

Revisión de la literatura

Adaptaciones osteoarticulares de la bóveda plantar frente al pie plano y cavo.

Osteoarticular adaptations of the plantar arch in flatfoot and cavus foot.

María José Romero-Romero^{1,a}, José Manuel Rivera-Bermúdez^{1,a}, Estefanía Montoya-Cobo^{2,a}.

1. Estudiante de Medicina.
2. Fisioterapeuta, Magíster en Ciencias Biomédicas, Profesora Departamento de Ciencias Básicas de la Salud.

a. Pontificia Universidad Javeriana Cali (Colombia).

CORRESPONDENCIA

María José Romero Romero
ORCID ID <https://orcid.org/0009-0007-3074-0965>
Pontificia Universidad Javeriana Cali (Colombia).
E-mail: e5mromero1@javerianacali.edu.co

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores del artículo hacen constar que no existe, de manera directa o indirecta, ningún tipo de conflicto de intereses que pueda poner en peligro la validez de lo comunicado.

RECIBIDO: 03 de julio de 2024.
ACEPTADO: 12 de enero de 2026.

RESUMEN

Introducción: Las alteraciones del pie pueden ser hereditarias y no siempre son consideradas patológicas; sin embargo, la prevalencia del pie plano y cavo varía ampliamente en la población, afectando no solo la estructura y función, sino también la cinemática del miembro inferior y la columna vertebral, lo que causa dolor y limitaciones en la movilidad. **Objetivo:** Reconocer las adaptaciones osteoarticulares de la bóveda plantar en pie plano y cavo. **Materiales y métodos:** Se realizó una revisión bibliográfica en MEDLINE utilizando la ecuación de búsqueda: ((anatomy) AND (foot) AND (position) AND (biomechanics)). Se incluyeron 29 documentos científicos. **Resultados:** Las modificaciones del arco plantar generan una distribución anormal de fuerzas en el pie, con sobrecargas articulares y aumento del estrés en los tejidos blandos intrínsecos y extrínsecos, lo que promueve su debilidad. **Conclusiones:** La valoración del pie debe ser multidisciplinaria, incluyendo la estructura anatómica, la actividad deportiva, la estabilización de los tejidos y la sintomatología general para definir las necesidades de cada paciente.

Palabras clave: Anatomía, pie, bóveda plantar, pie plano, pie cavo, postura, biomecánica.

ABSTRACT

Introduction: Foot alterations can be hereditary and are not always considered pathological; however, the prevalence of flatfoot and cavus foot varies widely in the population, affecting not only the structure and function, but also the kinematics of the lower limb and the spine, which causes pain and mobility limitations. **Objective:** To recognize the osteoarticular adaptations of the plantar arch in flatfoot and cavus foot. **Materials and methods:** A literature review was conducted in MEDLINE using the search equation: ((anatomy) AND (foot) AND (position) AND (biomechanics)). A total of 29 scientific documents were included. **Results:** Modifications of the plantar arch generate an abnormal distribution of forces in the foot, with joint overloads and increased stress on the intrinsic and extrinsic soft tissues, which promotes their weakness. **Conclusions:** Foot assessment must be multidisciplinary, including anatomical structure, sports activity, tissue stabilization, and general symptoms to define the needs of each patient.

Key words: Anatomy, foot, plantar arch, flatfoot, cavus foot, posture, biomechanics.

Romero-Romero MJ, Rivera-Bermúdez JM, Montoya-Cobo E. Adaptaciones osteoarticulares de la bóveda plantar frente al pie plano y cavo. *Salutem Scientia Spiritus* 2026; 12(2):34-41.



La Revista *Salutem Scientia Spiritus* usa la licencia Creative Commons de Atribución - No comercial - Sin derivar:

Los textos de la revista son posibles de ser descargados en versión PDF siempre que sea reconocida la autoría y el texto no tenga modificaciones de ningún tipo.

INTRODUCCIÓN

El pie humano describe una importante estructura osteoarticular con funciones motoras para el equilibrio y la amortiguación, representadas por una compleja arquitectura de 28 huesos y 55 articulaciones que en conjunto conforman una bóveda con tres puntos de apoyo y tres arcos, de los cuales el arco medial es el único clínicamente visible.¹ Esta bóveda, situada en la parte inferior del pie, se compone de huesos, ligamentos, tendones y músculos, y asume el rol fundamental de soportar el peso corporal y amortiguar el impacto durante actividades como caminar o correr. Dos de las principales alteraciones que afectan esta estructura y que se presentan de manera frecuente en la población son el pie plano y el pie cavo.

