



**Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud
Carrera de Kinesiología y Fisiatría**

**Año 2024
Trabajo Final de Carrera (Tesis)**

**Alteraciones biomecánicas y funcionales
del pie plano en niños de 5 a 15 años**

**Biomechanical and functional alterations of
flat feet in children aged 5 to 15 years**

Alumno:

Tamara Belén Jaime
tamarabelen.jaime@alumnos.uai.edu.com
Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud
Universidad Abierta Interamericana

Tutor:

Fernando Ezequiel García
f2r30@yahoo.com.ar
Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud
Universidad Abierta Interamericana

Agradecimientos:

Le agradezco profundamente a mis padres y mi hermano, por acompañarme desde el primer día que comencé esta hermosa carrera y nunca dudar de mis capacidades.

A mis amigas por su apoyo incondicional y por incentivarme a seguir esforzándome para cumplir mis objetivos.

Quiero dar las gracias a mi tutor y a los profesores que me acompañaron a lo largo de estos años de formación tanto profesional como personal. Un especial agradecimiento a mi todos mis compañeros de la facultad por formar parte de esta etapa y estar presentes cuando los necesite, por su motivación y calidad humana que me permitió a disfrutar el proceso.

Alteraciones biomecánicas y funcionales del pie plano en niños de 5 a 15 años

Biomechanical and functional alterations of flat feet in children aged 5 to 15 years

Autores: Jaime T, García F.

Resumen

Introducción: El pie plano es una deformidad tridimensional común en niños y adolescentes, que se caracteriza por un ALM bajo, valgo del retropié, y abducción y supinación del antepié. El ALM aumenta gradualmente su altura durante la primera década de vida en los niños con desarrollo típico, debido a la maduración ósea y el crecimiento de la musculatura intrínseca; hasta entonces el pie plano es una postura esperada del pie. El objetivo general de este estudio es describir las alteraciones biomecánicas y funcionales que genera el pie plano en niños de 5 a 15 años. **Material y métodos:** Revisión bibliográfica basada en la búsqueda de artículos científicos limitados a una población de entre 5 y 10 años, que presenten pie plano flexible. **Resultados:** Los artículos obtenidos aplican algún método evaluativo sobre esta población, comparando los resultados con grupos control con desarrollo de pie normal. **Conclusión:** Se demuestra en los diferentes análisis de la marcha, que la postura de pie plano repercute en cambios cinemáticos y cinéticos de las articulaciones que componen el pie, y que además pueden provocar compensaciones en regiones proximales.

Palabras Clave: "Pie plano"; "Postura"; "Propiocepción"; "evaluación"; "análisis".

Abstract

Background: Flat feet is a common three-dimensional deformity in children and adolescents, characterized by low ALM, rearfoot valgus, and forefoot abduction and supination. ALM gradually increases in height during the first decade of life in typically developing children, due to bone maturation and intrinsic muscle growth; Until then, flat feet are an expected posture of the foot. The general objective of this study is to describe the biomechanical and functional alterations generated by flat feet in children aged 5 to 15 years. **Material and methods:** Literature review based on the search for scientific articles limited to a population between 5 and 10 years old, who present flexible flat feet. **Results:** The articles obtained apply some evaluative method to this population, comparing the results with control groups with normal foot development. **Conclusion:** It is demonstrated in the different gait analyses that the posture of flat feet has an impact on kinematic and kinetic changes of the joints that make up the foot, and that they can also cause compensations in proximal regions.

Keywords: "Flatfoot"; "Posture"; "Proprioception"; "assessment"; "analysis".

INTRODUCCIÓN

Marco teórico

La región plantar está compuesta por diferentes huesos unidos mediante articulaciones y estabilizado por ligamentos. Además presenta una concavidad inferior formada por un arco transverso, un arco longitudinal lateral y un arco longitudinal medial. El arco longitudinal medial (ALM) es el más flexible y móvil, está conformado por los huesos calcáneo, astrágalo, navicular, tres cuneiformes y tres metatarsianos mediales; a su vez está relacionado con diferentes músculos que por sus inserciones pueden aumentarlo o disminuirlo. Cuando el ALM se encuentra disminuido o ausente se produce una alteración de la morfología del pie denominada pie plano.

El pie plano es una deformidad tridimensional común en niños y adolescentes, que se caracteriza por un ALM bajo, valgo del retropié, y abducción y supinación del antepié (1). Consiste en el descentramiento de la articulación astrágalo escafoidea, donde el escafoide tiende a descender y su tubérculo sale hacia el lado interno, produciendo a su vez una subluxación de la articulación subastragalina. Esta subluxación genera la inclinación del astrágalo hacia el lado interno y hacia abajo acompañado de la pronación del calcáneo, llevando así al colapso del ALM.

Chen et al. (2) menciona que la prevalencia del pie plano bilateral disminuye significativamente con el aumento de la edad, siendo del 54,5% en niños de 3 años, y del 21% en niños de 6 años. Kosashvili, citado por Jafarnezhadgero et al. (3), señala que de estos niños el 10% recibe tratamiento para la prevención de deformidades secundarias durante la edad adulta.

La reciente revisión de Xu et al. (4) indica que el sexo masculino, la relajación de los ligamentos articulares, niños que viven en áreas urbanas y niños que hacen menos ejercicio son algunos de los factores de riesgo para la detección del pie plano. La diferencia entre géneros puede deberse a que el desarrollo físico y postural se da antes en las niñas; sin embargo, entre pie plano sintomático y asintomático el sexo femenino presenta de 3 veces más riesgo de padecer pie plano sintomático (5). El nivel bajo de ejercicio físico podría provocar un retraso o una fuerza muscular desigual, dando como resultado una fuerza muscular intrínseca deficiente que influye en la estructura del ALM. El uso frecuente de zapatos cerrados en niños en edad escolar se asocia con un tipo de pie más plano, ya que mantienen los pies demasiado firmes en su lugar y no permite fortalecer su musculatura, en comparación con otro tipo de calzado como las sandalias (6). Los niños con antecedentes familiares de pie plano pueden tener más probabilidades de tener pie plano persistente en la edad adulta (7). El trabajo de Guijón Noguerón (8) refuta la relación entre el aumento del índice de masa corporal (IMC) y los pies planos, ya que encontró que sólo el 16,5% de los niños con pies muy pronados también tenían sobrepeso o eran obesos.

