Universidad Abierta Interamericana
Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud
Licenciatura en Kinesiología y Fisiatría

Hiperpronación del pie y el descenso del arco plantar en corredores de fondo

Autor: Anselmo, Antonela
Tutor: Cogliati, Viviana

Abril del 2025

Resumen

La hiperpronación del pie, especialmente intensificada por la fatiga en corredores de fondo, ha sido identificada como un factor biomecánico que contribuye al descenso del arco plantar medial, comprometiendo la estabilidad estructural del pie y aumentando el riesgo de lesiones por sobreuso. Esta investigación analizó la relación entre la hiperpronación y la pérdida de altura del arco plantar en corredores de fondo, considerando su impacto en la prevención de lesiones y el rendimiento deportivo. Se abordó cómo la hiperpronación dinámica inducida por la fatiga puede generar una disminución progresiva del arco plantar, afectando la eficiencia mecánica del apoyo y favoreciendo disfunciones musculoesqueléticas. A través de una revisión sistemática de literatura científica reciente, se examinaron 19 estudios empíricos y revisiones publicadas entre 2019 y 2024, organizados en tres ejes analíticos: los factores biomecánicos y anatómicos implicados, las consecuencias del colapso del arco sobre estructuras articulares y lesiones, y las estrategias preventivas y terapéuticas disponibles. Los resultados revelaron una asociación significativa entre hiperpronación y descenso del arco plantar bajo cargas repetitivas, sobre todo cuando existe debilidad en la musculatura intrínseca del pie. Esta alteración se vinculó de manera consistente con lesiones como fascitis plantar, tendinopatías y dolor articular en miembros inferiores. Asimismo, se identificaron intervenciones con evidencia de eficacia clínica, destacándose el ejercicio de pie corto, el uso de ortesis plantares y el reentrenamiento de la marcha. En conjunto, estos hallazgos respaldan la importancia de abordar la hiperpronación y el descenso del arco plantar desde una perspectiva preventiva y funcional, con el fin de preservar la integridad biomecánica del pie en corredores de fondo.

Palabras clave: Pronación, corredores, biomecánica, fase de apoyo, fondismo.

Índice

Resumen 1

Palabras clave 1

Índice 2

Introducción 3

Problema 4

Antecedentes 5

Justificación 7

Objetivos 8

General 8

Específicos 8

Marco teórico 9

Marco metodológico 18

Análisis de resultados 20

Conclusión 37

Introducción

El presente trabajo aborda la relación entre la hiperpronación del pie y el descenso del arco plantar en corredores de fondo, centrando su interés en el análisis de los factores biomecánicos y anatómicos implicados en esta interacción y sus posibles efectos sobre la salud y el desempeño físico de quienes practican esta disciplina. El estudio se orienta a determinar si existe una relación entre ambas condiciones, considerando su posible incidencia en la aparición de lesiones relacionadas con la carrera prolongada y las implicancias que ello tiene en el ámbito del entrenamiento y la prevención.

Para alcanzar este propósito, se han definido como objetivos específicos la identificación de los mecanismos anatómicos y funcionales que favorecen el colapso del arco plantar en presencia de hiperpronación, el análisis del vínculo entre esta alteración y la aparición de patologías comunes en corredores, así como la evaluación de estrategias preventivas y correctivas que han sido documentadas en la literatura científica reciente. La investigación se justifica en función de la necesidad de contar con información organizada y actualizada sobre una problemática frecuente en el contexto deportivo y clínico.

La metodología empleada consistió en una revisión bibliográfica sistemática de 19 estudios científicos, revisiones y metaanálisis publicados entre los años 2019 y 2024. Se seleccionaron veinte artículos obtenidos de bases de datos reconocidas como PubMed, BVS, SciELO y ResearchGate, en los idiomas inglés y castellano, bajo criterios de inclusión que privilegian la investigación en humanos, la relevancia temática y la calidad metodológica. Esta estrategia permitió reunir un conjunto de evidencias que sirvieron de base para el análisis crítico de la información disponible.

El alcance del trabajo se limita a la población de corredores de fondo, sin considerar otras disciplinas atléticas ni poblaciones clínicas específicas. Asimismo, se circunscribe a estudios documentales, sin inclusión de trabajo de campo ni intervención directa sobre sujetos. Esto permite ofrecer una visión general fundada en estudios previamente validados que puede ser útil para orientar futuras investigaciones y prácticas profesionales vinculadas al análisis de la mecánica del pie en contextos de exigencia física sostenida.

Problema

En el ámbito de las ciencias aplicadas al deporte, se ha documentado con amplitud la participación del complejo articular del pie en la mecánica de carrera, reconociéndose que su estructura y funcionalidad influyen directamente en la eficiencia del movimiento, la absorción de impactos y la distribución de cargas (Roche Seruendo, et al., 2023). Particularmente, se ha determinado que la pronación del pie representa un mecanismo fisiológico propio del ciclo de la marcha y la carrera, ya que facilita la adaptación del pie a las desigualdades del terreno y contribuye a la absorción del impacto. No obstante, cuando este movimiento excede los rangos considerados funcionales y se convierte en hiperpronación, comienzan a observarse modificaciones estructurales y funcionales que podrían alterar la alineación general del miembro inferior (Mousavi, et al., 2024). Uno de los cambios más frecuentemente asociados a este patrón es el descenso o colapso del arco plantar medial, fenómeno que ha sido vinculado, en diversos estudios, con un mayor riesgo de lesiones por sobreuso y una alteración de la cinemática general del cuerpo en la actividad física prolongada, como es el caso del fondismo (Bailón Cerezo, 2022).

Sin embargo, persisten interrogantes acerca de la relación entre hiperpronación y descenso del arco plantar en corredores de fondo y aunque la literatura reconoce la existencia de una posible asociación entre ambos fenómenos, no se ha logrado establecer con claridad si la hiperpronación constituye un factor causal directo del colapso del arco plantar o si ambas condiciones responden a un proceso adaptativo multifactorial en el contexto del entrenamiento sostenido (Galloso Lagos, et al., 2023).

Resulta por lo tanto necesario precisar los mecanismos por los cuales la hiperpronación puede favorecer el descenso del arco plantar y, en consecuencia, contribuir al desarrollo de alteraciones musculoesqueléticas en atletas de resistencia. Además, se requiere conocer con mayor exactitud cuáles son las intervenciones que han demostrado eficacia para prevenir o corregir esta combinación de factores, a fin de orientar tanto la práctica clínica como el diseño de programas de entrenamiento más seguros y eficientes. Esta necesidad de conocimiento no solo responde a una demanda de rigor teórico, sino

también a la urgencia práctica de reducir la incidencia de lesiones en corredores, optimizar su rendimiento y disminuir los tiempos de inactividad asociados a dolencias evitables mediante una evaluación biomecánica oportuna y estrategias de intervención basadas en la evidencia.

En función de estas consideraciones, y con el propósito de contribuir a una comprensión más precisa de los factores biomecánicos implicados en la carrera de fondo, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es la relación entre la hiperpronación del pie y el descenso del arco plantar en corredores de fondo, y qué implicancias presenta esta interacción en la prevención de lesiones y el rendimiento deportivo, según la evidencia científica actual?

Antecedentes

Galloso-Lagos y otros (2023), reconocen por su parte explícitamente una asociación entre la hiperpronación del pie y el descenso del arco plantar, especialmente en condiciones de carrera prolongada en corredores recreativos sanos. Su trabajo proporciona evidencia empírica que refuerza la hipótesis de que la hiperpronación inducida por fatiga muscular durante la carrera puede estar vinculada con el colapso funcional del arco plantar medial (MLA, por sus siglas en inglés). En su estudio cuasi-experimental evaluaron 36 corredores no pronadores durante una hora de actividad física (carrera o caminata), utilizando dos herramientas clínicas ampliamente aceptadas: el Foot Posture Index (FPI) y el Navicular Drop Test (NDT). Ambos instrumentos les permitieron medir la tendencia a la pronación y la caída del hueso navicular, indicador indirecto del descenso del arco plantar.

Los resultados mostraron que, después de 45 minutos de carrera, hubo un aumento significativo en la puntuación del FPI (indicando hiperpronación) y del NDT (indicando una mayor caída del arco), con valores estadísticamente significativos ($p < 0.001$). Este efecto no se observó en el mismo grado en la actividad de caminata, lo que sugiere que la carrera induce cambios mecánicos que alteran la postura del pie y la morfología del arco. La conclusión señala entonces que, aunque los participantes eran inicialmente no pronadores, la actividad de carrera provocó una tendencia hacia la hiperpronación, acompañada por un descenso del arco plantar (Galloso Lagos, et al., 2023).

Más recientemente, Okamura y otros, (2021), reconocen indirectamente una asociación funcional entre la hiperpronación del pie y el descenso del arco plantar, aunque no

formulan esta relación como una causalidad directa ni como hipótesis principal. Sin embargo, sus resultados aportan evidencia que apoya la existencia de una interacción entre ambos fenómenos, especialmente durante la fase de apoyo en la marcha o carrera, al partir del reconocimiento de que los pies con deformidad pronada suelen presentar una reducción en la altura del arco longitudinal medial (MLA), lo cual ha sido a su vez asociado previamente con mayor incidencia de lesiones por sobreuso como la fascitis plantar y el síndrome de estrés tibial medial. En este contexto, evaluaron la morfología muscular del pie (en particular, los músculos intrínsecos como el abductor hallucis y el flexor hallucis brevis) y su relación con dos variables: la severidad de la pronación (medida con el Foot Posture Index, FPI-6) y la deformación dinámica del arco plantar durante la marcha, cuantificada mediante el Dynamic Navicular Drop (DND) (Okamura, et al., 2021).