El pie plano se caracteriza por el descenso del arco longitudinal medial, siendo fisiológico durante los primeros dos a tres años de vida; posteriormente, el desarrollo motor estimulará su ascenso durante el crecimiento, definiendo el arco medial de manera adecuada entre los seis y siete años de edad. Sin embargo, esta alteración puede persistir o desarrollarse en la edad adulta debido a diversas causas, que van desde anomalías congénitas hasta disfunciones neuromusculares. Esta condición, común en todas las edades, ha sido asociada con la degeneración de la columna vertebral² y actualmente se encuentra en aumento debido al sobrepeso y la obesidad.³ Por su parte, el término “pie cavo” se emplea para describir diversas formas de pie con arcos elevados, caracterizadas por un aumento del tono muscular que conlleva una inclinación en varo del retropié, un descenso inclinado del mediopié y aducción del antepié. Esta estructura se vincula con alteraciones en la mecánica funcional, siendo menos flexible y estable que un pie con arcos neutrales.⁴

Los estudios biomecánicos sobre el pie plano y el pie cavo concuerdan en que estas condiciones alteran la distribución de la presión plantar, así como la cinemática y la cinética del pie y el tobillo, lo que puede impactar la función del pie, la marcha y aumentar el riesgo de lesiones. Adicionalmente, la prevalencia de estas dos entidades clínicas puede ser significativa en diferentes grupos de edad, con implicaciones clínicas importantes como un mayor riesgo de dolor articular y limitaciones en la movilidad y la calidad de vida. Estos hallazgos subrayan la necesidad de una atención multidisciplinaria para evaluar y tratar estas condiciones, considerando tanto los aspectos estructurales como los funcionales del pie.⁵

Las alteraciones de los pies y de la marcha constituyen uno de los principales motivos de consulta en ortopedia pediátrica y, aunque en muchos casos su origen no es patológico y no requiere tratamiento, su valoración debe realizarse teniendo en cuenta el desarrollo fisiológico y el crecimiento para determinar la presencia de anomalías.⁶ La comprensión de estas alteraciones morfofuncio-

nales en el pie permite fortalecer tanto la atención clínica como la investigación en el área. Esto fomenta que los profesionales de la salud, como médicos y fisioterapeutas, no solo generen estrategias de prevención y educación en salud con miras a reducir las complicaciones, sino que también creen redes interdisciplinarias para la identificación, intervención y seguimiento adecuados. Además, impulsa avances en la biomecánica y la fisiopatología para la adaptación de espacios, calzado, actividades deportivas y el rediseño de ortesis para estos pacientes.

De acuerdo con lo anterior, el presente artículo tiene como objetivo reconocer las adaptaciones óseas y articulares de la bóveda plantar ante el pie plano y el pie cavo, identificando la cinética del pie bajo estas condiciones, para así no solo enriquecer la comprensión de los mecanismos biomecánicos subyacentes a estas patologías, sino también identificar las necesidades clínicas y científicas del tema.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una revisión de la literatura científica sobre las adaptaciones del sistema osteoarticular en el pie plano y el pie cavo; para ello, se llevó a cabo una búsqueda avanzada en PubMed con la siguiente ecuación de búsqueda: *(((anatomy) AND (foot)) AND (position)) AND (biomechanics)*. Esta búsqueda alcanzó 298 resultados, a los cuales se les aplicaron filtros manuales de texto completo en idioma inglés y/o español, eliminando 229 artículos que no cumplían con estas condiciones. De los 69 artículos restantes, se excluyeron 40 debido a que no aportaban al objetivo de la revisión; finalmente, 29 artículos fueron incluidos.

RESULTADOS

Las estructuras osteoarticulares del pie trabajan en conjunto para formar la bóveda plantar, la cual es esencial para la absorción de impactos y la eficiencia durante la marcha. Esta estructura ósea está reforzada por ligamentos, aponeurosis y músculos cortos que facilitan su acción mecánica, basándose en arcos longitudinales y transversales que mantienen la posición fisiológica del pie. Durante la bipedestación, la carga axial obliga a los arcos a descender, llevando el antepié hacia la abducción en un movimiento de pronación del tarso y el retropié en valgo del calcáneo; es allí donde las estructuras fibroelásticas, como la cápsula y los ligamentos, contrarrestan las fuerzas gravitacionales. Si la resistencia de estas es superada, la musculatura actúa estabilizando de manera activa para mantener la configuración de la bóveda.⁷ La función de estos arcos se ve afectada en condiciones como el pie plano y el pie cavo, lo que resulta en una serie de adaptaciones osteoarticulares.

El pie plano se caracteriza por la reducción o ausencia del arco plantar, acompañado de cambios en la alineación ósea y un incremento en la tensión de ligamentos y tendones, lo cual puede

afectar la biomecánica del tobillo. Existen diversas causas de pie plano que varían según la edad y otras condiciones de salud; en el caso de los niños, puede formar parte del desarrollo fisiológico natural, presentando variantes sintomáticas y asintomáticas, flexibles o rígidas.⁵

Esta condición se clasifica en dos tipos: congénito y adquirido. El pie plano congénito puede presentarse de manera flexible o rígida, siendo esta última variante el resultado de diversas anomalías óseas como el navicular accesorio, el astrágalo vertical y las coaliciones tarsianas (uniones anómalas). La coalición tarsiana, especialmente prevalente en niños y adolescentes, puede manifestarse con dolor crónico, rigidez y deformidades en el pie que a menudo son subestimadas en adultos. Por otro lado, las coaliciones talonavicular y calcaneocuboidea son menos frecuentes y rara vez causan pie plano, mientras que la coalición múltiple puede estar asociada con síndromes que presentan malformaciones óseas adicionales.²