El pie plano se clasifica en pie plano flexible, que es el más común y suele autocorregirse, y pie plano rígido.

A su vez, el aplanamiento del ALM puede graduarse en leve, moderado o severo según cuanto apoye el borde interno plantar sobre el suelo (Ver figura 1).

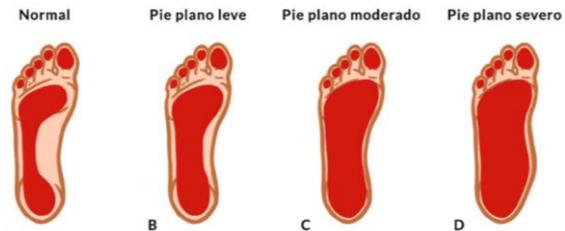


Figura 1. Grados de pie plano

Los recién nacidos y niños pequeños presentan un pie plano fisiológico, que es cuando existe la apariencia de un ALM más bajo, y que puede acompañarse o no de una eversión del retropié. La superficie plantar en esta etapa parece plana por la almohadilla adiposa que cubre el arco medial. Debido a su posición en el útero un bebé nace con el tobillo en flexión plantar y el antepié en aducción, y es recién cuando comienza a ponerse de pie que desarrolla un pie plano fisiológico debido a la flexibilidad de las articulaciones (9). Además de estructuras óseas jóvenes, el niño presenta una laxitud ligamentaria y un control neuromuscular inmaduro que pueden provocar el aplanamiento del pie. El ALM aumenta gradualmente su altura durante la primera década de vida en los niños con desarrollo típico, debido a la maduración ósea y el crecimiento de la musculatura intrínseca; hasta entonces el pie plano es una postura esperada del pie.

El pie plano fisiológico en niños se manifiesta frecuentemente como pie plano flexible, lo cual no lo hace una enfermedad. Se denomina flexible porque cuando el niño apoya y carga peso sobre el pie el ALM se aplanará, mientras que el arco se corrige y vuelve a la normalidad al dejar de apoyar el pie. El pie plano flexible se asocia a una laxitud generalizada de los ligamentos que permite un movimiento anormal en el retropié, sin embargo, suele resolverse al crecer ya que disminuye esta flexibilidad. Según el trabajo de Barry citado por Ueki et al. (10) sugiere que el pie plano flexible mejora espontáneamente a través de tres procesos: el primero es con el desarrollo neuromuscular, mejorando el equilibrio y logrando un control motor cada vez más fino de los grupos musculares distales de la extremidad inferior; segundo por la laxitud articular fisiológica, que alcanza su punto máximo en niños de dos a tres años y luego comienza a disminuir; tercero con la progresiva osificación de las estructuras del pie, proporcionando mayor rigidez al hueso del trípode que soporta el peso. La mayoría de los pies planos no causan dolor, son flexibles, son comunes en el desarrollo y es poco probable que requieran tratamiento (11). Aunque son muy pocos los casos, algunos niños presentan pie plano flexible sintomático debido a la tensión y dolor por la alteración de la mecánica del pie.

Existen casos menos frecuentes donde el pie plano puede ser patológico, manifestándose como un pie plano rígido que mantiene un ALM descendido incluso cuando no soporta peso. Este tipo de pie plano es la

consecuencia de articulaciones plantares menos móviles por alteraciones y fusiones de los huesos del pie, produce dolor y requiere de tratamiento del especialista (12). Algunas de las causas pueden ser el pie plano congénito o astrágalo vertical congénito, el pie plano de secuela neurológica, y el pie plano por fusiones tarsales (calcáneo con escafoides, o, astrágalo con calcáneo). El pie plano rígido generalmente es sintomático y deriva en cirugía, sin embargo, su tratamiento dependerá también de la patología subyacente que lleva el retropié a la rigidez.

Los niños con pie plano sintomático se deben abordar tempranamente con un tratamiento conservador, esto incluye ejercicios de estiramiento y fortalecimiento del tríceps sural y músculos intrínsecos del pie, fisioterapia, calzado adecuado y ortesis de pie (FO) personalizadas, y fármacos antiinflamatorios en los casos más graves. Si bien es muy popular, la indicación de FO es controversial ya que no hay evidencia sólida que avale su influencia sobre el curso evolutivo del pie plano; los efectos estructurales del uso de ortesis aún no están claros porque no se puede descartar la maduración fisiológica normal del arco longitudinal medial (9). Sin embargo, el estudio de Jafarnezhadgero et al. (3) afirma que el tratamiento a largo plazo de los FO de soporte del arco es eficaz para mejorar la cinemática y la cinética de las extremidades inferiores durante la marcha en niños con pie plano.

El mejor momento para corregir el pie plano es entre los 3 y los 12 años, antes de esta edad el arco del pie no se ha formado, en cambio al llegar a los 12 años ya se desarrollaron y son más estables. Si no se aprovecha el mejor momento de tratamiento, los pies del niño estarán completamente desarrollados y es posible que progresen hacia un pie plano rígido (4).

Las opciones quirúrgicas solo serán consideradas en pacientes sintomáticos después del fracaso del tratamiento conservador, es decir en caso de que persista la molestia y/o rigidez o que la deformidad avance. Por eso es necesaria una continua valoración de los cambios estructurales y clínicos que presente el paciente después de algún tratamiento conservador. De acuerdo con Ramos Vertiz (13) los pies planos que se operan tienen una proporción insignificante frente a la marcada frecuencia de su presentación en nuestra población; y sólo se operan antes de los 12 años casos con marcada saliencia interna del escafoides, con pronación del calcáneo extrema o los muy pocos que duelen. No obstante, antes de recomendar cualquier tipo de intervención es necesario una completa evaluación del paciente incluyendo los antecedentes, el examen físico y los estudios de imágenes adecuados.