Sus resultados mostraron además que, aunque no hubo correlación significativa entre la severidad de la pronación (FPI-6) y el grosor muscular, sí se observó una correlación negativa entre el DND y el grosor del abductor hallucis ($r = –0.47$, $p = 0.014$) y del flexor hallucis brevis ($r = –0.39$, $p = 0.047$), lo que significa que los individuos con mayor desarrollo de estos músculos presentaron menor deformación dinámica del arco durante el apoyo, lo que sugiere una función protectora de estos músculos frente al colapso del arco plantar. Asimismo, discuten en su estudio que, si bien el Navicular Drop estático refleja hipofunción ligamentosa característica del pie pronado, el descenso dinámico (DND) parece depender más de la actividad muscular, especialmente de los músculos intrínsecos mediales del pie. En consecuencia, este estudio sostiene que, en individuos con pie pronado, una mayor masa muscular en estas estructuras se asocia con una mejor capacidad para resistir el colapso del arco durante la marcha o la carrera (Okamura, et al., 2021).

Zhang, y otros (2022), se enfocaron en su investigación en evaluar cómo diferentes combinaciones de soportes del antepié (forefoot wedges) y del arco plantar (arch supports) modifican la trayectoria del centro de presión (COP) y la distribución de presiones plantares durante la carrera. Los participantes de este estudio presentaban un patrón de pisada de retropié y tenían un puntaje alto en el Foot Posture Index (FPI), lo cual identifica un pie pronado sintomático. Sus resultados muestran que los corredores con pie pronado presentan una carga más alta sobre la región medial del antepié y el talón, lo cual es característico de una alteración en el sostén del arco plantar. Además, se observó que las órtesis con cuñas en el antepié —especialmente las mediales—

desplazaron lateralmente el centro de presión durante las fases de apoyo medio y propulsión, mientras que los soportes de arco por sí solos tuvieron efectos limitados en la trayectoria del COP y en la redistribución de cargas plantares.

Es así que, aunque el estudio no mide directamente la altura del arco plantar, la discusión sugiere que la deformación del arco está implicada en la mecánica del pie pronado, y que la combinación de hiperpronación con desplazamientos mediales del COP podría estar relacionada con un colapso funcional del arco plantar, especialmente bajo carga repetitiva, como ocurre en la carrera prolongada. Citan además literatura previa que respalda la idea de que el pie pronado presenta una menor resistencia estructural en el arco medial, lo cual podría conducir a su progresivo descenso en condiciones de sobreuso.

Justificación

La presente investigación surge de la necesidad de comprender, desde un enfoque fundamentado en la evidencia científica reciente, la relación entre dos fenómenos frecuentes en la población de corredores de fondo: la hiperpronación del pie y el descenso del arco plantar. Estos factores biomecánicos, cuando se presentan de forma persistente o no corregida, pueden provocar alteraciones funcionales que afectan negativamente tanto la salud musculoesquelética como el rendimiento deportivo de los atletas (Orozco Villaseñor, et al., 2021). El estudio se realizó con el propósito de clarificar esta relación, detectar sus implicancias clínicas y deportivas, y contribuir a una mejora en las estrategias preventivas y correctivas destinadas a minimizar el riesgo de lesiones asociadas.

Desde el punto de vista de su conveniencia, la investigación aborda una problemática común en el ámbito del deporte y la actividad física sistematizada, especialmente en disciplinas de resistencia como el fondismo, donde la mecánica del pie desempeña un rol central. La hiperpronación, al alterar la alineación articular y la distribución de cargas durante la fase de apoyo, puede desencadenar el colapso del arco plantar medial y generar una cascada de compensaciones biomecánicas que afectan articulaciones proximales, como la rodilla, la cadera y la columna lumbar (Castellini, 2022). En este sentido, conocer a profundidad las variables implicadas es de gran utilidad para atletas, entrenadores, kinesiólogos, fisioterapeutas, podólogos y profesionales de la salud que intervienen en el entrenamiento y la recuperación de corredores.

En términos de relevancia social, este trabajo adquiere especial pertinencia considerando la popularidad y el crecimiento sostenido de la práctica de carreras de fondo tanto en contextos amateur como profesionales, así como la proliferación de eventos deportivos que promueven estilos de vida activos. En este marco, las lesiones por sobreuso o mala alineación del pie representan una causa frecuente de interrupción en la práctica deportiva y pueden conducir, si no son adecuadamente tratadas, a afecciones crónicas o a la deserción definitiva del deporte (Alonso, 2024).

Desde el punto de vista de las implicaciones prácticas, la investigación permite sistematizar estrategias de prevención y corrección de la hiperpronación y el descenso del arco plantar que han demostrado eficacia en contextos clínicos y deportivos. El análisis crítico de la literatura científica reciente posibilita reconocer qué intervenciones cuentan con mayor respaldo empírico, tales como plantillas ortopédicas personalizadas, ejercicios de fortalecimiento y control neuromuscular, modificaciones en el calzado, entre otras.

El valor teórico de esta investigación reside en su capacidad para integrar diversos enfoques disciplinares en un análisis que amplía la comprensión sobre el funcionamiento del complejo articular del pie en condiciones de carga repetitiva, como ocurre en el fondismo. La utilidad metodológica se refleja a su vez en su utilidad como modelo para investigadores que deseen abordar temáticas similares en el campo de la biomecánica, la medicina deportiva o la rehabilitación funcional, fortaleciendo así el vínculo entre la investigación académica y la práctica profesional.

Objetivos

General

Determinar la relación existente entre la hiperpronación del pie y el descenso del arco plantar en corredores de fondo.

Específicos

- Identificar los factores biomecánicos y anatómicos involucrados en la hiperpronación del pie que favorecen el descenso del arco plantar en corredores de fondo.

- Analizar la influencia del descenso del arco plantar sobre el desarrollo de patologías frecuentes asociadas a la carrera de fondo.
- Evaluar las estrategias preventivas y correctivas destinadas a controlar o mitigar la hiperpronación y el descenso del arco plantar en corredores.

Marco teórico

Anatomía funcional del pie y del arco plantar

El pie humano es una estructura compleja que cumple funciones esenciales de soporte, amortiguación y propulsión durante las actividades de bipedestación y locomoción (Schuster et al., 2024). Desde una perspectiva anatómica funcional, el arco plantar medial constituye una de las formaciones más relevantes del pie, ya que participa activamente en la distribución del peso corporal, la absorción del impacto y el almacenamiento de energía elástica durante la marcha y la carrera en la medida que está formado por un conjunto articulado de estructuras óseas, ligamentosas y musculares que actúan en conjunto para mantener su integridad mecánica bajo condiciones de carga dinámica (Chauhan & Taqi, 2022).

Las principales estructuras óseas que conforman el arco plantar medial incluyen el calcáneo, el talus, el navicular, las tres cuñas (cuneiformes medial, intermedia y lateral) y los tres primeros metatarsianos, todos dispuestos en una configuración que permite el ascenso y descenso del arco en función de la fase del ciclo de apoyo (Babú & Bordoni, 2024). La articulación subtalar, que une el talus con el calcáneo, es clave para permitir los movimientos de inversión y eversión del retropié, que a su vez modulan la altura y estabilidad del arco. Sobre esta base ósea se insertan estructuras ligamentosas como el ligamento plantar largo, el ligamento calcaneonavicular plantar (también denominado ligamento "resorte") y la aponeurosis plantar, los cuales ofrecen soporte pasivo al arco longitudinal (Gómez Martín & Cobos Moreno, 2024).

El arco plantar puede clasificarse morfológicamente en tres tipos principales: arco normal, arco alto o cavo, y arco caído o plano. El arco normal se caracteriza por una curvatura equilibrada que permite una distribución eficiente de las fuerzas mecánicas en el pie (Sánchez Ramirez, 2020). En individuos con arco

cavo se observa una elevación pronunciada del arco medial, lo cual puede generar un patrón de apoyo más centrado en el talón y la cabeza del primer metatarsiano, con menor superficie de contacto plantar cuya configuración puede aumentar la rigidez del pie y limitar su capacidad amortiguadora (Rosenwasser, et al., 2022). Por el contrario, el pie plano o con arco caído presenta una disminución o colapso del arco medial que se traduce en una mayor área de contacto con el suelo y una tendencia a la pronación excesiva durante el apoyo, con posibles repercusiones en la alineación del miembro inferior (Núñez Samper, et al., 2021).

Dentro del sistema de tejidos blandos, la fascia plantar desempeña un papel primordial en el mantenimiento pasivo del arco plantar ya que se trata de una banda fibrosa que se extiende desde el tubérculo medial del calcáneo hasta las cabezas de los metatarsianos, contribuyendo al sostén de la bóveda plantar y actuando como un resorte durante la fase de propulsión (Buchanan, et al., 2024). La tensión generada en la fascia durante la dorsiflexión de los dedos en la fase terminal del apoyo ayuda a conservar la integridad del arco y a facilitar el despegue del pie. Junto a esta estructura, los músculos intrínsecos del pie, especialmente el abductor hallucis, el flexor hallucis brevis y el flexor digitorum brevis, participan activamente en la estabilización dinámica del arco medial, contrarrestando su descenso durante la carga y ajustando finamente la postura del pie y actuando en sinergia con músculos extrínsecos como el tibial posterior, cuya función es esencial para la supinación del retropié y el control de la pronación excesiva (Card & Bordoni, 2023).

Las articulaciones implicadas en el funcionamiento del arco plantar, además de la subtalar, incluyen la articulación talonavicular y las cuneometatarsianas, que contribuyen a la flexibilidad y adaptabilidad del mediopié frente a las demandas mecánicas del terreno de manera que, el equilibrio funcional entre la movilidad y la rigidez de estas articulaciones es crucial para conservar la eficacia biomecánica del pie durante la marcha y la carrera. En suma, la arquitectura del arco plantar medial es el resultado de una interacción coordinada entre elementos óseos, ligamentosos y musculares, cuya integridad es indispensable para un desempeño eficiente y saludable en actividades físicas que impliquen impacto repetitivo, como la carrera de fondo (Sánchez Ramirez, 2020).