El pie plano adquirido puede desarrollarse como resultado de una variedad de condiciones, tales como hiperlaxitud articular, lesiones tendinosas, enfermedades reumáticas crónicas, artropatía neuropática o traumatismos, pudiendo manifestarse en formas flexibles o rígidas. En los casos de pie plano flexible, el arco plantar colapsa únicamente durante la postura bípeda y recupera su morfología al retirar la carga axial, siendo generado por un aumento de la flexibilidad articular; sin embargo, sin un tratamiento adecuado, puede progresar hacia un pie plano rígido y espástico debido a la contractura de la musculatura peronea. La disfunción del tendón del músculo tibial posterior (TTP) emerge como una causa significativa y a menudo subestimada de dolor en el pie, especialmente en las regiones medial y posterior, siendo más prevalente en adultos.⁸ Ubicado en la región retromaleolar medial, el TTP es vital para la estabilidad del retropié y la integridad del arco longitudinal plantar. Las lesiones de este tendón pueden surgir debido a tenosinovitis, rotura parcial o total, o desgarro de su inserción en el hueso navicular, comúnmente como resultado de microtraumatismos repetitivos.²

En el pie cavo se presentan arcos plantares excesivamente elevados, lo que genera una distribución desigual de las cargas y aumenta el riesgo de desarrollar metatarsalgia, deformidades en los dedos y otras complicaciones. En esta afección, la evaluación mediante pruebas de imagen resulta útil para determinar la gravedad y las estructuras específicas comprometidas.² La comprensión de esta variedad de etiologías y presentaciones clínicas resalta la complejidad de la patología y subraya la importancia de un enfoque multidisciplinario para su evaluación y tratamiento, considerando también los factores externos.⁵

Una deformidad en el pie suele generar cambios en tres componentes: compensaciones en el retropié, rigidez o bloqueos en el

mediopié y reducción de las fases flexibles del antepié, disminuyendo así la capacidad de absorción de impactos.⁹ Mengiardi *et al* (2016) realizaron un estudio para evaluar biomecánica y clínicamente a individuos con pie plano y pie cavo, encontrando diferencias significativas en la adaptación del aparato capsuloligamentoso del arco plantar entre ambos grupos. Mediante el uso de baropodometría dinámica (plantillas de presión) y análisis de video de alta velocidad, identificaron que las personas con pie plano presentan una distribución más uniforme de la presión a lo largo de la planta, pero con valores significativamente mayores en el talón y el mediopié. Por el contrario, los pacientes con pie cavo mostraron una concentración de la presión en el talón y las regiones metatarsianas, lo que traduce un área de contacto más reducida durante la marcha. Clínicamente, el análisis reveló que los participantes con pie plano tendían a mostrar un índice de Chippaux-Smirak más elevado —herramienta para evaluar la morfología plantar a partir de la relación entre el ancho del mediopié y del metatarso mediante la huella plantar—, lo cual indica una mayor gravedad de la deformidad.⁸ Por otro lado, aquellos con pie cavo exhibieron valores más altos en el índice de Staheli, lo que confirma la elevación excesiva del arco plantar a través de la relación entre el ancho del mediopié y del talón. Estos hallazgos evidencian que tanto el pie plano como el pie cavo alteran significativamente la biomecánica, afectando la distribución de la presión plantar, así como la cinemática del pie y del tobillo durante la marcha.^{10,11} Al comparar las propiedades biomecánicas entre ambos grupos, se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la abducción del antepié y el desplazamiento del mediopié, las cuales fueron más pronunciadas en los individuos con pie plano.

Estas variantes en la alineación de los componentes funcionales (antepié, mediopié y retropié) generan cambios en la presión articular y en la tensión de los tejidos blandos. Así lo demostraron los hallazgos de Angin *et al* (2014) mediante ultrasonografía comparativa entre pacientes con pie plano y pie cavo, al evidenciar que los pies planos se caracterizaban por presentar un área de sección transversal significativamente menor en su musculatura intrínseca y en algunos músculos extrínsecos, como el abductor del hallux, el flexor corto del hallux y los peroneos largo y corto; mientras que músculos como el flexor largo de los dedos y el flexor largo del hallux mostraron valores mayores. Esto respalda la hipótesis de que estos músculos largos de la pierna podrían compensar la función del arco longitudinal medial para contrarrestar los efectos gravitacionales en el pie plano. Respecto a la fascia plantar, observaron que su grosor era menor en las regiones anterior y media, reduciendo el área de soporte y generando variaciones en la morfología y fisiología articular del pie.¹²

Kobayashi *et al* (2024) respaldaron en mayor medida el papel de la musculatura intrínseca en el soporte del arco plantar. En su estudio, destacaron las propiedades morfológicas y mecánicas

de los músculos intrínsecos y extrínsecos en pacientes con pie plano sometidos a cargas progresivas, demostrando que el área de sección transversal del músculo peroneo corto era mayor en todos los pacientes con esta condición bajo carga; mientras que músculos intrínsecos como el abductor del hallux, el flexor corto de los dedos y el cuadrado plantar —así como el grosor de la fascia plantar— disminuyeron drásticamente a medida que se incrementaba la carga. Asimismo, se identificó un aumento en la rigidez del músculo flexor largo de los dedos y del abductor del hallux ante cargas elevadas; sin embargo, esta rigidez y el espesor de la fascia plantar fueron menores en pacientes con pie plano flexible, lo que refuerza la necesidad de estructurar intervenciones orientadas al fortalecimiento de la musculatura intrínseca, especialmente en aquellos con mayor hiperlaxitud de los arcos plantares.¹³