En infantes, a partir de que realizan marcha independiente, el pie plano se diagnostica a través de radiografías simples y del análisis de la huella, observando diferentes índices o ángulos. Otras herramientas para evaluar la alineación del pie son las medidas estáticas de la postura del pie, mediciones goniométricas, escáner 3D, dispositivo de medición de presión plantar, calibradores para medir la altura del escafoides, entre otros.

Los casos sintomáticos de pie plano suelen comenzar como una fatiga y cansancio en las pantorrillas o con molestias después de ejercicios intensos. Después pasa a manifestarse como un dolor difuso entre el borde medial del pie y el seno del tarso por la tensión del músculo tibial posterior, y dolor en la zona inferior al maléolo peroneo donde el calcáneo pronado incide sobre el peroné. Las dolencias también pueden trasladarse a las articulaciones de los miembros inferiores y espalda, acompañarse de debilidad muscular en las piernas, e incluso de inestabilidad y mecánica anormal del tobillo, convirtiéndolo en un dolor funcionalmente limitante. Durante la niñez los síntomas pueden pasar desapercibidos si se desarrollan muy lentamente, pero podremos observar que el niño evitará las actividades que le causan dolor, afectando su participación en actividades deportivas, recreativas y de la vida diaria. El pie plano se asocia con dolor y posible discapacidad, y puede provocar una deformidad grave del pie plano en adultos (9). A mayor edad aumenta la posibilidad de desarrollar callos, hallux valgus, dedos en martillo, fenómenos artrósicos, y deformidad ósea, afectando y reduciendo aún más su calidad de vida.

La estructura morfológica correcta del pie se proyecta sobre su eficiencia general y su funcionamiento diario, incluso trastornos menores del pie pueden afectar toda la cadena biocinémática y la motilidad del pie (14). La formación del ALM determina funciones esenciales en la biomecánica del pie y de los miembros inferiores como la distribución del peso corporal sobre la superficie plantar en la bipedestación, el apoyo y la absorción del impacto durante la marcha, la deformación y adaptación de las estructuras elásticas del pie para mantener el equilibrio. Por eso la disminución del ALM puede contribuir al desequilibrio muscular, desalineación articular de los miembros inferiores, deterioro del equilibrio en la posición del pie, deformación de otros componentes del sistema musculoesquelético, alteraciones de la marcha y de la estabilidad postural general.

Justificación

Si bien la postura del pie plano pediátrico es una consulta frecuente de los padres, el dilema para los profesionales de salud es identificar si ese pie está dentro o fuera del rango de desarrollo típico, por eso las indicaciones de tratamiento son controvertidas. La preocupación de los padres, familiares y primeros educadores se manifiesta al observar la deformidad estética que representa el arco colapsado del niño al pararse o caminar, así como también ante situaciones frecuentes de tropiezo, caídas o desalineaciones de los miembros inferiores. Sin embargo, la mayoría de las veces el niño se encuentra dentro del desarrollo esperado, por lo que es importante tranquilizar a los padres y educarlos para monitorear los cambios fisiológicos de sus hijos, y que ante el diagnóstico pediátrico pueda ser tratado oportunamente. Debido a que no hay un Gold standard para el diagnóstico y clasificación del pie plano, suele suceder que esta condición sea sobre diagnosticada ya que

los médicos se basan en su experiencia clínica personal y en las pruebas diagnósticas que tienen a su alcance.

Como profesionales de salud debemos brindar una atención integral al niño desde su nacimiento, observando no solo la apariencia del pie sino también evaluando los cambios corporales que ocurren a medida que los niños maduran. Esto permite que el médico pediatra realice una detección y diagnóstico temprano de las deformidades y desalineaciones que aparecen o aquellas que forman parte del proceso del crecimiento, para poder derivar oportunamente al niño a las especialidades necesarias. Por eso es muy importante que tanto los kinesiólogos como las otras especialidades que reciban al niño, conozcamos los rangos de variabilidad y normalidad durante el desarrollo para poder discernir cuando el paciente presenta algún signo patológico. Por ejemplo, el pie plano que acrecienta su colapso a medida que el niño crece, es un signo de alerta clínico. Como kinesiólogos debemos tener las herramientas para poder diferenciar los tipos de pie plano infantiles y prevenir las complicaciones que pueda ocasionar, aplicando un tratamiento correctivo oportuno de ser necesario o abordando la sintomatología que lo aqueje. Una vez identificada la deformidad y su gravedad debemos acompañar el crecimiento del niño, buscando mantener la funcionalidad de los miembros inferiores y su correcta biomecánica durante cada etapa de su desarrollo. Será de gran ayuda la participación de los padres, por lo cual se debe asesorar respecto al uso de un calzado adecuado, las posturas o tipos de marcha que se deben corregir, o ejercicios domiciliarios que su hijo puede realizar.

Hay niños asintomáticos, que muchas veces no reciben evaluación de la postura del pie, ni imágenes diagnósticas ni observación de su mecánica corporal o pisada, entonces no tendrán ningún registro ni monitoreo objetivo de los cambios estructurales que pudo haber transitado. Incluso ante la ignorancia de los padres o falta de atención, puede suceder que el paciente que se presenta sea un adolescente o un niño con una deformidad avanzada. La formación del ALM se alcanza alrededor de los 10 años, es por eso que el control y la prevención deben comenzar durante la infancia. Dare y Dodwell (7) plantean que se debe determinar la edad de aparición del pie plano junto con cualquier cambio obvio en la forma del pie; si presenta dolor se deben identificar la ubicación, el momento, la calidad y los desencadenantes; se debe determinar la presencia

familiar de hiperlaxitud; se debe consultar cualquier antecedente traumático y respecto al uso de calzado; se debe realizar una inspección de la sensibilidad, hinchazón y estado de la piel del pie.

Actualmente no hay bibliografía actualizada del abordaje sobre la deformidad de pie plano en Argentina, tampoco estudios epidemiológicos o estudios primarios que evalúen esta población durante el paso de la infancia hacia la adolescencia. Este trabajo espera ser un aporte para acceder a una revisión de las consecuencias mecánicas y funcionales que genera el pie plano durante el desarrollo del niño. Es importante comprender que el diagnóstico y la atención kinésica temprana podrán evitar que la deformidad avance, así como sus consecuentes alteraciones posturales y dinámicas que pueden afectar su salud y calidad de vida.