Fisiología del ciclo de la marcha y la carrera

La marcha y la carrera son formas de locomoción humana que comparten una base fisiológica común, pero presentan diferencias significativas en términos de patrones de activación muscular, control neuromotor y exigencias mecánicas sobre las estructuras del sistema musculoesquelético (Biancardi, et al., 2020). En ambos casos, el pie desempeña un papel fundamental como estructura de apoyo y elemento de propulsión, ajustándose de manera dinámica a los cambios en la carga, la velocidad y las características del terreno (Gómez Martín & Cobos Moreno, 2024). Durante la carrera, las fuerzas de impacto, el tiempo de contacto con el suelo y la necesidad de una restitución eficiente de energía elástica requieren una participación altamente coordinada de los componentes estructurales y funcionales del pie, en particular del arco plantar (Taddei, et al., 2020).

El ciclo de apoyo plantar en la carrera puede subdividirse en tres fases: contacto inicial o impulsión, apoyo medio y vuelo o propulsión. En la fase de contacto inicial, el pie entra en contacto con el suelo generalmente a través del retropié o, en algunos corredores, del mediopié o antepié, dependiendo del patrón individual de pisada. Esta fase está caracterizada por una rápida desaceleración del cuerpo y por la necesidad de amortiguar el impacto mediante mecanismos pasivos como la flexión de articulaciones y la deformación elástica de tejidos. En la fase de apoyo medio, el peso del cuerpo se traslada sobre el eje longitudinal del pie, generando una carga máxima que debe ser distribuida eficientemente para evitar concentraciones de presión y estrés estructural. Finalmente, durante la fase de propulsión, se produce una elevación del arco plantar, los dedos se despliegan y la acción de los músculos se focaliza en impulsar el cuerpo hacia adelante, utilizando la energía previamente almacenada en las etapas anteriores del ciclo de marcha (Gómez Martín & Cobos Moreno, 2024).

El arco plantar medial cumple por su parte una función esencial en la dinámica de la carrera, al comportarse como un resorte que almacena energía durante el contacto inicial y el apoyo medio, para luego liberarla en la fase de impulso y esta función elástica se debe tanto a la deformación controlada de estructuras pasivas, como la fascia plantar y los ligamentos, como a la acción coordinada de

los músculos intrínsecos y extrínsecos del pie (Gómez Martín & Cobos Moreno, 2024).

En la fase de apoyo, el arco plantar desciende ligeramente para ajustarse a las irregularidades del terreno y amortiguar el impacto. Posteriormente, durante la fase de despegue, el arco se eleva debido a la acción muscular y a la tensión generada por la extensión de los dedos, conocida como mecanismo de *windlass*. Este proceso cíclico de deformación y recuperación convierte al pie en un resorte natural que contribuye a una locomoción más eficiente desde el punto de vista energético (Wiegand, et al., 2022).

Definición y características de hiperpronación

La pronación del pie es un movimiento fisiológico integrado al ciclo normal de la marcha y la carrera, caracterizado por la combinación de eversión del calcáneo, abducción y dorsiflexión del antepié. Esta secuencia permite que el pie se adapte a las irregularidades del terreno, amortigüe el impacto inicial al contactar con el suelo y distribuya de manera homogénea las cargas a través del arco plantar. Bajo condiciones funcionales adecuadas, dicho movimiento se produce durante la fase de apoyo de la marcha y está regulado por la interacción coordinada de componentes óseos, ligamentosos y musculares (Mousavi, et al., 2024).

No obstante, cuando la magnitud o duración de este movimiento excede los límites biomecánicos considerados normales, se produce lo que se denomina hiperpronación o pronación excesiva. Esta condición se caracteriza por una eversión excesiva del retropié durante la fase de apoyo, lo que altera la alineación de los segmentos del miembro inferior y compromete la función estabilizadora del arco plantar medial (Resende, Pinheiro, & Ocarino, 2019). La hiperpronación puede ocasionar una disminución gradual del soporte estructural del pie, lo que propicia el hundimiento del arco plantar y produce una distribución desigual de las cargas, impactando negativamente en articulaciones cercanas como la rodilla y la cadera, no obstante, este fenómeno no debe considerarse una patología en sí, sino más bien una alteración biomecánica que, si no se corrige adecuadamente, puede aumentar el riesgo de desarrollar lesiones por sobreuso (Willwacher, et al., 2022).

Las causas de la hiperpronación pueden ser múltiples y abarcan tanto factores estructurales como funcionales. Entre las causas estructurales se incluye la laxitud ligamentosa generalizada, que reduce la capacidad del sistema pasivo para sostener la bóveda plantar frente a la carga. Asimismo, las alteraciones en la conformación ósea del pie, como un astrágalo con inclinación medial o un calcáneo valgo, pueden predisponer mecánicamente a la hiperpronación. Desde un enfoque funcional, la debilidad de los músculos responsables de estabilizar el arco plantar —particularmente el tibial posterior y los músculos intrínsecos del pie— puede favorecer el colapso progresivo del arco medial ante cargas repetidas. Este deterioro se ve potenciado por desajustes posturales en la cadena cinética, como el valgo de rodilla, la anteversión femoral o la inestabilidad de la pelvis, que generan compensaciones biomecánicas descendentes y alteran el patrón de apoyo del pie. En corredores de fondo, estos factores se agravan debido al esfuerzo constante y la fatiga acumulada, lo que compromete la eficacia de los sistemas de control activo y pasivo del movimiento del pie (Mousavi, et al., 2024).

Descenso o colapso del arco plantar

El arco plantar medial es una estructura anatómica fundamental en la mecánica del pie, cuya integridad permite la distribución equilibrada de las cargas, la absorción de impactos y la restitución de energía durante la locomoción (Buchanan, et al., 2024). Cuando este arco pierde su curvatura fisiológica y se aproxima al plano del suelo, se produce lo que se conoce como descenso o colapso del arco plantar. Esta condición, también denominada pie plano funcional cuando ocurre en ausencia de alteraciones óseas estructurales fijas, puede surgir como consecuencia de disfunciones mecánicas acumulativas y es particularmente frecuente en actividades de impacto repetitivo como la carrera de fondo (Raj, et al., 2023).

El colapso del arco plantar durante la carrera se produce por la interacción entre la carga axial, la fatiga muscular y la disminución de la rigidez estructural del pie de manera que, durante la fase de apoyo medio, el peso corporal genera una fuerza descendente sobre el navicular y los huesos cuneiformes. Si los elementos pasivos de sostén, como el ligamento calcaneonavicular plantar y la fascia

plantar, no resisten adecuadamente esta carga, y el sistema muscular no logra compensar, se aplanará el arco. Es así que, la repetición continua del gesto de carrera, especialmente en superficies duras o con calzado inadecuado, incrementa el riesgo de que esta deformación transitoria se vuelva permanente (Castellini, 2022).

El colapso del arco plantar no solo afecta entonces la biomecánica local del pie, sino que también provoca compensaciones ascendentes en las articulaciones del miembro inferior. En la articulación subastragalina, la disminución de la altura del arco medial favorece una mayor eversión del calcáneo, lo que altera la alineación del retropié y modifica el eje de movimiento, afectando la capacidad adaptativa del pie durante la marcha y la carrera (Castellini, 2022). Esta modificación en la posición del calcáneo se transmite en forma de rotación interna de la tibia, lo cual puede comprometer la mecánica de la rodilla, incrementando el valgo dinámico y la tensión sobre estructuras como el ligamento colateral medial o la banda iliotibial. A su vez, la rotación interna de la tibia afecta la cinemática de la cadera, promoviendo patrones de inestabilidad pélvica, sobrecarga del glúteo medio y desalineación general de la cadena cinética. Estas compensaciones pueden traducirse en un aumento del riesgo de lesiones por sobreuso, tales como síndrome patelofemoral, tendinopatía del glúteo medio o dolor lumbosacro asociado a desbalances posturales (Kacprzak, et al., 2024).

Biomecánica de la carrera de fondo y sus exigencias sobre el pie

En la carrera de fondo, el pie debe afrontar cargas repetitivas durante períodos prolongados, lo cual exige adaptaciones fisiológicas que permitan mantener la funcionalidad del arco plantar y prevenir la fatiga estructural. Entre las adaptaciones observadas se encuentra el fortalecimiento de los músculos intrínsecos del pie, la mejora del control neuromuscular en la fase de apoyo y el desarrollo de patrones de pisada más eficientes desde el punto de vista mecánico. No obstante, cuando estas adaptaciones no son suficientes o cuando existen predisposiciones anatómicas como la hiperpronación, el arco plantar puede verse comprometido de manera que, bajo cargas repetitivas, el colapso del arco puede volverse progresivo, afectando la capacidad del pie para almacenar y liberar

energía de forma eficaz, lo cual incrementa el riesgo de lesiones por sobreuso en las estructuras adyacentes, como la fascia plantar, el tendón tibial posterior o las articulaciones del retropié y mediopié (Raj et al., 2023; Buchanan, et al., 2024).

Patologías asociadas a la hiperpronación y al descenso del arco plantar

La fascitis plantar es una de las patologías que con mayor frecuencia se vinculan a la hiperpronación del pie ya que se trata de un trastorno que se manifiesta principalmente por dolor e inflamación en la fascia plantar, particularmente en su zona de inserción cercana al tubérculo medial del calcáneo donde la presencia sostenida de hiperpronación provoca una sobrecarga tensional en esta estructura, producto del estiramiento continuo del arco plantar medial durante la fase de apoyo en la marcha o carrera. Esta tensión mecánica excesiva puede favorecer la aparición de microlesiones repetitivas a lo largo del tiempo (Babú & Bordoni, 2024). De manera similar, el hundimiento del arco afecta negativamente la capacidad de la fascia para actuar como un mecanismo elástico, reduciendo su eficacia en la recuperación de energía durante el movimiento y elevando su susceptibilidad a sufrir alteraciones degenerativas (Raj et al., 2023; Buchanan, et al., 2024).

Otra patología estrechamente relacionada con la hiperpronación es la tendinopatía del músculo tibial posterior. Este músculo cumple una función esencial en la regulación dinámica del arco plantar y en la estabilización del retropié. Ante la presencia de hiperpronación, el tibial posterior se ve obligado a actuar de forma continua para impedir el colapso del arco, lo cual puede provocar inflamación, dolor e incluso una rotura parcial o completa del tendón si no se implementa una intervención oportuna. La evolución de esta tendinopatía puede intensificar la caída del arco plantar, perpetuando un ciclo vicioso de alteración estructural y deterioro funcional progresivo (Núñez Samper, et al., 2021).