En un estudio realizado por Anderson y Pandey (2003) basado en el análisis electromiográfico de la función muscular durante el ciclo de la marcha, se determinó que entre el 50% y el 95% de la fuerza de reacción necesaria para contrarrestar la gravedad es generada por los músculos y ligamentos (quienes contribuyen de forma activa al soporte y la propulsión), mientras que entre el 20% y el 50 % de la transmisión pasiva de fuerzas se realiza a través de las estructuras articulares y óseas.¹⁴ Con respecto a la función global del pie y la marcha, los resultados sugieren que los cambios biomecánicos asociados tanto con el pie plano como con el pie cavo pueden comprometer la estabilidad y la eficiencia energética de la marcha. Este aspecto es fundamental para comprender cómo estas afecciones incrementan el riesgo de caídas y lesiones, alterando la calidad de vida de los pacientes. González-Martín *et al* (2017) y Buldt *et al* (2013) enfatizaron la importancia de evaluar la postura y la función del pie para prevenir las complicaciones asociadas con estas deformidades.^{5,15}

La biomecánica del pie plano se ve alterada principalmente por el colapso del arco longitudinal medial durante la marcha. En condiciones fisiológicas, la musculatura y las estructuras tendinosas —incluidos el tríceps sural y el tendón del músculo tibial posterior— actúan en sinergia para sostener la arquitectura plantar y brindar estabilidad durante la fase de apoyo. Sin embargo, en el pie plano, la pérdida de altura del arco resulta en una distribución anómala de las cargas a lo largo de la planta, desencadenando una serie de alteraciones biomecánicas como la abducción del antepié, el desplazamiento medial del mediopié y el aumento del estrés mecánico sobre los tejidos blandos y las superficies articulares.⁵

En un estudio poblacional (2017) que abarcó a 1002 individuos (edad promedio de 62,3 años, con un rango de 41 a 96 años), se identificó que la prevalencia de comorbilidades y el índice de masa corporal (IMC) aumentaban progresivamente con la edad. Asimismo, la prevalencia de la obesidad se elevó notablemente en el grupo de 65 años o más, alcanzando un 45,9% y superando

de manera significativa al grupo de 40 a 64 años. Por el contrario, la prevalencia de pie cavo disminuyó de forma significativa con el avance de la edad.⁵

Se ha buscado examinar la asociación entre la altura del arco plantar y la presencia de dolor u osteoartritis de rodilla en 3782 adultos. Para ello, se ha utilizado el índice de Staheli con el fin de clasificar la altura del arco, un cuestionario validado para evaluar la gonalgia y resonancia magnética para cuantificar el daño estructural articular. Se ha observado que, en adultos mayores de 50 años, la presencia de pie plano se asociaba de forma moderada con una mayor prevalencia de dolor frecuente de rodilla y con daño en el cartílago del compartimento medial de la articulación femorotibial. Adicionalmente, como parte del *Framingham Foot Study*, se investigó el dolor articular en el miembro inferior y su relación con la alineación y función del pie. Los resultados mostraron que los participantes con pie plano experimentaban dolor en la rodilla o el tobillo con mayor frecuencia que aquellos con una alineación neutral, mientras que los individuos con pie cavo presentaban una mayor prevalencia de dolor localizado en el tobillo. En cuanto a la función evaluada, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas.¹⁶

Tanto el pie cavo como el pie plano pueden generar un impacto sustancial en la calidad de vida. Las alteraciones posturales y del control postural subyacentes incrementan el riesgo de caídas y lesiones, lo que compromete la movilidad y la seguridad del paciente. Estas condiciones suelen provocar dolor y malestar, de manera más acentuada durante la actividad física o tras períodos prolongados en bipedestación, restringiendo la participación en las actividades de la vida diaria y reduciendo la capacidad para mantener un estilo de vida activo. Asimismo, las deformidades estructurales en los pies pueden alterar la funcionalidad global, dificultando patrones como la marcha, la carrera y la práctica deportiva, limitando con ello la independencia funcional.

DISCUSIÓN

Un pie en condiciones anatómicas y biomecánicas normales tiene en cuenta el ángulo de Moreau-Costa-Bartani, el cual mide el vértice formado por la línea que conecta el punto más bajo del calcáneo y del astrágalo con el punto más bajo de la cabeza del primer metatarsiano. Este valor debe encontrarse entre 120° y 130° para considerarse dentro de los límites normales. También se evalúa el ángulo de Kite, que mide el espacio entre la dirección de la cabeza del astrágalo y el borde lateral del calcáneo, cuyo valor debe oscilar entre 15° y 20°. Hay que considerar que el tipo de pie y sus variaciones biomecánicas están estrechamente asociados con alteraciones posturales; sin embargo, algunas desviaciones de estos ángulos no son consideradas patológicas.¹⁷ Estudios detallados sobre las adaptaciones de los ligamentos osteoarticulares en el arco plantar frente al pie plano y al pie

cavo han revelado múltiples complejidades en la biomecánica podal, cuyo conocimiento es fundamental para el desarrollo de estrategias terapéuticas eficaces e individualizadas.