Objetivos

El objetivo general de este estudio es describir las alteraciones biomecánicas y funcionales que genera el pie plano en niños de 5 a 15 años. Se analizará este rango de edad teniendo en cuenta que la maduración ósea y formación del arco se completa a partir de la primera década de vida.

Dentro de los objetivos específicos podemos mencionar: 1) identificar los cambios estructurales, cinemáticos y cinéticos que produce el pie plano; 2) analizar la relación del pie plano con el sistema locomotor, la postura y el desempeño de actividades físicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Estrategia de búsqueda

Para la realización de este trabajo se recopiló información de estudios primarios que presentan un análisis del tema elegido. Se realizaron búsquedas en las bases de datos electrónicas PubMed, Biblioteca Virtual en Salud (BVS), Epistemonikos y Scielo de artículos publicados entre enero del año 2010 y octubre del año 2023.

Dentro de las bases de datos se utilizaron los descriptores según los términos Medical Subject Headings (MeSH) "Flatfoot", "Posture" y "Proprioception". También se incluyeron las palabras clave "assessment", "analysis", "balance", "treatment", "orthosis" "children"; junto con algunos de estos términos en español como "pie plano", "pie plano valgo", "niños", "tratamiento" y "ortesis".

Base de datos	Estrategia de búsqueda	Resultados
PubMed	("Flatfoot"[Mesh]) AND ("assessment" OR "analysis")	631
PubMed	("Flatfoot"[Mesh]) AND ("Balance" OR "Posture"[Mesh] OR "Proprioception"[Mesh])	155
BVS	(pie plano OR pie plano valgo) AND niños* AND NOT (tratamiento OR ortesis)	679
Epistemonikos	(title:(flatfoot) OR abstract:(flatfoot)) AND (title:(children) OR abstract:(children)) NOT title:(orthosis) NOT title:(treatment)) OR abstract:(flatfoot) OR abstract:(flatfoot)) AND (title:(children) OR abstract:(children)) NOT title:(orthosis) NOT title:(treatment)))	42

Tabla 1. Estrategia de búsqueda

La búsqueda se realizó entre el 1 de septiembre y el 4 de noviembre del 2023. La estrategia de búsqueda en cada base de datos y los artículos resultantes se pueden observar en la Tabla 1.

Criterios de selección

Artículos primarios limitados a una población de pacientes entre 5 y 10 años que presenten pie plano. En la tabla 2 se detallan los criterios de inclusión y exclusión aplicados en la búsqueda de artículos.

Criterios de inclusión:
<ul style="list-style-type: none"> ▪ población evaluada de 5 a 15 años. ▪ artículos donde la totalidad o parcialidad de la muestra presente pie plano ▪ artículos con fecha de publicación desde el año 2010. ▪ artículos que describan la biomecánica, alteraciones posturales o alteraciones funcionales del pie plano. ▪ artículos que utilicen una herramienta de evaluación o análisis validado.
Criterios de exclusión:
<ul style="list-style-type: none"> ▪ población que practique algún deporte o realice tareas físicas pesadas. ▪ población que presente evidencia de pie plano rígido, deformidades significativas del aparato locomotor, o lesiones recientes en las extremidades inferiores. ▪ Población con patologías neurológicas, cardiovascular, neuromusculares, musculoesqueléticas o congénitas asociadas. ▪ población con antecedente de cirugía previa de columna o extremidades inferiores, o con uso concurrente de aparatos ortopédicos. ▪ artículos que apliquen tratamiento ortésico y/o quirúrgico, o algún programa de ejercicios físicos. ▪ artículos de revisión sistemática o narrativa.

Tabla 2. Criterio de elegibilidad

Proceso de selección de estudios

A partir de las búsquedas en las bases de datos mencionadas, se obtuvieron 1.507 artículos. Luego se descartaron estudios a partir de los filtros y límites de búsqueda que se ajustaban a los criterios de inclusión, y también aquellos estudios duplicados en las diferentes bases de datos. Por último, mediante la lectura y revisión del título y resumen de cada artículo, se excluyeron los artículos que no cumplieran con los criterios de inclusión y se seleccionaron aquellos que cumplieran con el objetivo de estudio.

La muestra de estudios seleccionados quedó conformada por 8 artículos potencialmente relevantes para esta revisión sistemática. El proceso de selección de los estudios se puede ver en la Figura 2, donde se detalla la cantidad de estudios seleccionados y excluidos en cada etapa.

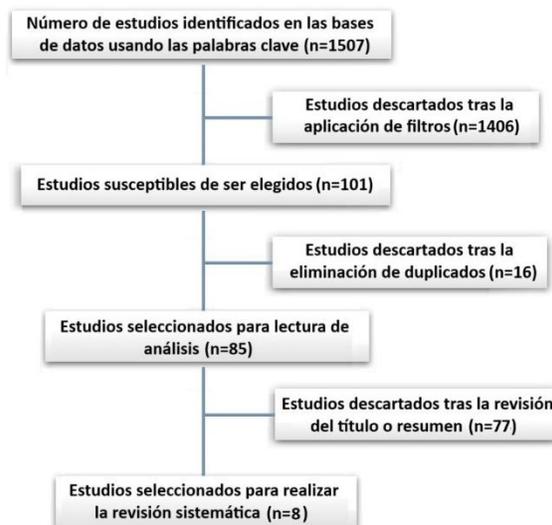


Figura 2. Identificación y proceso de selección de los estudios incluidos en la revisión

Evaluación de la calidad metodológica

Se utilizó la escala de Physiotherapy Evidence Database (PEDro) para la evaluación de la calidad de los estudios seleccionados. Esta escala consta de 11 ítems o criterios que evalúan la calidad metodológica de estudios controlados aleatorios con el propósito de ayudar a identificar con rapidez cuáles de estos ensayos pueden tener suficiente validez interna y suficiente información estadística para hacer que sus resultados sean interpretables.