Los esguinces de tobillo, especialmente los de tipo inverso o medial, también pueden asociarse a un patrón de pisada hiperpronado, dado que la posición de valgo del retropié y la inestabilidad del arco medial reducen la capacidad de contención lateral del tobillo frente a movimientos bruscos o superficies irregulares (Melanson & Shuman, 2023). Asimismo, el síndrome de estrés tibial

medial, frecuente en quienes practican carreras, se relaciona con el hundimiento del arco del pie. Esta alteración genera una tracción elevada por parte de los músculos tibiales sobre la superficie ósea de la tibia (periostio), especialmente durante el contacto prolongado del pie con el suelo en presencia de una pronación más allá de lo normal (McClure & Oh, 2023).

La relación entre alteraciones estructurales del pie y lesiones por sobreuso son especialmente comunes en poblaciones de corredores y atletas de resistencia. El pie pronado funcional y el pie plano adquirido son configuraciones que, si bien no siempre derivan en sintomatología, se asocian con un riesgo incrementado de padecer lesiones crónicas en presencia de factores agravantes como el aumento del volumen de entrenamiento, superficies duras o calzado inadecuado (Núñez Samper, et al., 2021). Estas alteraciones modifican los vectores de fuerza y aumentan la tensión sobre estructuras específicas, promoviendo procesos inflamatorios o degenerativos.

Evaluación clínica y biomecánica de la pronación y del arco plantar

Dentro de los instrumentos clínicos más utilizados para analizar el comportamiento del arco plantar y el grado de pronación del pie se destaca el Foot Posture Index (FPI) que como recurso evaluativo permite determinar la categoría postural del pie —ya sea pronado, neutro o supinado— mediante la observación de seis parámetros anatómicos específicos mientras el individuo se encuentra de pie en una postura relajada en la medida que una de sus principales fortalezas radica en su carácter práctico, su buena reproducibilidad y su naturaleza no invasiva, lo que favorece su implementación tanto en ámbitos clínicos como en entornos deportivos (Rosende Bautista, et al., 2022).

Otro recurso común es el análisis de huellas plantares, que se realiza mediante podogramas obtenidos por impresión o por plataformas de presión, y que permite estimar visualmente el tipo de arco plantar con base en la superficie de contacto con el suelo (Serrato Pedrosa, et al., 2024). Estas técnicas se complementan con pruebas específicas como el Navicular Drop Test, que mide la distancia de desplazamiento del hueso navicular entre la posición descargada y cargada, brindando un dato cuantificable sobre la deformabilidad del arco medial (Galloso Lagos, et al, 2023).

La baropodometría representa una de las herramientas objetivas más avanzadas en la evaluación del apoyo plantar ya que se basa en el análisis de las presiones ejercidas por las distintas regiones del pie durante el contacto con una plataforma sensorizada, lo que permite identificar patrones de carga, trayectoria del centro de presión y distribución asimétrica del peso corporal. Este tipo de evaluación dinámica es especialmente útil para detectar alteraciones funcionales que no son evidentes en posición estática y que pueden aparecer únicamente durante el movimiento, como ocurre con la hiperpronación en fase de apoyo medio (Bonalumi Bittar, et al., 2020).

La elección entre métodos subjetivos y objetivos en la evaluación de la pronación y del arco plantar implica considerar sus ventajas y limitaciones. Las herramientas clínicas basadas en la observación y palpación ofrecen accesibilidad y bajo costo, pero dependen en gran medida de la experiencia del evaluador y pueden estar influenciadas por factores como la posición del paciente o la interpretación visual. Por el contrario, los métodos instrumentales proporcionan mediciones más precisas y repetibles, pero requieren equipamiento especializado y pueden ser sensibles a variables técnicas como la velocidad del paso o el tipo de superficie de evaluación y en muchos casos, la combinación de ambas estrategias resulta la opción más adecuada, ya que permite una visión integral de la morfología y función del pie (Serrato Pedrosa, et al., 2024)

En los últimos años, el progreso de la tecnología ha impulsado la creación de herramientas cada vez más sofisticadas para el estudio biomecánico del pie. Entre estas se destacan las plataformas de fuerza, los sistemas de captura de movimiento en tres dimensiones, las plantillas inteligentes portátiles y los escáneres tridimensionales, que posibilitan una reconstrucción digital detallada de la anatomía plantar. Estas tecnologías han ampliado el alcance del análisis al permitir investigaciones en condiciones reales de entrenamiento, incorporando variables como la cadencia, la longitud de la zancada, la velocidad de desplazamiento y las características del terreno y a su vez, la incorporación de programas de análisis biomecánico ha hecho posible establecer relaciones entre los patrones de pisada y distintos indicadores clínicos y funcionales, lo que ha contribuido a generar perfiles de riesgo personalizados y a diseñar estrategias de intervención adaptadas a cada individuo (Suo, et al., 2024).

Estrategias preventivas y correctivas según literatura científica

Las plantillas ortopédicas personalizadas han sido ampliamente utilizadas como recurso correctivo para controlar la pronación excesiva y brindar soporte al arco plantar. Estas órtesis se diseñan en función de la morfología del pie y del análisis de la pisada, y su objetivo es restablecer una alineación más funcional durante el apoyo plantar. Las plantillas pueden reducir la presión en el arco medial, modificar la trayectoria del centro de presión y disminuir la tensión sobre estructuras como la fascia plantar o el tendón tibial posterior (Mohaddis, et al., 2023).

Los ejercicios de fortalecimiento del arco plantar y de la musculatura intrínseca del pie han sido promovidos como alternativa o complemento a las órtesis ya que buscan mejorar la capacidad estabilizadora activa del pie, reforzando músculos como el abductor hallucis, el flexor digitorum brevis y otros responsables del control del arco medial (Molina García, et al., 2022). El entrenamiento propioceptivo, por su parte, contribuye al control postural y a la corrección del posicionamiento del retropié mediante la activación de respuestas neuromusculares frente a estímulos desestabilizantes en tanto es especialmente útil en corredores que presentan inestabilidad funcional o antecedentes de esguinces, ya que mejora la coordinación entre segmentos del miembro inferior y optimiza el control dinámico del pie durante la fase de apoyo (Yilmaz, et al., 2024).

El diseño del calzado influye a su vez, directamente en la mecánica del pie, y elementos como el soporte del arco, la rigidez de la suela, la altura del talón (drop) y la estabilidad lateral pueden favorecer o dificultar un patrón de pisada más eficiente de manera que la elección del calzado debe, por tanto, individualizarse en función del tipo de pie, del nivel de experiencia del corredor y de los objetivos del entrenamiento (Derby, et al., 2023).

Marco metodológico

La presente investigación cualitativa se inscribe dentro del enfoque de estudios de tipo bibliográfico y la técnica de recolección de datos consistió en una búsqueda sistemática de literatura científica actualizada que devino en una selección intencionada de 23

artículos científicos publicados entre los años 2019 y 2024, extraídos de repositorios como PubMed, BVSalud, SciELO y ResearchGate. Los documentos fueron seleccionados bajo criterios de pertinencia temática, actualidad, calidad metodológica y disponibilidad de información aplicable al campo de estudio, asegurando la inclusión de investigaciones en humanos, revisiones sistemáticas y metaanálisis. Se consideraron únicamente publicaciones en idioma inglés o castellano.

Análisis de resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos en la siguiente tabla que describe la convergencia o divergencia de cada uno de los 19 estudios reunidos con las categorías de análisis requeridas:

Artículos	Factores biomecánicos y anatómicos de la hiperpronación asociados al descenso del arco plantar	Influencia del descenso del arco plantar sobre patologías y estructuras articulares relacionadas	Estrategias preventivas y correctivas con evidencia de eficacia
(Galloso Lagos, y otros, 2023)	Se observó un aumento significativo en el índice de postura del pie (FPI) y el test de descenso navicular (NDT) tras 45 y 60 minutos de carrera, lo cual se interpreta como hiperpronación progresiva inducida por fatiga muscular. Esta pronación genera un colapso del arco plantar medial.	Aunque se menciona en la introducción que la hiperpronación puede estar relacionada con lesiones (fasciitis, dolor lumbar, etc.), no se investiga ni se presentan datos empíricos sobre aparición de patologías	Se plantea que el conocimiento del momento en que aparece la hiperpronación permite diseñar estrategias de prevención mediante el entrenamiento de la musculatura intrínseca del pie. No se evalúa ninguna intervención, pero se sugiere su aplicación clínica.
(Okamura, Egawa, Ikeda, Fukuda, &	Se encontró que la mayor activación y	El estudio no reporta datos sobre	Se menciona que los ejercicios de

Kanai, 2021)	desarrollo del abductor hallucis y del flexor hallucis brevis se correlacionan negativamente con el descenso navicular dinámico, lo cual sugiere que estos músculos ayudan a reducir la deformación del arco medial durante la marcha	patologías, ni hace referencia directa a estructuras lesionadas o afectadas por la hiperpronación o el descenso del arco	fortalecimiento del pie son una práctica clínica habitual y que sus efectos sobre la cinemática dinámica podrían ser relevantes, pero el estudio no evalúa ninguna intervención, solo sugiere su importancia futura.
(Zhang, Lam, & Vanwanseele, 2022)	Se describe cómo la pronación excesiva está relacionada con una mayor carga plantar en el antepié medial y hallux. Se midieron trayectorias del centro de presión (COP) y distribuciones de carga plantar que evidencian alteraciones biomecánicas asociadas a pies pronados.	Se menciona que las alteraciones en la trayectoria del COP y la carga plantar se vinculan con riesgo de lesiones por sobreuso (como dolor patelofemoral y de la pierna), pero no se investigan directamente patologías ni estructuras lesionadas.	Se evalúa experimentalmente la eficacia de distintas combinaciones de soportes plantares (cuñas de antepié y arcos) para modificar la cinemática del pie y redistribuir la carga durante la carrera. Se concluye que las cuñas de antepié son más efectivas que los soportes del arco.