El pie plano o sobrepronado se caracteriza por el descenso del arco plantar medial, acompañado de cambios osteoarticulares como la rotación medial y la flexión plantar del astrágalo, la eversion del calcáneo y la abducción del antepié. Todas estas características están asociadas con una variedad de etiologías, tanto internas como externas. Dentro de las causas internas destacan las coaliciones tarsianas y la disfunción del tendón del músculo tibial posterior, el cual desempeña un papel determinante en el soporte y mantenimiento del arco medial. Asimismo, influyen el grosor de la fascia plantar y el efecto del tendón calcáneo sobre esta aponeurosis para el soporte, amortiguación, propulsión y distribución de la tensión fascial,¹⁸ así como la debilidad y la menor área de sección transversal de los demás músculos extrínsecos del pie.¹² Entre las causas externas se han identificado comorbilidades asociadas, la edad, la historia familiar, el uso temprano de calzado en niños y la obesidad.¹⁹ Además, el pie plano se asocia con la presencia de dolor y fatiga en mujeres²⁰ y con la longitud o talla del pie.²¹ La interrelación de estos factores internos y externos en una población genera una amplia variabilidad en la prevalencia, la cual se modifica constantemente y oscila entre el 19% y el 37%.^{22,23}

El embarazo forma parte de estos factores externos, condición en la que se ha reportado una disminución en la altura del arco plantar, sumada a una mayor rigidez del mismo y a una elongación del pie, asociadas con los cambios endocrinos que generan laxitud en los ligamentos que sostienen la arquitectura de la bóveda plantar. Estos cambios, que suelen persistir durante el posparto, aumentan el riesgo de desarrollar trastornos musculoesqueléticos posteriores en esta población, al alterar los puntos de apoyo, mantener una presión constante sobre el antepié y el mediopié, y generar un mayor balanceo anteroposterior.^{24,25}

Los hallazgos de Mengiardi *et al* (2016) son particularmente relevantes, ya que resaltan la importancia del complejo ligamentoso como un resorte clave para la integridad estructural del arco plantar y, con ello, para el soporte y la estabilidad corporal.⁸ Esta información no solo proporciona datos valiosos sobre los mecanismos subyacentes que contribuyen a la patología del pie plano, sino que también es fundamental para lograr un diagnóstico preciso y diseñar intervenciones terapéuticas específicas orientadas a disminuir las alteraciones degenerativas en la columna, tales como espondilosis, trastornos del disco intervertebral, estenosis cervical y estenosis toracolumbosacra; afecciones que presentan un mayor riesgo en hombres mayores de 45 años con antecedente de pie plano.¹¹

La elevación anómala de la bóveda plantar y los cambios específicos en la biomecánica del pie cavo plantean desafíos diagnósticos

y terapéuticos particulares, especialmente debido a su etiología difusa, la cual se ha relacionado principalmente con condiciones neurológicas como la parálisis cerebral, la enfermedad de Charcot-Marie-Tooth, la neuropatía hereditaria sensitivomotora y la ataxia de Friedreich, entre otras. Aun así, esta condición podal también se ha reportado en deportistas y bailarinas por una acción hipertónica de la musculatura extrínseca, lo cual puede llegar a ser relativamente común;²⁶ en estos casos, se ha asociado a antecedentes familiares con deformidades más leves o incluso a antecedentes traumáticos con lesión del nervio peroneo común.²⁷ La prevalencia del pie cavo tiende a aumentar con la edad, mostrando asimismo una alta variación en los reportes poblacionales. En niños de cinco a seis años se han identificado frecuencias menores al 2%, mientras que entre los seis y 12 años los reportes oscilan entre el 11,6% y el 35%, siendo más prevalente en niñas.²⁸⁻³⁰

Pita-Fernández *et al.* consideraron que el pie plano es una condición altamente variable entre individuos debido a factores intrínsecos como la anatomía; sin embargo, su progresión se ve fuertemente influenciada por las fuerzas mecánicas ejercidas durante condiciones dinámicas como la práctica deportiva.³¹ Asimismo, consideraron que la distribución de la presión plantar en posición estática se caracteriza por un control dinámico y estático que varía entre individuos, pudiéndose generar mayor presión en el retropié, presiones similares entre el antepié y el retropié, o un predominio de presión en el antepié. Esto respalda las investigaciones de Kobayashi *et al* y Angin *et al* sobre el rol dinámico de la musculatura en el mantenimiento y soporte de la bóveda plantar.^{12,13} Por otra parte, se ha documentado cómo el arco plantar disminuye y los centros de presión mediolaterales se modifican tras jornadas laborales en bipedestación o tras mantener posturas prolongadas, lo cual exacerba las molestias en la región lumbar y en los miembros inferiores. Estos cambios reflejan una posible fatiga a corto plazo o ajustes posturales compensatorios, incluso en personas aparentemente sanas, lo que plantea la necesidad de implementar estrategias ergonómicas y de rehabilitación.³²

