doi.org/10.1016/j.cuor.2004.12.007.
3. Camarena CA, Villegas WP. Desarrollo y biomecánica del arco plantar. Ortho-Tips. 2010;6:215–22.
4. Sánchez EV, de Loera CO, Cobar AE, Martín X. Biomecánica funcional del pie y tobillo: comprendiendo las lesiones en el deportista. Medigraphic. 2016;12:6–11.
5. Miguel-Andrés I, Rivera-Cisneros AE, Mayagoitia-Vázquez JJ, Orozco-Villaseñor SL, Rosas-Flores A. Flatfoot index and areas with the highest prevalence of musculoskeletal disorders in young athletes. Fisioterapia. 2020;42:17–23, http://dx.doi.org/10.1016/j.ft.2019.08.002.
6. Baumfeld D, Baumfeld T, da Rocha RL, Macedo B, Raduan F, Zambelli R, et al. Reliability of baropodometry on the evaluation of plantar load distribution: A transversal study. Biomed Res Int. 2017;2017:1–4, http://dx.doi.org/10.1155/2017/5925137.
7. Deepashini H, Omar B, Paungmali A, Amaramalar N, Ohnmar H, Leonard J. An insight into the plantar pressure distribution of the foot in clinical practice: Narrative review. Polish Ann Med. 2014;21:51–6, http://dx.doi.org/10.1016/j.poamed.2014.03.003.
8. Rai DV, Aggarwal LM. The study of plantar pressure distribution in normal and pathological foot. Pol J Med Phys Eng. 2006;12:25–34.
9. Said AM, Justine M, Manaf H. Plantar pressure distribution among older persons with different types of foot and its correlation with functional reach distance. Scientifica (Cairo). 2016;2016:1–7, http://dx.doi.org/10.1155/2016/8564020.
10. Hillstrom HJ, Song J, Kraszewski AP, Hafer JF, Mootanah R, Dufour AB, et al. Foot type biomechanics part 1: Structure and function of the asymptomatic foot. Gait Posture. 2013;37:445–51, http://dx.doi.org/10.1016/j.gaitpost.2012.09.007.
11. Desai SN, Grierson R, Manoli A. The cavus foot in athletes: Fundamentals of examination and treatment. Oper Tech Sports Med. 2010;18:27–33, http://dx.doi.org/10.1053/j.otsm.2009.10.002.
12. Kodithuwakku Arachchige SNK, Chander H, Knight A. Flat feet: Biomechanical implications, assessment and

management. Foot. 2019;38:81–5, http://dx.doi.org/10.1016/j.foot.2019.02.004.
13. Onodera AN, Sacco ICN, Morioka EH, Souza PS, Sá MR, de Amadio AC. What is the best method for child longitudinal plantar arch assessment and when does arch maturation occur? Foot. 2008;18:142–9, http://dx.doi.org/10.1016/j.foot.2008.03.003.
14. Padró ML, Moliné SM. Alteraciones de la bóveda plantar. Rev Española Reumatol. 2003;30:489–98.
15. Maynou C, Szymanski C, Thiounn A. The adult cavus foot. EFORT Open Rev. 2017;2:221–9, http://dx.doi.org/10.1302/2058-5241.2.160077.
16. Troiano G, Nante N, Citarelli GL. Pes planus and pes cavus in southern Italy: A 5 years study. Ann Ist Super Sanità. 2017;53:142–5, http://dx.doi.org/10.4415/ANN_17_02_10.
17. Ledoux WR, Shofer JB, Smith DG, Sullivan K, Hayes SG, Assal M, et al. Relationship between foot type, foot deformity, and ulcer occurrence in the high-risk diabetic foot. J Rehabil Res Dev. 2006;42:665–72, http://dx.doi.org/10.1682/jrrd.2004.11.0144.
18. Bacarin TA, Sacco ICN, Hennig EM. Plantar pressure distribution patterns during gait in diabetic neuropathy patients with a history of foot ulcers. Clinics. 2009;64:113–33, http://dx.doi.org/10.1590/s1807-59322009000200008.
19. Deschamps K, Matricali GA, Roosen P, Desloovere K, Bruyninckx H, Spaepen P, et al. Classification of forefoot plantar pressure distribution in persons with diabetes: A novel perspective for the mechanical management of diabetic foot? PLoS One. 2013;8:e79924, http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0079924.
20. Hessert MJ, Vyas M, Leach J, Hu K, Lipsitz LA, Novak V. Foot pressure distribution during walking in young and old adults. BMC Geriatr. 2005;5:1–8, http://dx.doi.org/10.1186/1471-2318-5-8.
21. Chuckpaiwong B, Nunley JA, Mall NA, Queen RM. The effect of foot type on in-shoe plantar pressure during walking and running. Gait Posture. 2008;28:405–11, http://dx.doi.org/10.1016/j.gaitpost.2008.01.012.
22. Sinclair C, Svantesson U, Sjöström R, Alricsson M. Differences in Pes planus and pes cavus subtalar eversion/inversion before and after prolonged running, using a two-dimensional digital analysis. J Exerc Rehabil. 2017;13:232–9, http://dx.doi.org/10.12965/jer.1734902.451.
23. Buldt AK, Levinger P, Murley GS, Menz HB, Nester CJ, Landorf KB. Foot posture and function have only minor effects on knee function during barefoot walking in healthy indiv. Clin Biomech. 2015;30:431–7, http://dx.doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2015.03.014.
24. Pichardo AE, Pérez Orive J, Chávez DD. Estudio de parámetros cinemáticos de la marcha normal en hombres adultos. Estandarización para la población mexicana. Rev Mex Ortop y Traumatol. 1998;12:377–9.
25. Chang CH, Chen YC, Yang WT, Ho PC, Hwang AW, Chen CH, et al. Flatfoot diagnosis by a unique bimodal distribution of footprint index in children. PLoS One. 2014;9:e115808, http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.8080115.
26. Babu KY, Ganesh K. Assessment of plantar arch index and prevalence of flat feet among south indian adolescent. J Pharm Sci Res. 2017;9:490–2.
27. Pita-Fernández S, González-Martín C, Seoane-Pillado T, López-Calviño B, Pértega-Díaz S, Gil-Guillén V. Validity of footprint analysis to determine flatfoot using clinical diagnosis as the gold standard in a random sample aged 40 years and older. J Epidemiol. 2015;25:148–54, http://dx.doi.org/10.2188/jea.JE20140082.
28. Pomarino D, Pomarino A. Plantar static pressure distribution in healthy individuals: Percentiles for the evaluation of forefoot loading. Foot Ankle Spec. 2014;7:293–7, http://dx.doi.org/10.1177/1938640014528973.
29. Syed N, Karvannan H, Maiya AG, Binukumar B, Prem V, Chakravarty RD. Plantar pressure distribution among asymptomatic individuals: A cross-sectional study. Foot Ankle Spec. 2012;5:102–6, http://dx.doi.org/10.1177/1938640011434503.
30. Dowling AM, Steele JR, Baur LA. What are the effects of obesity in children on plantar pressure distributions? Int J Obes. 2004;28:1514–9, http://dx.doi.org/10.1038/sj.ijo.7290802.