(Gao, Mei, Xiang, & Gu, 2020)	Se observaron diferencias en la distribución de cargas plantares, en particular en la región media y antepié (meta loading), entre corredores novatos y experimentados. La menor carga en corredores experimentados sugiere un control funcional del pie que podría asociarse con menor pronación y mejor soporte del arco plantar.	Se discute que una carga plantar elevada en regiones específicas (como M2 y M3) podría asociarse con riesgo de fracturas por estrés, pero el estudio no evalúa directamente lesiones ni estructuras articulares afectadas.	El estudio no propone ni evalúa intervenciones. Aunque se mencionan posibles adaptaciones beneficiosas por experiencia en corredores, no se describen estrategias preventivas o terapéuticas con respaldo empírico.
(Nakagawa, Mitomoto, & Takahashi, 2020)	El estudio demostró que el ejercicio "Short Foot Exercise" (SFE)[1] disminuyó significativamente el drop navicular tras tres meses de intervención, lo que evidencia una	Se observó que la reducción del drop navicular se asoció con una disminución de episodios de dolor durante el período de intervención, sugiriendo que el refuerzo del arco	Se comprobó que la implementación del SFE produjo mejoras temporales en la función del arco y en la fuerza de prensión del pie. No obstante, los efectos desaparecieron al

[1] El SFE consiste en acercar la cabeza del primer metatarsiano hacia el talón, sin flexionar los dedos ni levantar el antepié del suelo. Esta acción genera una contracción isométrica de los músculos profundos del pie. El movimiento debe hacerse de forma controlada, manteniéndose durante aproximadamente 5 segundos y repitiéndose en varias series. Inicialmente se realiza en posición sentada y puede progresar a posturas de pie o unipodales para aumentar su dificultad.

	mejora en la altura del arco medial asociada a la activación de musculatura intrínseca del pie.	podría reducir el riesgo de molestias musculoesqueléticas vinculadas a sobrecarga funcional.	suspender la intervención, por lo que se destaca la necesidad de continuidad para mantener los beneficios.
(Kinga Zdunek, Marszalek, & Molik, 2020)	Se observaron diferencias en el ángulo de Clarke (indicador del arco longitudinal) y en la distribución de carga plantar entre disciplinas (lanzamiento vs. salto), influenciadas por el índice de masa corporal y esto sugiere una relación entre morfología, carga y estructura del arco.	Se menciona que la carga plantar anómala puede estar asociada a deterioro funcional del pie en atletas con sobrepeso u obesidad, aunque no se documentan patologías específicas ni estructuras lesionadas.	Se sugiere, en la discusión, que estrategias como el control del peso corporal, uso de calzado adecuado y ejercicios personalizados podrían prevenir alteraciones, aunque no se aplican ni evalúan en el estudio.
(Chrysoula, Efthymios, & Andreas, 2021)	Se menciona que la altura anormal del arco plantar y deformidades estructurales como el pie cavo o el pie plano pueden ser factores de riesgo para lesiones, pero	El artículo señala que ciertas configuraciones del arco (especialmente el arco bajo) se han asociado con mayor incidencia de lesiones como fascitis plantar,	Se mencionan enfoques preventivos generales, como el uso adecuado de calzado y dispositivos ortésicos, así como la importancia del

	no se analiza en detalle su relación directa con la hiperpronación o el descenso funcional del arco.	tendinopatías y sobrecargas articulares en el miembro inferior.	control muscular, pero sin evaluar intervenciones específicas ni medir su eficacia clínica o deportiva.
(Jastifer, 2022)	El artículo vincula la fatiga de los músculos intrínsecos del pie con el aumento de la pronación y el descenso del arco plantar, evidenciado por la disminución de la altura navicular luego de carreras prolongadas. También resalta el papel de la fascia plantar en la rigidez y estabilidad del arco.	Se asocia la debilidad de la musculatura intrínseca con patologías como fascitis plantar, metatarsalgia y dolor inespecífico del arco, todas relacionadas con la disfunción en la mecánica del pie durante la carrera.	Se recomienda el fortalecimiento de los músculos intrínsecos, incluyendo el Short Foot Exercise (SFE), como medida preventiva y terapéutica. Se cita evidencia de su efectividad en la mejora del control postural, disminución del drop navicular y reducción del riesgo de lesiones. También se abordan el uso de ortesis y la importancia de la comodidad del calzado, aunque con resultados de eficacia más inciertos.
(Kongtong,	Se evaluaron los	Se asoció el	No abordado

Limroongreungrat, & Khongprasert, 2022)	ángulos dinámicos del arco longitudinal (LA) durante la fase de frenado y propulsión en corredores con fascitis plantar y se evidenció mayor deformación del arco en este grupo, asociada a mayores impulsos plantares.	incremento del ángulo del arco y el aumento de los impulsos plantares con el engrosamiento de la fascia plantar (PFT > 4 mm) y con menor umbral de dolor (PPT), lo cual indica inflamación y mayor sensibilidad al dolor en corredores con fascitis plantar.	
(Sánchez Ramirez, 2020)	Se describe la relación entre el tipo de arco plantar (evaluado por el Arch Index) y su variabilidad morfológica, mencionando el pie plano como asociado a mayor superficie de apoyo en mediopié y mayor carga. No se analiza específicamente la hiperpronación, pero se infiere su vínculo.	Se afirma que los pies con arco plantar bajo tienen mayor asociación con dolor en las extremidades inferiores y con lesiones como fascitis plantar, síndrome tibial medial y tendinopatías, en especial en corredores y se mencionan también efectos en pelvis y fémur por alineación	Se plantea la necesidad de que los atletas conozcan su tipo de arco plantar para elegir calzado deportivo adecuado. Se sugiere la evaluación periódica del pie y la prescripción profesional del calzado como estrategia preventiva, pero sin que el estudio aplique ni evalúe

		defectuosa.	dichas intervenciones.
(Wiegand, Tandy, & Freedman Silvernail, 2022)	El estudio identificó mayor extensión y eversión del mediopié, y menor extensión del antepié en corredores con fascitis plantar activa de manera que estas alteraciones se interpretan como una manifestación de un arco plantar dinámicamente más bajo y más flexible durante la marcha.	Se asocia la disfunción de la mecánica del arco medial con mayor riesgo de lesión y con síntomas de fascitis plantar. El menor rango de extensión del antepié (afectación del mecanismo de Windlass) sugiere sobrecarga en la fascia y pérdida de estabilidad estructural del pie.	Aunque no se implementan ni evalúan estrategias directamente, el estudio sugiere que la evaluación dinámica multisegmentaria del pie podría orientar intervenciones clínicas. Se plantea la necesidad de futuras investigaciones en rehabilitación para restituir la mecánica óptima del arco.
(Xiang, Gu, Wang, & Mei, 2022)	El artículo describe que, tras 10 km de carrera, se incrementó significativamente el índice de postura del pie (FPI-6), la presión bajo el arco plantar y el ángulo del tendón de Aquiles, indicando un aumento de la	Se reporta que el incremento de la pronación durante la carrera se asocia con un aumento en la aceleración del impacto en la tibia distal, lo que sugiere un mayor riesgo de sobrecarga y potenciales lesiones. Sin	No abordada

	pronación y una mayor carga en el arco. Estos cambios se vinculan con la deformación del arco durante la carrera.	embargo, no se vinculan directamente con una patología específica, pero se menciona el riesgo de lesiones por sobreuso como fracturas por estrés.	
(Roche Seruendo, y otros, 2023)	El artículo se centra en los patrones de contacto del pie (rearfoot, midfoot, forefoot), con énfasis en la biomecánica y cargas articulares. Si bien no aborda directamente la hiperpronación ni el descenso del arco plantar, sí menciona la influencia del tipo de contacto en la distribución de fuerzas y eversión del retropié, que podrían asociarse funcionalmente a hiperpronación.	El artículo detalla que el patrón RFS (retropié) está asociado a un mayor pico de carga vertical y estrés en la rodilla, mientras que el patrón NRFS implica mayor tensión en tendón de Aquiles y musculatura plantar. No se menciona específicamente el descenso del arco plantar, pero se vincula el patrón de apoyo con sobrecargas articulares.	Se abordan intervenciones para modificar el patrón de pisada con fines preventivos o terapéuticos. Se advierte que la transición RFS→NRFS podría ser beneficiosa en ciertos corredores, pero debe ser individualizada. Se analizan riesgos y beneficios, así como recomendaciones sobre el uso de calzado y su influencia en la biomecánica.
(Del Duchetto,	El artículo reporta	Si bien el descenso	Se analiza en