En la Tabla 3 se detalla la evaluación de la calidad metodológica según la escala PEDro. Todos los ítems, a excepción del primero, suman un punto cada uno solo cuando el criterio se cumple claramente. Con la sumatoria de las respuestas positivas (Si) se obtiene una puntuación final detallada en la última columna. Un estudio con una puntuación de 6 o superior se considera de alta calidad, de 4 a 5 de calidad regular, e inferior a 4 de mala calidad metodológica.

Plan de extracción y análisis de datos

Para facilitar el proceso de extracción y organizar los datos se utilizó una plantilla en el programa Excel, donde se detallaron las variables elegidas de cada artículo para comparar y examinar. Estos datos se analizaron de acuerdo con los objetivos planteados.

A continuación, se detallan las variables que se extraerán de cada estudio y que se completarán más adelante con el análisis de los resultados:

- Datos de identificación: nombre del primer autor y año de publicación del artículo, y objetivos.
- Evaluación de la calidad metodológica (PEDro)
- Población: promedio de edad de la muestra, y características de la muestra (cantidad y tipo de pie)
- Evaluación o intervención aplicada
- Resultados principales

Estudios primarios	Criterios de calidad metodológica											
Autor y año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	total
Peter Sagat (2023)	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	10
Chia-Hsieh Chang (2022)	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	9
Paolo Caravaggi (2018)	Sí	No	No	Sí	No	No	No	Sí	Sí	Sí	Sí	5
Amir Ali Jafarnezhadgero (2018)	Sí	No	No	Sí	No	No	No	Sí	Sí	Sí	Sí	5
Ha Yong Kim (2017)	Sí	No	No	No	No	No	No	Sí	Sí	Sí	Sí	4
A. Kothari (2016)	Sí	No	Sí	No	No	No	No	Sí	Sí	Sí	Sí	5
Jiann-Perng Chen (2015)	Sí	No	No	Sí	No	No	No	Sí	Sí	Sí	Sí	5
Matthias Hösl (2014)	Sí	No	Sí	No	No	No	No	Sí	Sí	Sí	Sí	5

Tabla 3. Evaluación de la calidad metodológica según la escala PEDro

RESULTADOS

En esta revisión se incluyeron 11 estudios cuyos datos, características, calidad metodología y conclusiones, se detallan en la Tabla 4 donde se especifican las variables de estudio sobre las cuáles posteriormente se realizará la interpretación de los resultados obtenidos.

Autor y año	Objetivo	PEDro	Población	Evaluación	Resultados
Peter Sagat (2023) (15)	Determinar si los niños con pie plano tenían un peor rendimiento en tareas físicas, en comparación con los niños con pie normal.	10	13,0 ± 0,6 años Pie normal (n=107) y pie plano flexible (n=101)	Examen estático en podoscopio, conjunto de pruebas de rendimiento físico uni y bilaterales (salto con contramovimiento, salto de longitud de pie, prueba de triple salto cruzado para distancia, velocidad máxima de sprint, y prueba de equilibrio Star Excursion).	Los niños con pies planos se desempeñaron relativamente peor en las pruebas de salto de longitud de pie (bilateral y unilateral), en la prueba de salto triple cruzado, y en velocidad máxima de sprint. Además obtuvieron peores resultados en la prueba de equilibrio Star Excursion (en direcciones posteromedial, posterior, posterolateral y lateral).
Chia-Hsieh Chang (2022) (16)	Utilizar un nuevo criterio de diagnóstico de pie plano para determinar cómo cambia el índice de la huella durante el desarrollo de los arcos del pie, qué factores pueden predecir el desarrollo del arco del pie, y si el desarrollo del arco es un proceso de maduración o de crecimiento corporal.	9	8,2 ± 0,3 años Pie plano (n=263), pie no plano (n=288), indeterminado (n=21)	Se registró la huella de carga con el índice de Chippaux-Smirak (CSI) para definir el tipo de pie y comparar los cambios. Se tomaron medidas corporales (altura, peso e IMC). La aptitud física se evaluó mediante las pruebas de carrera de 20 m, salto de longitud de pie, y equilibrio con una pierna.	De los 263 niños que inicialmente tenían pies planos, 70 niños desarrollaron el arco del pie durante la segunda encuesta. Dentro de los factores asociados con el desarrollo del arco del pie estos niños tuvieron un CSI inicial más bajo, en los niños un mejor rendimiento en el equilibrio unipodal, y en las niñas un menor incremento de altura. De los 288 niños sin pies planos se observó que solo 9 de ellos desarrollaron pie plano.
Paolo Caravaggi (2018) (17)	Proporcionar una descripción objetiva de las alteraciones en las articulaciones plano-valgus (PV) del mediopié con respecto a aquellas en una población de pies con desarrollo normal (ND) de la misma edad.	5	13 ± 1 años Pie con desarrollo normal (n=10) y pie plano valgus (n=20)	Análisis de la marcha para medir la postura estática del pie, la cinemática de las articulaciones principales del pie y la deformación del ALM al caminar a velocidad cómoda. Se compararon el rango de movimiento (ROM) y los perfiles temporales de las rotaciones articulares con los de una población control con pies ND.	Durante la marcha el grupo PV tenía una velocidad de marcha normalizada y la longitud de zancada fueron menores, y el ALM fue menor durante toda la marcha. Además la articulación mediotarsiana del grupo PV estaba más dorsiflexionada, evertida y abducida, y mostró un ROM reducido en el plano sagital y transversal.