Krähenbühl y Weinberg (2019) mencionaron que las adaptaciones plantares en estas deformidades incluyen un mayor tono muscular y una tendencia a la inclinación medial de las extremidades, aspectos que requieren enfoques diagnósticos y terapéuticos cuidadosos mediante intervenciones específicas e individualizadas que consideren las características biomecánicas únicas de cada paciente y la técnica diagnóstica empleada.⁵ El diagnóstico del pie plano se realiza habitualmente mediante la relación de tres mediciones obtenidas por podografía: el ángulo de Clarke, el índice de Chippaux-Smirak y el índice de Staheli, los cuales han sido validados tomando a la población pediátrica como grupo de referencia.³¹ Adicionalmente, autores como Deepashini *et al* (2014) han demostrado que la evaluación de las presiones plantares es útil como recurso diagnóstico y preventivo ante lesiones de mayor gravedad, tales como esguinces, fascitis plantar o sobre-

cargas articulares en la articulación subastragalina.³³ Asimismo, se refuerza la recomendación de prescribir actividad física y ejercicio terapéutico para mejorar parámetros fundamentales como la resistencia, la fuerza muscular y la flexibilidad en las estructuras osteoartroligamentosas de la bóveda plantar, favoreciendo con ello el control postural.³⁴

La interacción entre la biomecánica del pie plano, el pie cavo y sus efectos sobre la función global del pie y la marcha constituye un área de investigación de gran relevancia. Los estudios realizados en este campo han demostrado que ambas condiciones provocan modificaciones significativas en la distribución de la presión plantar; del mismo modo, las alteraciones en la cinética y la cinemática del pie y del tobillo actúan como factores determinantes. Estos cambios no solo incrementan el riesgo de lesiones al alterar el patrón de contacto del pie con el suelo durante la marcha, sino que también pueden reducir la funcionalidad global del pie y comprometer la estabilidad y la eficiencia energética del movimiento.⁸ Además, los cambios biomecánicos asociados con estas alteraciones pueden influir en la aparición de dolor en regiones más proximales como las rodillas, las caderas y la zona lumbar³⁵ —asociándose esta última también con cambios degenerativos—, lo que termina por limitar las actividades de la vida diaria.⁹

Esta compleja interacción resalta la importancia de abordar estas condiciones desde una perspectiva integral, priorizando el diagnóstico precoz y el desarrollo de intervenciones terapéuticas individualizadas que consideren no solo las alteraciones biomecánicas específicas del pie, sino también sus repercusiones sobre todo el sistema musculoesquelético. En este sentido, Sharath *et al* (2024) resaltaron la importancia de incorporar protocolos de rehabilitación que combinen ejercicio terapéutico, terapia manual, entrenamiento de la marcha y manejo ortésico adaptado a las necesidades de cada paciente. Esta combinación busca optimizar los patrones de marcha, reducir la intensidad del dolor, incrementar el rango de movimiento articular y mejorar la capacidad funcional en pies que presentan debilidad o deformidad estructurada.³⁶

CONCLUSIÓN

La comprensión de las adaptaciones osteoarticulares en las alteraciones morfofuncionales del pie es fundamental para optimizar las estrategias terapéuticas actuales y desarrollar intervenciones más efectivas. Esta revisión reúne evidencia relevante que enriquece el conocimiento sobre las complejidades biomecánicas y estructurales asociadas con estas patologías podales. No obstante, es necesario reconocer las limitaciones inherentes al diseño metodológico de muchos de los estudios analizados, los cuales, si bien son útiles para identificar asociaciones y tendencias en momentos específicos, no permiten establecer relaciones de causalidad ni evaluar la evolución temporal de las variables. En conclusión, se destaca la complejidad de las modificaciones asociadas con el pie

plano y el pie cavo, evidenciando que no solo afectan la arquitectura intrínseca del pie, sino que también resultan determinantes para la biomecánica de la marcha, la distribución de cargas y el impacto articular en regiones a distancia como las rodillas y la columna lumbar. Asimismo, es relevante resaltar el papel de la musculatura de la pierna y del pie en la modulación de estas condiciones, especialmente en la etapa infantil, donde los arcos plantares aún no se han estructurado por completo y el estímulo neuromuscular puede favorecer el desarrollo fisiológico del pie.

Por todo ello, el manejo de estas alteraciones requiere un enfoque multidisciplinario para su evaluación, diagnóstico temprano y tratamiento oportuno, involucrando a cirujanos ortopédicos, fisioterapeutas y podólogos para garantizar una atención integral y personalizada.

RECOMENDACIONES

Para el diagnóstico y la evaluación precisa de estas condiciones, se recomienda el empleo de técnicas de imagen como la radiografía convencional, la resonancia magnética y la ecografía musculoesquelética, las cuales permiten identificar y cuantificar las modificaciones estructurales a nivel óseo, articular y de tejidos blandos. La detección temprana de estas variaciones facilita la implementación de estrategias de manejo dirigidas a minimizar las complicaciones asociadas, optimizar la función biomecánica del pie y mejorar la calidad de vida de los pacientes según sus necesidades individuales.

Respecto al abordaje terapéutico, se deben priorizar estrategias conservadoras como el uso de órtesis plantares individualizadas, programas de fortalecimiento muscular y protocolos de rehabilitación funcional. Estas intervenciones están orientadas a restablecer la biomecánica del pie, reducir la sintomatología dolorosa y prevenir la progresión de las deformidades. En casos severos o refractarios al tratamiento conservador, se deberá valorar la necesidad de alternativas quirúrgicas.

Finalmente, se subraya la importancia de continuar investigando en este campo mediante estudios longitudinales y de mayor rigor metodológico, que permitan profundizar en los mecanismos biomecánicos subyacentes y evaluar la efectividad de las distintas modalidades terapéuticas. Esto contribuirá a perfeccionar el manejo clínico y a favorecer la funcionalidad de los pacientes, examinando no solo los cambios estructurales locales, sino también sus implicaciones funcionales en las actividades cotidianas.