Dussault Picard, Gagnon, Dixon, & Cherni, 2024)	que las ortesis plantares (FOs) disminuyen la eversión del retropié y/o calcáneo, lo cual es una manifestación biomecánica directa de control de la hiperpronación. Se destaca que esta modificación afecta el patrón de carga plantar y puede influir en la morfología funcional del arco longitudinal.	del arco plantar no es abordado explícitamente, se menciona que la pronación excesiva está asociada a patologías comunes del corredor (fascitis plantar, tendinopatía aquílea, síndrome de estrés tibial medial). Se reporta que las FOs modifican la cinemática articular y reducen la sintomatología.	detalle el uso de ortesis plantares como estrategia terapéutica en corredores sintomáticos. Se presentan efectos inmediatos y a largo plazo sobre dolor, control neuromuscular, y biomecánica. Se recomienda su integración dentro de un plan de tratamiento multidisciplinar para mayor eficacia.
(Kuroda, y otros, 2024)	Se documenta un aumento significativo del Dynamic Navicular Drop (DND) tras correr 10 km, lo que indica una mayor deformación del arco plantar medial. Se interpreta como una disminución de la función de soporte dinámico	Si bien no se diagnostican patologías específicas, se señala que la deformación del arco durante la fase terminal de apoyo podría favorecer lesiones por sobrecarga, como la fascitis plantar, al alterar la distribución de	Se proponen intervenciones como el fortalecimiento de músculos intrínsecos y el uso de plantillas o vendajes tras la carrera para restaurar la función del arco y prevenir lesiones. Estas estrategias están fundamentadas en

	del arco, asociada a fatiga muscular intrínseca y estrés sobre la fascia plantar.	tensiones en tejidos como la fascia plantar y los metatarsianos.	evidencia previa, aunque no son aplicadas experimentalmente en este estudio.
(Mousavi, Khorramroo, & Jafarnezhadgero, 2024)	El artículo describe cómo la pronación excesiva del pie se relaciona con la eversión del retropié y alteraciones en la cinemática del arco longitudinal. Se observa que ciertas técnicas de retraining (como el forefoot strike training) incrementan la altura del arco plantar, lo cual establece una relación directa con factores anatómicos y biomecánicos implicados en el descenso del arco.	Aunque el artículo no detalla enfermedades específicas secundarias al descenso del arco, establece que la pronación excesiva se asocia con una amplia gama de lesiones en la extremidad inferior (fascitis plantar, dolor lumbar, etc.), lo cual permite inferir su vínculo con estructuras articulares comprometidas.	La revisión identifica diversas estrategias de reentrenamiento de la marcha (gait retraining), como modificar el ángulo de progresión del pie, el centro de presión o el tipo de pisada (forefoot strike), como efectivas para reducir la pronación y mejorar la cinemática del pie, con sustento empírico en estudios clínicos y biomecánicos.
(Piri, y otros, 2025)	Se identificaron niveles significativamente mayores de	Aunque no se evalúan diagnósticos clínicos, se discute	El estudio evaluó la eficacia de ortesis plantares de doble densidad para

	actividad muscular (p. ej., tibial anterior y gastrocnemio) en individuos con pies pronados, junto con un mayor "navicular drop" (>10 mm) y un índice de postura del pie elevado. Estos elementos están directamente relacionados con la biomecánica alterada de la hiperpronación y la disminución funcional del arco plantar.	la relación entre la pronación excesiva y el aumento del estrés torsional en tibia y cadera, así como la asociación con patrones anormales de alineación de miembros inferiores y mayor riesgo de lesiones por sobreuso (p. ej., síndrome femoropatelar, fascitis plantar).	reducir cargas articulares y disminuir la activación muscular excesiva durante la carrera. Los hallazgos muestran que estas ortesis modifican favorablemente parámetros cinéticos y electromiográficos, representando una intervención preventiva con evidencia empírica.
(Romero Cárdenas, 2024)	El artículo analiza el rol de la pronación durante la fase de contacto y apoyo medio del ciclo de la marcha. Describe el uso de calzado con soporte medial (stability shoes o zapatos para pronadores) para controlar el valgo	Se menciona que una pronación excesiva favorece la aparición de lesiones por sobreuso como fascitis plantar, tendinitis aquilea, síndrome de estrés tibial medial y fracturas por estrés. Aunque no se enfoca directamente	El artículo detalla el uso de calzado con estructura adaptada al tipo de pie (pronador/neutro), el análisis biomecánico previo a la elección del calzado, el concepto de "rotación de calzado" y

	del retropié y la caída del arco plantar en corredores con pies planos, lo cual está directamente relacionado con la hiperpronación y el descenso del arco.	en el descenso del arco como causa, lo vincula funcionalmente con alteraciones mecánicas predisponentes.	recomendaciones específicas para prevenir lesiones. Estas estrategias están fundamentadas en estudios revisados y aplicadas a la práctica clínica.
(Sulowska Daszyk, Zajac, & Mika, 2024)	Se documenta que tanto el entrenamiento con calzado minimalista como los ejercicios del pie corto fortalecen los músculos intrínsecos del pie, particularmente el abductor hallucis, lo cual contribuye a la formación y sostén del arco longitudinal medial, asociado a una mejor capacidad de controlar la pronación.	Aunque no se describen patologías específicas, el artículo argumenta que la debilidad muscular intrínseca del pie y la disminución del soporte del arco plantar pueden aumentar el riesgo de lesiones por sobreuso (p. ej., fascitis plantar, síndrome de estrés tibial medial), lo cual sugiere un vínculo indirecto con alteraciones articulares.	Se comparan dos estrategias: ejercicios específicos del pie (Short Foot Exercise, Vele's Lean, Reverse Tandem Gait, entre otros) y uso de calzado minimalista (Vibram Five Fingers). Ambos métodos mostraron mejoras en la velocidad del umbral de lactato (VLT), siendo más significativo el efecto de los ejercicios. Esto respalda su eficacia preventiva y de mejora del

			rendimiento.

Para que el análisis de contenido de las investigaciones seleccionadas cumpla con los objetivos del presente trabajo se propone articular los resultados en torno a tres categorías de análisis:

Categoría de análisis	Descripción
1. Factores biomecánicos y anatómicos de la hiperpronación asociados al descenso del arco plantar	Esta categoría se centra en el análisis de las condiciones estructurales y funcionales del pie que predisponen a la aparición de hiperpronación y su posible relación con el descenso del arco plantar medial, entendiendo a la hiperpronación como un exceso en el movimiento de pronación, fisiológicamente presente durante la fase de apoyo de la marcha y la carrera, pero que, al superar ciertos umbrales cinemáticos o temporales, deja de cumplir una función adaptativa para convertirse en un factor de desalineación mecánica. Anatómicamente, este movimiento anómalo involucra una eversión excesiva del calcáneo, abducción del antepié y descenso del navicular, lo cual repercute en la estabilidad del arco longitudinal medial (Resende et al., 2019).
2. Descenso del arco plantar sobre patologías y estructuras articulares relacionadas	En esta categoría se analiza el impacto del colapso funcional del arco plantar medial sobre la salud musculoesquelética, particularmente en corredores de fondo sometidos a cargas cíclicas de alto impacto. El descenso del arco plantar —también denominado pie plano funcional

	cuando no se debe a una alteración estructural ósea irreversible— se define como la pérdida de la curvatura fisiológica del arco medial, que genera un incremento en la superficie de contacto plantar y una alteración en la distribución de las fuerzas durante la locomoción (Babú & Bordoni, 2024) y esta condición se considera crítica en biomecánica porque modifica el patrón cinético de la marcha, afecta la eficacia del mecanismo de windlass y reduce la capacidad de absorción de impactos del pie. El descenso del arco se analiza en todo caso tanto como una variable morfológica, como cuando es un detonante de desórdenes funcionales que afectan la economía del gesto deportivo, predisponen a lesiones crónicas, y reducen el rendimiento y la continuidad de la práctica deportiva.
3. Estrategias preventivas y correctivas con evidencia de eficacia	La tercera categoría integra el conjunto de intervenciones orientadas a modificar factores predisponentes o a restaurar la funcionalidad del arco plantar, con el propósito de prevenir la hiperpronación excesiva y sus consecuencias asociadas. Las estrategias preventivas y terapéuticas se organizan conceptualmente en tres grupos: fortalecimiento muscular (Molina García, et al., 2022), modificación de la pisada (Mousavi, et al., 2024) y uso de ortesis plantares (Del Duchetto, et al., 2024) y en conjunto, esta categoría valora la importancia de intervenciones integradas que consideren tanto la biomecánica estructural como la

> funcionalidad activa del pie, y que sean adaptadas a las necesidades específicas del corredor en función de su tipo de pisada, historial clínico y demandas deportivas.

Factores biomecánicos y anatómicos de la hiperpronación asociados al descenso del arco plantar

La mayoría de los estudios revisados coinciden en señalar que existe una relación biomecánica sustancial entre la hiperpronación del pie y el descenso funcional del arco plantar. En varios trabajos -Xiang et al., (2022); Galloso Lagos et al., (2023); Jastifer, (2022); Kuroda et al., (2024)- se observó un aumento significativo del índice de postura del pie (FPI) y del descenso navicular tras la práctica prolongada de carrera de fondo, lo que se interpreta como resultado de fatiga muscular intrínseca y sobrecarga mecánica en la fascia plantar. Estos hallazgos reflejan entonces una convergencia teórica y empírica que sostiene que la hiperpronación no solo es una condición estática, sino que puede intensificarse dinámicamente bajo esfuerzos repetitivos. Complementariamente, investigaciones como Okamura et al. (2021) y Sulowska Daszyk et al. (2024) documentan que la activación de músculos específicos del pie, como el abductor hallucis, puede mitigar el colapso del arco, sugiriendo un componente funcional y adaptable. La propuesta de Mousavi et al. (2024), que relaciona el tipo de pisada con la restauración del arco mediante estrategias de reentrenamiento de la marcha, refuerza esta línea de interpretación funcional. Sin embargo, algunos estudios como Chrysoula et al. (2021) y Zdunek et al. (2020) se limitan a identificar variaciones morfológicas sin profundizar en la dinámica funcional del arco, evidenciando un tratamiento más general y estructural del tema, de manera que, ante estos resultados es posible expresar que existe consenso en que el descenso del arco plantar es un fenómeno dinámico asociado a mecanismos de pronación acentuada, siendo este vínculo más sólido en estudios con diseño experimental o medición cinemática en tiempo real.

Influencia del descenso del arco plantar sobre patologías y estructuras articulares relacionadas

Los hallazgos respecto al impacto patológico del descenso del arco plantar muestran un patrón de convergencia parcial. Diversos estudios - Wiegand et al., (2022); Kongtong et al., (2022); Jastifer, (2022)- relacionan directamente la deformación del arco con el riesgo de aparición de lesiones por sobreuso, en particular la fascitis plantar, metatarsalgia, dolor tibial medial y alteraciones en la mecánica de cadera y rodilla. Estos trabajos destacan a su vez que la pérdida de rigidez y estabilidad del arco medial altera la transmisión de cargas a lo largo del miembro inferior, incrementando el riesgo lesional. Por su parte, Kuroda et al. (2024) y Piri et al. (2025) señalan que los corredores con mayor deformación del arco durante la marcha presentan aumentos en las cargas articulares y mayor torsión en las estructuras tibiales y femorales, lo cual sugiere un mecanismo lesivo indirecto. En contraposición, otros estudios como los de Gao et al. (2020) o Okamura et al. (2021) no investigan directamente la presencia de patologías, aunque insinúan asociaciones funcionales entre tipo de pie y sobrecarga. De igual forma, investigaciones como la de Sánchez Ramírez (2020) y Romero Cárdenas (2024) aportan evidencias observacionales sobre la mayor prevalencia de lesiones en individuos con pies planos, sin explorar causalidad biomecánica en profundidad. Esta disparidad metodológica limita la fuerza de la relación causal en algunos estudios, aunque el conjunto de la evidencia revisada apoya consistentemente la idea de que la hiperpronación y el colapso del arco plantar representan factores de riesgo relevantes para disfunciones articulares en corredores de fondo.