<p>Amir Ali Jafarnehadgero (2018) (18)</p>	<p>Investigar las diferencias en la asimetría de la marcha (AG) en el momento articular en niños con pie plano flexible y sujetos de control sanos.</p>	<p>5</p>	<p>10,89 ± 1,19 años Pie normal (n=15) y pie plano flexible (n=14)</p>	<p>Análisis de marcha recopilando datos cinéticos y cinemáticos tridimensionales, de todos los sujetos caminando con el mismo modelo de zapato. Se examinó y calculó el índice AG entre las extremidades para cada momento articular.</p>	<p>El grupo con pie normal experimentó una mayor asimetría en los momentos de eversión del tobillo y rotación externa. En cambio, el grupo con pie plano mostró mayor asimetría en los momentos de abducción, aducción y rotación interna de la rodilla; y menor asimetría en la flexión de la rodilla que el grupo normal. Además, el grupo con pie plano tenía una mayor asimetría en la flexión y abducción de la cadera; y a su vez el grupo normal experimentó mayor asimetría en la extensión de la cadera, de rotación interna y externa.</p>
<p>Ha Yong Kim (2017) (19)</p>	<p>Medir el grado de ineficiencia cinética comparando los datos del análisis de la marcha de un grupo con pie plano con un grupo de control normal.</p>	<p>4</p>	<p>9,5 años Pie normal (n=50) y pie plano sintomático (n=26)</p>	<p>Con radiografías del pie en bipedestación se evaluó la gravedad de la deformidad estática. Se realizó anamnesis sobre los síntomas, examen físico con goniometría y análisis de la marcha tridimensional.</p>	<p>El grupo con pie plano informó con mayor frecuencia cojera o marcha anormal; presentaba mayor flexión plantar y dorsiflexión del tobillo con flexión de la rodilla; además tenía un antepié más abducido y un mayor valgo del retropié, y durante todo el ciclo de la marcha la rodilla estuvo flexionada. En la cinética, el grupo con pie plano reflejó la ineficiencia del sistema de palanca, una reducción de la potencia en la flexión plantar del tobillo durante la fase de impulso, y una reducción de fuerza de reacción vertical del suelo (GRF-VRT) media en la fase de impulso.</p>
<p>A. Kothari (2016) (20)</p>	<p>Investigar la relación entre la altura del arco y los síntomas de las articulaciones proximales, e identificar con un análisis tridimensional de marcha cualquier factor biomecánico que pudiera explicar cómo se podrían causar los síntomas.</p>		<p>11,0 ± 2,9 años Pie neutro (n=47) y pie plano flexible (n=48)</p>	<p>Se evaluó y clasificó la postura del pie con el índice de altura del arco (IAH). Se evaluó la flexibilidad de cada niño mediante la Puntuación de Evaluación de las Extremidades Inferiores (LLAS), se calculó IMC, y se documentó la frecuencia del dolor o malestar de rodilla, cadera y espalda del último mes. Se sometió a cada niño a un análisis tridimensional de la marcha.</p>	<p>Los niños con un IAH reducido tenían mayores probabilidades de síntomas en la rodilla, la cadera/espalda; y un mayor IMC se asoció con un mayor riesgo de dolor de cadera/espalda. Una postura del pie plano también se asoció significativamente con una reducción en el segundo pico de GRF vertical, lo que afectó los momentos tardíos de la cadera y la rodilla. Un IAH reducido también se asoció con una mayor retracción pélvica y un aumento del valgo de la rodilla en la fase media de apoyo.</p>
<p>Jiann-Perng Chen (2015) (21)</p>	<p>Evaluar el desempeño de la marcha de niños con pie plano y niños con pies normales, descalzos y calzados. Investigar el efecto del uso de zapatos sobre el ROM de las articulaciones, la GRF, y la actividad muscular en niños con pies planos y normales al caminar.</p>	<p>5</p>	<p>6,3 años Pie normal (n=12) y pie plano flexible (n=9)</p>	<p>Análisis de la marcha caminando descalzo y calzado, para obtener datos de ROM articular, parámetros temporo espaciales (fase de apoyo y de balanceo, longitud de la zancada, velocidad y cadencia), la fuerza de reacción del suelo (GRF), y medición electromiográfica (músculos bíceps femoral, recto femoral, tibial anterior y gastrocnemio medial).</p>	<p>Los niños con pie plano tuvieron mayor ROM articular (inclinación pélvica, flexión y rotación externa de cadera y flexión plantar), y un GRF vertical más bajo y de mayor duración. El uso de calzado en niños con pie plano disminuyó la inclinación pélvica y flexión de cadera, pero aumentó la dorsiflexión del tobillo en la fase del impacto del talón, y aumentó en el GRF vertical. Los niños con pie plano tenían mayor actividad muscular en todos los músculos evaluados, pero ante el uso de calzado aumentó la actividad muscular del gastrocnemio medial.</p>

<p>Matthias Hösl (2014) (22)</p>	<p>Examinar la función del pie durante la marcha en pies planos flexibles sintomáticos (SFF) y asintomáticos (ASFF). Discriminar la cinemática y la cinética del pie 3D en SFF y ASFF de pies de desarrollo típico (TDF).</p>	<p>5</p>	<p>11,6 ± 2,0 años</p> <p>Pie de desarrollo típico (n=11), pies planos flexibles asintomáticos (n=21), y pie plano flexible sintomáticos (n=14)</p>	<p>Análisis de la marcha para evaluar la cinemática del pie al caminar descalzo, prueba de Silfverskiöld para evaluar cualquier acortamiento de la pantorrilla, goniometría estándar para evaluar los ángulos de dorsiflexión pasiva, y cuestionario de sintomatología (dolor, el malestar y la fatiga).</p>	<p>En el examen físico los ASFF y SFF presentaron mayores restricciones en la dorsiflexión pasiva, que fueron más pronunciadas con la rodilla extendida. Durante la marcha, el retropié en los ASFF y SFF estaba más evertido pero menos flexible, a su vez la dorsiflexión del retropié estaba reducida pero se compensó con una mayor movilidad del antepié y un hallux hiper móvil. En la cinética, el SFF carecía de energía articular positiva para la propulsión y disminuyeron la velocidad de la marcha, mientras que el ASFF necesitaba absorber más energía negativa de la articulación del tobillo durante la fase de respuesta a la carga.</p>
----------------------------------	---	----------	---	--	--