DECLARACIÓN DE USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL GENERATIVA (IGA)

Los autores declaran que utilizaron ChatGPT-5.6 Luna (versión gratuita) desarrollado por OpenAI durante el proceso de elabora-

ción del manuscrito en lo que corresponde a la edición, redacción y síntesis de texto. La herramienta no fue utilizada para sustituir el juicio y la postura crítica de los autores. Todo el contenido desarrollado con asistencia de IAG fue revisado, verificado y editado por los autores, quienes asumen la responsabilidad integral por la exactitud, integridad y contenido final del manuscrito.

REFERENCIAS

- Camarena CA, Villegas WP. Desarrollo y biomecánica del arco plantar. <https://www.medigraphic.com/pdfs/orthotips/ot-2010/ot104c.pdf>
- Larrosa-Padró M, Mas-Moliné S. Alteraciones de la bóveda plantar. *Revista Española de Reumatología*. 2003; 30(9):489-498.
- Miguel-Andrés I, Rivera-Cisneros AE, Mayagoitia-Vázquez JJ, Orozco-Villaseñor SL, Rosas-Flores A. Índice de pie plano y zonas de mayor prevalencia de alteraciones músculo-esqueléticas en jóvenes deportistas. *Fisioterapia*. 2020; 42(1):17-23 DOI: 10.1016/j.ft.2019.08.002.
- Aminian A, Sangeorzan BJ. The anatomy of cavus foot deformity. *Foot Ankle Clin*. 2008; 13(2):191-8. DOI: 10.1016/j.fcl.2008.01.004.
- Gonzalez-Martin C, Pita-Fernandez S, Seoane-Pillado T, Lopez-Calviño B, Pertega-Diaz S, Gil-Guillen V. Variability between Clarke's angle and Chippaux-Smirak index for the diagnosis of flat feet [Internet]. *Org.br*. [citado el 24 de febrero de 2024]. Disponible en: <https://www.bioline.org.br/pdf?rc17009>
- Martínez, Gino. Deformidades de los pies en niños. *Revista Médica Clínica Las Condes*. 2021; 32(3):336-343 DOI: 10.1016/j.rmcl.2021.01.007
- Viladot-Voegeli, A. Anatomía funcional y biomecánica del tobillo y el pie. *Revista Española de Reumatología*. 2003;30(9): 469-477.
- Mengiardi B, Pinto C, Zanetti M. Spring Ligament Complex and Posterior Tibial Tendon: MR Anatomy and Findings in Acquired Adult Flatfoot Deformity. *Semin Musculoskelet Radiol*. 2016; 20(1):104-115. DOI: 10.1055/s-0036-1580616
- Krähenbühl N, Weinberg MW. Anatomy and Biomechanics of Cavovarus Deformity. *Foot Ankle Clin*. 2019; 24(2):173-181. DOI: 10.1016/j.fcl.2019.02.001
- Chou, Jing-Yang Huang, Yao-Min Hung, Wu-Tsun Perng, Renin Chang, James Cheng-Chung Wei. Flat foot and spinal degeneration: Evidence from nationwide population-based cohort study. *Journal of the Formosan Medical Association*. 2021; 120(10): 1897-1906. DOI: 10.1016/j.jfma.2020.12.019."
- Bednarczyk E, Sikora S, Kossobudzka-Górska A, Jankowski K, Hernandez-Rodriguez Y. Comprensión del pie plano: un análisis en profundidad de las soluciones ortopédicas. *Revista de informes ortopédicos* 2024; 3:100250. DOI: 10.1016/j.jorep.2023.100250.
- Angin S, Crofts G, Mickle KJ, Nester CJ. Ultrasound evaluation of foot muscles and plantar fascia in pes planus. *Gait Posture*. 2014; 40(1):48-52. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2014.02.008.
- Kobayashi T, Hirota K, Otsuki R, Onodera J, Kodesho T, Taniguchi K. Morphological and mechanical characteristics of the intrinsic and extrinsic foot muscles under loading in individuals with flat feet. *Gait Posture*. 2024; 108:15-21.
- Anderson FC, Pandy MG. Individual muscle contributions to support in normal walking. *Gait Posture*. 2003; 17(2):159-169. DOI: 10.1016/s0966-6362(02)00073-5
- Buldt AK, Murley GS, Butterworth P, Levinger P, Menz HB, Landorf KB. The relationship between foot posture and lower limb kinematics during walking: A systematic review. *Gait Posture*. 2013; 38(3):363-372. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2013.01.010
- García. GB. Impacto de la altura del arco del pie en la calidad de vida en adultos [Internet]. *Udc.es*. [citado el 5 de marzo de 2024]. Disponible en: https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/22761/BarrosGarcia_Gonzalo_TD_2018.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- 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(3): 445-451. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2012.09.007.
- Bordoni B, Varacallo M. Anatomía, pelvis ósea y miembro inferior, músculo gastrocnemio. [Actualizado el 17 de abril de 2023]. En: *StatPearls* [Internet]. Isla del Tesoro (FL): StatPearls Publishing; 2024 enero-. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK532946/>
- Abolarin TO, Aiyegbusi AI, Tella BA, Akinbo SR. Relación entre variables antropométricas seleccionadas y la prevalencia de pie plano entre niños de escuelas urbanas y rurales en el suroeste de Nigeria. *Nig QJ Hosp Med*. 2011; 21 (2):135-140
- Otsuka R, Yatsuya H, Miura Y, Murata C, Tamakoshi K, Oshiro K, et al. Asociación del pie plano con el dolor, la fatiga y la obesidad en japoneses mayores de sesenta años. *Nihon Koshu Eisei Zasshi*. 2003; 50(10):988-998.
- Chen JP, Chung MJ, Wang MJ. Prevalencia del pie plano y dimensiones del pie en niños de 5 a 13 años en Taiwán. *Pie Tobillo Int*. 2009; 30(4):326-332.
- Munro BJ, Steele JR. Concientización sobre el cuidado de los pies. Una encuesta de personas de 65 años y más. *J Am Podiatr Med Assoc*. 1998; 88(5):242-248.
- Lauterbach S, Kostev K, Becker R. Características de los pacientes diabéticos que visitan un consultorio de podología en Alemania. *J Cuidado de heridas*. 2010; 19(4):140.
- Segal, Neil A. Boyer, Elizabeth R. Teran-Yengle, Patricia. Glass, Natalie A. Hillstrom, Howard J. Yack, H. John. Pregnancy Leads to Lasting Changes in Foot Structure. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*. 2013; 92(3):232-240. DOI: 10.1097/PHM.0b013e31827443a9
- Alcahuz-Griñan M., Nieto-Gil P., Perez-Soriano P., Gijon-Nogueron G. Alterações morfológicas e posturais no pé durante a gravidez e puerpério: Um estudo longitudinal. *J. Int. Pesqui. Ambiente. E Saúde Pública*. 2021; 18:2423.
- Orozco-Villaseñor SL, Mayagoitia-Vázquez JJ, Miguel-Andrés I, De la Cruz-Alvarado KD, Villanueva-Salas R. Factores de riesgo