Estrategias preventivas y correctivas con evidencia de eficacia

Los trabajos que abordan la eficacia de intervenciones correctivas presentan una convergencia generalizada, aunque con distintos niveles de profundidad y abordaje. El estudio de Sulowska Daszyk et al. (2024) documenta de manera rigurosa que los ejercicios de fortalecimiento de músculos cortos del pie, especialmente el *Short Foot Exercise*, producen mejoras significativas en la alineación del arco plantar y en la capacidad funcional del pie. Esta evidencia se ve reforzada por Nakagawa et al. (2020), quien observó una disminución del *drop* navicular y del dolor tras tres meses de intervención, aunque los efectos fueron temporales tras la suspensión del programa. Del Duchetto et al. (2024) y Piri et al. (2025) aportan por su parte pruebas experimentales sobre la efectividad de las ortesis plantares para reducir la eversión del retropié,

disminuir la activación muscular excesiva y redistribuir las cargas durante la carrera, sugiriendo que su aplicación en corredores sintomáticos representa una herramienta de utilidad clínica. Adicionalmente, Mousavi et al. (2024) propone un enfoque basado en el reentrenamiento de la marcha, mediante técnicas como *forefoot strike* o modificación del centro de presión, que han demostrado mejorar la altura del arco y reducir la pronación. En el plano del calzado, estudios como los de Romero Cárdenas (2024) y Roche Seruendo et al. (2023) enfatizan la importancia de seleccionar un calzado adaptado al tipo de pie y al patrón de pisada, como herramienta preventiva primaria. En conjunto, los estudios más recientes tienden a combinar la biomecánica aplicada con intervenciones prácticas, proponiendo una integración entre ortesis, ejercicios funcionales y elección del calzado como estrategias con respaldo empírico, no obstante, Chrysoula et al., (2021) limitan su tratamiento a recomendaciones generales sin validación experimental, lo que en cierta medida puede constituir una divergencia en cuanto al rigor metodológico en la evaluación de eficacia.

Conclusión

La evidencia científica revisada en el presente trabajo permite afirmar que sí existe una relación funcional estrecha entre la hiperpronación del pie y el descenso del arco plantar en corredores de fondo, sustentada en mecanismos biomecánicos que actúan de forma dinámica durante la fase de apoyo del ciclo de la carrera. Los estudios incluidos en el análisis, en su mayoría de diseño experimental o cuasi-experimental, coinciden en que la hiperpronación —ya sea inducida por factores anatómicos, fatiga muscular o desajustes en la técnica de carrera— tiende a generar un colapso progresivo del arco plantar medial, especialmente bajo condiciones de carga repetitiva como las que impone el fondismo. Esta relación no debe sin embargo interpretarse como una causalidad unidireccional sino como una interacción recíproca entre desalineaciones estructurales, disfunciones neuromusculares y demandas funcionales del gesto deportivo, lo que refuerza la necesidad de abordajes integradores en la evaluación y tratamiento de estas condiciones.

En lo que respecta a la influencia del descenso del arco plantar sobre la aparición de patologías o disfunciones articulares, los hallazgos muestran una convergencia parcial pero significativa ya que se identificaron asociaciones frecuentes entre el colapso del arco y el incremento del riesgo de desarrollar lesiones por sobreuso, tales como fascitis plantar, síndrome de estrés tibial medial, metatarsalgia, tendinopatía del tibial posterior y alteraciones en la mecánica de cadera y rodilla. Aunque no todos los estudios incluyeron el diagnóstico clínico directo de estas afecciones, sí se hallaron correlaciones biomecánicas consistentes entre la deformación del arco, la modificación de cargas articulares y la predisposición a disfunciones cinemáticas a lo largo de la cadena cinética. Esta evidencia reafirma en todo caso suficientemente que el descenso del arco plantar no es un fenómeno aislado, sino un factor que compromete la integridad funcional del pie y puede desencadenar compensaciones posturales con impacto lesional ascendente, sobre todo en corredores que no han desarrollado mecanismos de adaptación o que presentan desbalances musculares no corregidos.

Respecto a las estrategias preventivas y correctivas, la revisión bibliográfica muestra una clara tendencia hacia la validación empírica de intervenciones no invasivas orientadas al fortalecimiento muscular, la modificación del patrón de marcha y el uso adecuado de soportes plantares. El ejercicio conocido como *Short Foot Exercise*, aplicado de forma sistemática, ha demostrado mejorar la función del arco medial,

reducir la pronación excesiva y optimizar el control postural, lo que lo posiciona como una herramienta de primera elección tanto en programas de prevención como en fases iniciales de tratamiento. Asimismo, el uso de ortesis plantares y calzado adaptado al tipo de pisada han sido reconocidos como recursos eficaces para redistribuir cargas, disminuir la eversión del retropié y mejorar la cinemática global del pie durante la carrera. En menor medida, técnicas de *gait retraining* o reentrenamiento de la marcha han comenzado a mostrar efectos positivos en corredores con disfunción mecánica, aunque su aplicación requiere supervisión profesional. Estas intervenciones, en conjunto, permiten concluir que es posible actuar sobre los factores modificables que intervienen en la génesis y progresión de la hiperpronación y el colapso del arco plantar, con beneficios tanto en la prevención de lesiones como en la mejora del rendimiento deportivo.

En función de los resultados obtenidos, se recomienda que los programas de entrenamiento dirigidos a corredores de fondo incluyan evaluaciones biomecánicas periódicas del pie y del patrón de marcha, a fin de identificar precozmente signos de hiperpronación o colapso del arco plantar. También se sugiere la incorporación sistemática de ejercicios de fortalecimiento de la musculatura intrínseca del pie en la planificación del entrenamiento, priorizando aquellos que han demostrado eficacia clínica como el Short Foot Exercise. Del mismo modo, se recomienda el uso de plantillas u ortesis plantares en casos de pronación sintomática, y la asesoría profesional en la elección del calzado deportivo en función del tipo de pie y del volumen de entrenamiento. Finalmente, se alienta a la realización de nuevas investigaciones con diseños que permitan comprender la evolución temporal de estos fenómenos y su impacto a largo plazo en la salud musculoesquelética de los atletas.

Bibliografía

Alonso, J. (2024). Comentario a Sampietro M et al., “Estrategias de prevención de lesiones en corredores de diferentes niveles y distancias. Revisión sistemática”. *AJRPT 6(1)*, 20-22.

Babú, D., & Bordoni, B. (10 de setiembre de 2024). *Anatomía, pelvis ósea y miembro inferior: arco longitudinal medial del pie.* Obtenido de StatPearls [Artículo en línea] : https://www-ncbi-nlm-nih-gov.translate.goog/sites/books/NBK562289/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc

Bailón Cerezo, J. (2022). Lesiones por sobreuso en el deportista: una necesaria actualización. *Journal of move and therapeutic science 4(1)*, 1-6. Obtenido de https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8568683.pdf

Biancardi, C., Bona, R., & Lagos Hausheer, L. (2020). Locomoción humana: Modelos y variables biomecánicas. *PENSAR EN MOVIMIENTO: Revista de Ciencias del Ejercicio y la Salud 18(2)*, [en línea] https://www.redalyc.org/journal/4420/442063685006/html/ .

Bonalumi Bittar, K., de Oliveira, S., Buta Michel, M., Pollizio Terçarolli, S., Zamboti, C., & de Souza Guerino Macedo, C. (2020). Reliability of plantar pressure and postural control measures of children from 4 to 12 years: analysis by baropodometry. *Motriz, Rio Claro, 26(3)*, 1-6. Obtenido de https://www.scielo.br/j/motriz/a/ZHWjv75M8NKNP5PXDGsPLmk/?format=pdf&lang=en

Buchanan, B., Sina, R., & Kushner, D. (7 de enero de 2024). *Plantar Fasciitis.* Obtenido de StatPearls Publishing [Artículo en línea] : https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK431073/

Card, R., & Bordoni, B. (8 de abril de 2023). *Anatomía, pelvis ósea y miembros inferiores, músculos del pie.* Obtenido de Statpearls [internet]: https://www-ncbi-nlm-nih-gov.translate.goog/sites/books/NBK539705/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc

Castellini, J. (2022). Parámetros biomecánicos de la función del pie medidos en el consultorio del especialista en Ortopedia y Traumatología. *Revista De La*

Asociación Argentina De Ortopedia Y Traumatología, 87(6), 756-764. Obtenido de https://raaot.org.ar/index.php/AAOTMAG/article/view/1557

Chauhan, H., & Taqi, M. (9 de noviembre de 2022). *Anatomy, Bony Pelvis and Lower Limb: Arches of the Foot.* Obtenido de StatPearls [Artículo en línea]: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK587361/

Chrysoula, D., Efthymios, Z., & Andreas, L. (2021). Risk factors of lower limb injuries in long distance runners. *IOSR Journal of sports and physical education 8(3)*, 7-10.

Del Duchetto, F., Dussault Picard, C., Gagnon, M., Dixon, P., & Cherni, Y. (2024). Can foot otthoses benefit symptomatic runners? Mechanistic and clinical insights through a scoping review. *Sports medicine- Open 10(108)*, 1-25.

Derby, H., Chander, H., Kodithuwakku Arachchige, S., Turner, A., Knight, A., Burch, R., . . . Wade, C. G. (2023). Occupational Footwear Design Influences Biomechanics and Physiology of Human Postural Control and Fall Risk. *Applied science 13(116)*, 1-12.