Tabla 4. Análisis de resultados

DISCUSIÓN

Como hemos mencionado el pie constituye un elemento importante del sistema de equilibrio en posición bípeda y para la marcha humana. La bóveda plantar y los arcos plantares que la forman no son una estructura rígida, sino que experimenta cambios de curvatura y de elasticidad para adaptarse a las irregularidades del terreno y morfológicamente va desarrollándose con el crecimiento. Cada niño tiene un ritmo individual de desarrollo del arco del pie, que se desconoce. En el trabajo de Chang et al. (16) describe como el CSI cambió significativamente de 0,72 a 0,46 en 70 niños que desarrollaron arcos de pie durante las encuestas. Esto sugiere que en el cambio del CSI el proceso de maduración corporal es el responsable del desarrollo del ALM del pie, más que un resultado del crecimiento corporal. A nivel de aptitud física, se observa que el desarrollo del arco del pie también está relacionado con una mejora en las pruebas de equilibrio unipodal. Por su parte Sagat et. al (15) en sus pruebas de rendimiento físico, refiere que los niños con pies planos obtuvieron peores resultados en la prueba de equilibrio Star Excursion (en direcciones posteromedial, posterior, posterolateral y lateral), además de las pruebas de salto de longitud de pie (bilateral y unilateral), prueba de salto triple cruzado, y velocidad máxima de sprint (20 y 40m). Este bajo rendimiento puede explicarse por una mala estabilidad postural, patologías del pie, dolor y malestar en niños con pies planos. Se debe tener en cuenta también, que en la postura de pie plano existen diferentes fuerzas de rotación que dominan en la parte inferior de la pierna y una activación muscular más lenta.

El estudio de la marcha es un aspecto fundamental de la exploración del pie, la estructura y la función están íntimamente relacionadas, por eso se debe analizar la repercusión que tienen los trastornos y alteraciones del pie sobre la marcha. El análisis tridimensional de la cinemática y la cinética del pie durante la marcha es el más adecuado para estudiar la

función y evaluar el grado de deformidad de pie. Caravaggi et al. (17) en su evaluación de la marcha menciona el incremento de la dorsiflexión de la articulación metatarsofalángica cuando pasa de la fase de apoyo al momento de impulso, puede estar relacionado con la eficiencia reducida de las estructuras anatómicas que abarcan la parte media del pie, como son los músculos plantares intrínsecos del pie y la aponeurosis, alterando el efecto de elevación del arco del mecanismo del molinete. Por su parte, Chen et al. (21) menciona que los niños con pie plano presentan una falta de potencia de propulsión durante la fase de empuje repercutiendo en una menor capacidad para levantar el pie del suelo durante la fase de balanceo; esto puede provocar una compensación aumentando la flexión de la rodilla y la cadera. El uso de zapatos durante esta evaluación generó cambios a nivel de tobillo ya que promueve su movimiento aumentando la distancia entre el pie y el suelo, y generando mayor necesidad de espacio libre para el pie en la fase de contacto inicial o apoyo del talón.

En el análisis de la marcha que realiza Kim et al. (19) el grupo de pie plano mantuvo la rodilla flexionada durante todo el ciclo de la marcha, no se extendían en el contacto inicial de la fase de apoyo, esto puede relacionarse con que para aumentar la dorsiflexión del tobillo mediante un mecanismo compensador se camina flexionando ligeramente la articulación de la rodilla para reducir la tensión del gemelo. Cuando el talón se direcciona hacia valgo en el plano coronal durante la fase de apoyo, indica que esta desviación acortó la longitud de la palanca en el plano coronal, y ante este acortamiento será necesario que los músculos generen una fuerza aún mayor. Entonces, para compensar esta estructura esquelética biomecánica insuficiente se produce una actividad muscular anormal subsidiaria que provoca diversos síntomas de fatiga muscular alrededor. Desde una perspectiva cinética, los pies planos presentan una reducción e ineficiencia de aproximadamente el 30% del momento máximo de flexión plantar del tobillo y una

reducción del 45% de la potencia media del tobillo en el plano sagital durante la fase de impulso. Estas reducciones reflejan la ineficiencia del sistema de palanca que se produce cuando se reduce el ROM general del tobillo y por la rigidez del brazo de palanca del pie.

Las articulaciones del tobillo son un tipo de palanca de segunda clase, y para que este sistema funcione eficazmente, una palanca debe ser sólida en lugar de flexible, debe producir una cantidad adecuada de fuerza mediante la contracción muscular, y debe tener una distancia adecuada (*d*) entre el punto de apoyo (*P*) y el esfuerzo (*E*). Kothari et al. (20) describe que en el pie plano se deteriora el mecanismo de bloqueo mediotarsiano durante la fase de apoyo tardío que proporciona una palanca adecuada contra la cual empujar. Esta disfunción del brazo de palanca genera inestabilidad del pie y el tobillo, que se adaptan para reducir los síntomas o malestar causado por el pie plano. Además un IAH reducido se asoció con el aumento de la rotación externa máxima de la pelvis durante esta misma fase, lo cual se puede relacionar con la adaptación proximal para contrarrestar la disfunción del brazo de palanca.

Según los resultados obtenidos en el trabajo de Kim et al. (19) el mediopié tiene más movilidad y mayor colapso estático durante la fase de apoyo, generando una palanca flexible que ocasiona una pérdida cinética, debido a esto el momento y la potencia del tobillo se redujeron. Los niños con pie plano presentaban un antepié más abducido y un mayor valgo del retropié, por lo tanto, la energía necesaria para la supinación y la inversión, que hacen del pie una palanca sólida, deberían haber sido mayores. Otra consecuencia de es que durante la fase de apoyo la línea central de carga de presión estará sesgada hacia afuera dificultando la transición dinámica de pronación-supinación y reduciendo la fuerza impulsora del antepié al final de la fase de apoyo.

Cuando hay asimetría en la marcha humana, una extremidad inferior compensará la disminución del papel de la extremidad contralateral. En su trabajo Jafarnehadgero et al. (18) se centró en identificar estas asimetrías mediante un análisis cinético y cinemático. Los niños con pie plano mostraron mayor asimetría en los momentos de abducción, aducción y rotación interna de la rodilla; y menor asimetría en la flexión de la rodilla. Estas simetrías anormales pueden provocar riesgo de lesiones y de presentar sintomatología, ya que el movimiento anormal del pie genera una mayor tensión en las estructuras más proximales, como es la articulación de la rodilla. Por otra parte, implican una mayor carga en una articulación respecto a la contralateral durante la marcha, y representando un factor de riesgo para la aparición de osteoartritis. Es por eso que se debe considerar que la cantidad de asimetría presente en niños con pies planos flexibles podría ser problemática si los patrones continúan hasta la edad adulta.