- asociados a patologías musculoesqueléticas en deportistas con pie cavo anterior a través de estudios de baropodometría. *Acta Ortop Mex.* 2021; 35(4):317-321.
27. Riera Campillo M. El pie normal y su patología. *Pediatr Integral.* 2019; 23(4): 203-211 Disponible en: https://www.pediatriaintegral.es/wp-content/uploads/2019/xxiii04/04/n4-203-211_ManoliRiera.pdf
 28. Espinoza-Navarro O, Olivares-Urquieta M, Palacios Navarrete P, Robles Flores N. Prevalencia de anomalías de pie en niños de enseñanza básica de entre 6 a 12 años, de colegios de la ciudad de Arica-Chile. *Int J Morphol.* 2013; 31(1):162-168. DOI: 10.4067/s0717-95022013000100027
 29. Cala-Pérez L, Losa-Iglesias ME. Prevalencia de alteraciones musculoesqueléticas en el pie infantil: estudio preliminar. *Rev Int Ciencias Podol.* 2015; 9(1):1-16. DOI: 10.5209/rev_RICP.2015.v9.n1.47312.
 30. Nikolaidou ME, Boudolos KD. A footprint-based approach for the rational classification of foot types in young schoolchildren. *Foot.* 2006; 16(2):82-90. DOI: 10.1016/j.foot.2006.02.001.
 31. Pita-Fernandez S, Gonzalez-Martin C, Alonso-Tajes F, Seoane-Pillado T, Pertega-Diaz S, Perez-Garcia S, Seijo-Bestilleiro R, Balboa-Barreiro V. Flat Foot in a Random Population and its Impact on Quality of Life and Functionality. *J Clin Diagn Res.* 2017; 11(4):22-27. DOI: 10.7860/JCDR/2017/24362.9697.
 32. Almenar-Arasanz AJ, Alfaro-Santafé J, Gómez-Bernal A, Pérez-Lasierra JL, Lacárcel-Tejero B, Villalba-Ruete JA, Cimarras-Otal C, Rabal-Pelay J, Bataller-Cervero AV. Adaptaciones a corto plazo del pie y de la postura durante una jornada laboral industrial: una evaluación biomecánica basada en el lugar de trabajo. *J Funct Morphol Kinesiol.* 2025; 10(4):476. DOI: 10.3390/jfmk10040476.
 33. 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. *Pol Ann Med.* 2014; 21(1):51-56. DOI: 10.1016/j.poamed.2014.03.003.
 34. Santos-Rocha R. Guia da Gravidez Ativa—Atividade Física, Exercício, Desporto e Saúde na Gravidez e Pós-Parto. Escuela Superior de Deporte de Río Mayor; Rio Maior, Portugal: 2020.
 35. Sadler S, Spink M, Cassidy S, Chuter V. Prefabricated foot orthoses compared to a placebo intervention for the treatment of chronic nonspecific low back pain: a study protocol for a randomised controlled trial. *J Foot Ankle Res.* 2018; 11:56. DOI: 10.1186/s13047-018-0299-5
 36. Sharath HV, Rathi SG, policía de Kolhe. El efecto del protocolo de rehabilitación del pie en adultos con deformidad congénita del pie: una serie de casos analíticos. *Cureus.* 2024; 16(4):e59102. DOI: 10.7759/cureus.59102.