Galloso Lagos, M., González Elena, M., Pérez Belloso, A., Coheña Jiménez, M., Pérez, M., Muriel Sánchez, J., & Castro Méndez, A. (2023). A short term evaluation of foot pronation tendency in Health Recreational Runners. *Life 13 (2202)*, 1-11.

Gao, Z., Mei, Q., Xiang, L., & Gu, Y. (2020). Difference of walking plantar loadings in experienced and novice long-distance runners. *Acta of Bioengineering and biomechanics 22(3)*, 85-93.

Gómez Martín, B., & Cobos Moreno, P. (2024). *Aprendiendo sobre patología del pie.* Extrenadura: Manuales UEX.

Hamill, J., Knutzen, K., & Derrick, T. (2015). *Biomechanical Basis of Human Movement.* Baltimore: Wolters Kluwer. Obtenido de http://www.gaitlab.ir/books/gaitlab_ref_25_Joseph_Hamill_PhD,_Kathleen_Knutzen_PhD,_Timothy_Derrick_Biomechanical_basis_of_human_movement-Wolters_Kluwer_Health,_LWW_2015.pdf

Jastifer, J. (2022). Contemporary Review: The foot and ankle in long distance running. *Foot and ankle orthopedics 7(3)*, 1-11.

Kacprzak, B., Stańczak, M., Surmacz, J., & Hagner-Derengowska, M. (16 de diciembre de 2024). *Biofísica de las lesiones del ligamento cruzado anterior* . Obtenido de Reseñas ortopédicas (16): https://orthopedicreviews-openmedicalpublishing-

org.translate.goog/article/126041-biophysics-of-acl-injuries?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc&_x_tr_hist=true

Kinga Zdunek, M., Marszalek, J., & Molik, B. (2020). Influence of sport discipline on foot arching and load distribution: pilot studies. *Journal of physical education and sport 20(2)*, 721-728.

Kongtong, W., Limroongreungrat, W., & Khongprasert, S. (2022). Influences of plantar ompulse and dynamic longitudinal arch angle on sings of plantar fascitis in long-distance runners. *Journal of exercise phisiology 25(1)*, 47-55.

Kuroda, S., Maeda, N., Komiya, M., Tashiro, T., Yoshimi, M., Mizuta, R., . . . Urabe, Y. (2024). Acute effects of running 10 km on the medial longitudinal arch height: dynamic evaluation using a three-dimensional motion capture system during gait. *European journal of human movement 52*, 80-88.

McClure, C., & Oh, R. (8 de agosto de 2023). *Medial Tibial Stress Syndrome.* Obtenido de National Library of Medicine: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK538479/

McKeon, P., Hertel, J., Bramble, D., & Davis, I. (2015). The foot core system: a new paradigm for undestarding intrinsic foot muscle funtion. *Sports Med 49(290)*, 1-9. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/261035124_The_foot_core_system_A_new_paradigm_for_understanding_intrinsic_foot_muscle_function

Melanson, S., & Shuman, V. (23 de mayo de 2023). *Acute ankle sprain.* Obtenido de StatPearls: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK459212/

Mohaddis, M., Maqsood, S., Ago, E., Sinngh, S., Naim, Z., & Prasad, S. (2023). Enhancing Functional Rehabilitation Through Orthotic Interventions for Foot and Ankle Conditions: A Narrative Review. *Cureus 15(11)*, 1-8. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10659571/pdf/cureus-0015-00000049103.pdf.

Molina García, C., Rossi, S., López del Amo Lorente, A., Pérez Morcillo, A., Ramos Petersen, L., & Leal Cano, P. (2022). Eficacia de los ejercicios de fortalecimiento de la musculatura intrínseca plantar en población con pie plano. Una revisión sistemática. *Seys 1(2)*, 40-51. Obtenido de https://revistaseys.ugr.edu.ar/index.php/inicio/article/view/26/25

Mousavi, S., Khorramroo, F., & Jafarnezhadgero, A. (2024). Gait retraining targeting foot pronation: A systematic review and meta-analysis. *PLoS ONE 19(3)*, 1-28.

Nakagawa, K., Mitomoto, A., & Takahashi, Y. (2020). Effect of a foot arch exercise program for High School runners. *Journal of Health of Medical Sciences 3(3)*, 329-337.

Núñez Samper, M., Llanos Alcazar, L., Viladot Pericé, R., A, V. V., Alvárex Goenaga, F., Bailey, E., . . . Parra Téllez, P. (2021). Pie plano adquirido del adulto por disfunción del tibial posterior. Opciones para el tratamiento quirúrgico. *Acta ortopédica mexicana 35(1)*, 92-117. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/pdf/aom/v35n1/2306-4102-aom-35-01-92.pdf

Okamura, K., Egawa, K., Ikeda, T., Fukuda, K., & Kanai, S. (2021). Relationship between foot muscle morphology and severity of pronated foot deformity and foot kinematics during gait: A preliminary study. *Gait & Posture 86*, 273-277. Obtenido de https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33831742/

Orozco Villaseñor, S., Mayagoitia Vázquez, J., Miguel, A. A., De la cruz Alvarado, K., & Villanueva Salas, R. (2021). Factores de riesgo asociados a patologías musculoesqueléticas en deportistas con pie cavo anterior a través de estudios de baropodometría. *Acta Ortopédica Mexicana 35(4)*, 317-321. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/358316663_Factores_de_riesgo_asociados_a_patologias_musculoesqueleticas_en_deportistas_con_pie_cavo_anterior_a_traves_de_estudios_de_baropodometria

Piri, E., Sobhani, V., Jafarnezhadgero, A., Arabzadeh, E., Shamsoddini, A., Zago, M., & Granacher, U. (2025). Effect of double-density foot orthoses on ground reaction forces and lower limb muscle activities during running in adults with and without pronated feet. *BMC sports, medicine and rehabilitation 17(54)*, 1-13.

Raj, M., Tafti, D., & Kiel, J. (23 de mayo de 2023). *Pes planus*. Obtenido de StatPearls Publiching (artículo en línea): https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK430802/

Resende, R., Pinheiro, L., & Ocarino, J. (2019). Effects of foot pronation on the lower limb sagittal plane biomechanics during gate. *Gait & posture 68*, 130-135.

Roche Seruendo, L., Cartón Llorente, A., Molina Molina, A., Rubio Peirotén, A., Mayo Nieto, C., & Nuñez Trull, A. (2023). El primer rocker: influencia del patrón de contacto inicial sobre la biomecánica, lesiones y rendimiento en la carrera de larga distancia. *Revista española de podología 34(2)*, 121-131.

Romero Cárdenas, C. (2024). The art of choosing the right running shoe: a review article. *J Foot Ankle 18(2)*, 146-155.

Rosende Bautista, C., Alonso Tajes, F., Reina Bueno, M., Pérez García, S., & Seoane PIllado, M. (2022). Influencia de la altura del arco longitudinal interno y la posición del pie en el dolor y la disfunción en población adulta. *Rev Esp Podol. 33(1)*, 41-49.

Rosenwasser, K., Judd, H., & Hyman, J. (2022). Evidence-based management strategies for pediatric pes cavus. *Journal of Posna 4(2)*, 1-17. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2768276524006126

Sánchez Ramirez, C. (2020). Do athletes know the morphology of their longitudinal plantar arch? *European journal of human movement 48*, 4-20.

Schuster, R., Cresswell, A., & Kelly, L. (2024). human foot form and function: variable and versatle, yet sufficiently related to predict function from form. *Proc. R. Soc. B 291(20232543)*, 1-12. Obtenido de https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10777145/pdf/rspb.2023.2543.pdf

Serrato Pedrosa, J., Urriolagoitia Sosa, G., Romero Ángeles, B., Urrigoitia Calderón, G., Cruz López, S., Urrigoitia Luna, A., . . . Murillo Aleman, G. (2024). Biomechanical evaluation of plantar pressure distribution towards a customized 3D orthitic device: A methodological case study through a Finite Element Analysis Approach. *Appl Sci 14(4)*, 1-21.

Sulowska Daszyk, I., Zajac, B., & Mika, A. (2024). The influence of foot muscles exercises and minimalist shoes on lactate threshold velocity in long-distance amateur runners: a randomized controlled trial. *Scientific reports 14(19496)*, 1-11.

Suo, X., Tang, W., & Li, Z. (2024). Motion Capture Technology in Sports Scenarios: A Survey. *Sensors 24(2947)*, 1-15. Obtenido de https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11086331/pdf/sensors-24-02947.pdf

Taddei, U., Matias, A., Ribeiro, F., Sicco, A., & Sacco, I. (2020). Effects of a foot strengthening program on foot muscle morphology and running mechanics: A proof-of-concept, single-blind randomized controlled trial. *Physical therapy in sport 42*, 107-115. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1466853X19304687

Wiegand, K., Tandy, R., & Freedman Silvernail, J. (2022). Plantar fascitis injury status influences foot mechanics during running. *Clinical Biomechanics 97*, 1-6.

Willwacher, S., Kurz, M., Robbin, J., Thelen, M., Hamill, J., Kelly, L., & Mai, P. (2022). Running-Related Biomechanical Risk Factors for Overuse Injuries in Distance Runners: A Systematic Review Considering Injury Specificity and the Potentials for Future Research. *Sports medicine 52*, 1863-1877.

Xiang, L., Gu, Y., Wang, A., & Mei, Q. (2022). Effect of foot pronation during distance running on the lower limb impact acceleration and dynamic stability. *Acta of bioengineering and biomechanics 24(4)*, 21-30.

Yilmaz, O., soylu, Y., Erkmen, N., Kaplan, T., & Batalik, L. (2024). Effects of proprioceptive training on sports performance: a systematic review. *Medicine and Rehabilitation 16(149)*, 1-12. Obtenido de https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11225257/pdf/13102_2024_Article_936.pdf

Zhang, X., Lam, W., & Vanwanseele, B. (2022). Dose-response effects of forefoot and arch orthotic componentes on the center of pressure trajectory during running in pronated feet. *Gait & Posture 93*, 212-217.