En la presente revisión se han mostrado cuales son las complicaciones biomecánicas que trae aparejada la postura de pie plano. En posición bípeda el pie sostiene todo el peso del cuerpo y adopta una morfología distinta

a la que tiene sin carga, es por eso que será relevante para futuros estudios comparar los resultados de estas evaluaciones no solo entre población con o sin pie plano, sino también tomando en cuenta la dinámica diaria de los miembros inferiores y sus adaptaciones. Poder investigar cómo se comporta estructuralmente el pie cuando se encuentran con una carga total del peso en posición bípeda, cuando pasa a una la carga parcial durante la marcha y cuando reduce su carga al sentarse.

CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

BIBLIOGRAFÍA

1. Byrnes SK, Wearing S, Böhm H, Dussa CU, Horstmann T. Effects of idiopathic flatfoot deformity on knee adduction moments during walking. *Gait Posture*. 1 de febrero de 2021;84:280-6.
2. Chen KC, Yeh CJ, Tung LC, Yang JF, Yang SF, Wang CH. Relevant factors influencing flatfoot in preschool-aged children. *Eur J Pediatr*. 1 de julio de 2011;170(7):931-6.
3. Jafarnehadgero A, Madadi-Shad M, Alavi-Mehr SM, Granacher U. The long-term use of foot orthoses affects walking kinematics and kinetics of children with flexible flat feet: A randomized controlled trial. *PLoS ONE*. 9 de octubre de 2018;13(10):e0205187.
4. Xu L, Gu H, Zhang Y, Sun T, Yu J. Risk Factors of Flatfoot in Children: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int J Environ Res Public Health*. 6 de julio de 2022;19(14):8247.
5. Rivera-Saldivar G, Torres-González R, Franco-Valencia M, Ríos-Monroy R, Martínez-Ramírez F, Pérez-Hernández E, et al. Risk factors associated with the conformation of the medial longitudinal arch and the symptomatic flat foot in a metropolitan school population in Mexico. *Acta Ortop Mex*. 2012;26(2):85-90.
6. Tong JWK, Kong PW. Medial Longitudinal Arch Development of Children Aged 7 to 9 Years: Longitudinal Investigation. *Phys Ther*. 1 de agosto de 2016;96(8):1216-24.
7. Dare DM, Dodwell ER. Pediatric flatfoot: cause, epidemiology, assessment, and treatment. *Curr Opin Pediatr*. febrero de 2014;26(1):93.
8. Gijon-Nogueron G, Martinez-Nova A, Alfageme-Garcia P, Montes-Alguacil J, Evans AM. International normative data for paediatric foot posture assessment: a cross-sectional investigation. *BMJ Open*. 14 de abril de 2019;9(4):e023341.
9. Choi JY, Hong WH, Suh JS, Han JH, Lee DJ, Lee YJ. The long-term structural effect of orthoses for pediatric flexible flat foot: A systematic review. *Foot Ankle Surg*. 1 de febrero de 2020;26(2):181-8.

10. Ueki Y, Sakuma E, Wada I. Pathology and management of flexible flat foot in children. *J Orthop Sci.* 1 de enero de 2019;24(1):9-13.
11. Kane K. Foot Orthoses for Pediatric Flexible Flatfoot: Evidence and Current Practices Among Canadian Physical Therapists. *Pediatr Phys Ther.* Spring de 2015;27(1):53.
12. Perret Perez C. *Manual de pediatría. Primera Edición.* Poblete V. MJ, Pérez Valenzuela C, editores. Chile: Escuela de Medicina de la Pontificia Universidad Católica de Chile; 2018.
13. Ramos Vertiz AJ. *Traumatología y ortopedia. Segunda edición.* Buenos Aires, Argentina: Atlante; 2008.
14. Szczepanowska-Wolowiec B, Sztandera P, Kotela I, Zak M. Feet deformities and their close association with postural stability deficits in children aged 10–15 years. *BMC Musculoskelet Disord.* 13 de noviembre de 2019;20:537.
15. Sagat P, Bartik P, Štefan L, Chatzilekas V. Are flat feet a disadvantage in performing unilateral and bilateral explosive power and dynamic balance tests in boys? A school-based study. *BMC Musculoskelet Disord.* 31 de julio de 2023;24:622.
16. Chang CH, Yang WT, Wu CP, Chang LW. Would foot arch development in children characterize a body maturation process? A prospective longitudinal study. *Biomed J.* octubre de 2022;45(5):828-37.
17. Caravaggi P, Sforza C, Leardini A, Portinaro N, Panou A. Effect of plano-valgus foot posture on midfoot kinematics during barefoot walking in an adolescent population. *J Foot Ankle Res.* 1 de octubre de 2018;11:55.
18. Jafarnejhadgero A, Majlesi M, Madadi-Shad M. The effects of low arched feet on lower limb joints moment asymmetry during gait in children: A cross sectional study. *The Foot.* 1 de marzo de 2018;34:63-8.
19. Kim HY, Shin HS, Ko JH, Cha YH, Ahn JH, Hwang JY. Gait Analysis of Symptomatic Flatfoot in Children: An Observational Study. *Clin Orthop Surg.* septiembre de 2017;9(3):363-73.
20. Kothari A, Dixon PC, Stebbins J, Zavatsky AB, Theologis T. Are flexible flat feet associated with proximal joint problems in children? *Gait Posture.* 1 de marzo de 2016;45:204-10.
21. Chen JP, Chung MJ, Wu CY, Cheng KW, Wang MJ. Comparison of Barefoot Walking and Shod Walking Between Children with and Without Flat Feet. *J Am Podiatr Med Assoc.* 1 de mayo de 2015;105(3):218-25.
22. Hösl M, Böhm H, Multerer C, Döderlein L. Does excessive flatfoot deformity affect function? A comparison between symptomatic and asymptomatic flatfeet using the Oxford Foot Model. *Gait Posture.* 1 de enero de 2014;39(1):23-8.