

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ

FACULTAD DE MEDICINA

TRABAJO FIN DE GRADO EN PODOLOGÍA



UNIVERSITAS
Miguel Hernández

UNIVERSITAS Miguel Hernández

**COMPARATIVA BIOMECÁNICA ENTRE EL CALZADO
DEPORTIVO MINIMALISTA Y EL CALZADO DEPORTIVO
CONVENCIONAL**

Autor: Estepa Cabrera, Melanie

Tutor: María Lozano De La Hoz

Departamento y Área: Enfermería

Curso académico 2024 - 2025

Convocatoria de Junio

C

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero dar las gracias a mi novio, a la persona que más me ha ayudado a lo largo de estos cuatro años de carrera, sin la cual nada de esto habría sido posible. Gracias por hacerme ver la luz en los momentos en los que lo veía todo negro. Por apoyarme sin cesar cada día y no dejarme tirar la toalla. Por alegrarte de mis logros tanto como yo.

A mi familia, que pesar de la distancia, no ha dejado de apoyarme en ningún momento, sin ellos no habría podido llegar adonde estoy en este momento. Gracias por secarme las lágrimas en cada despedida cuando la distancia se hacía aún más grande entre nosotros.

A mis amigas, por estar siempre ahí, por creer en mí incluso cuando ni yo misma lo hacía. Sin ellas esta etapa de mi vida no habría sido ni la mitad de bonita de lo que ha sido.

A mi tutora, por guiarme en esta etapa, por saber aclararme las ideas cuando más lo necesitaba.

ÍNDICE

1. RESUMEN	4
2. ABSTRACT	6
3. INTRODUCCIÓN	8
3.1 MARCO TEÓRICO	8
3.2 TIPOS DE CALZADO	13
4. MATERIAL Y MÉTODOS	14
4.1 ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA SEGUIDA PARA LA OBTENCIÓN DE ESTUDIOS	14
4.2 CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN	15
4.3 PREGUNTA PICO	16
4.4 DIAGRAMA DE FLUJO	16
5. RESULTADOS	19
6. DISCUSIÓN	31
7. CONCLUSIÓN	34
8. ANEXOS	36
9. BIBLIOGRAFÍA	38

ABREVIATURAS

Siglas	Significado
FRS	Fuerzas reactivas del suelo
AI	Arco interno
ER	Extensión de rodilla
MI	musculatura intrínseca
AAI	Altura arco interno
TA	Tendón de Aquiles
CDM	Calzado deportivo minimalista
CDC	Calzado deportivo convencional
VFF	Vivram Five Fingers
VPL	Vivobarefoot Primus Lite
RM	Resonancia magnética

1. RESUMEN

Antecedentes

El concepto de calzado minimalista aparece de la idea de fabricar un calzado que imite lo máximo posible a caminar descalzo. Este calzado se caracteriza por tener una suela fina y flexible, un drop (diferencia entre talón y puntera) nulo o muy bajo y una puntera ancha que permite que los dedos se extiendan de forma natural, lo que favorece una pisada más parecida a cuando se camina descalzo. Por el contrario, el calzado convencional es un calzado con menos flexibilidad, consta de un drop medio o alto y una puntera estrecha que comprime los dedos.

Objetivo

El propósito de este trabajo es comparar los efectos biomecánicos del calzado minimalista y del calzado convencional, evaluando sus diferencias en términos de impacto, patrón de apoyo y activación muscular. A través de una revisión de la literatura y un análisis de datos biomecánicos, se busca comprender mejor las implicaciones del uso de cada tipo de calzado. Así como ofrecer una visión integral sobre las diferencias entre ambas opciones de calzado.

Métodos

Se ha realizado una revisión bibliográfica en cuatro bases de datos (PubMed, Scopus, Google Scholar y Scielo) aunque al final solo se han obtenido resultados en las dos primeras. Realizando las ecuaciones de búsqueda necesarias, con las palabras clave “ minimalist footwear” AND “conventional shoes “, tras aplicar determinados filtros de edad, año de publicación e idioma y realizar una exclusión de los estudios duplicados, se obtiene un total de 15 estudios entre ambas bases de datos. Estos 15 estudios son los que se han utilizado para la realización del presente trabajo de fin de grado.

Resultados



De los 15 estudios analizados para la obtención de datos sobre las diferencias biomecánicas entre el uso de un tipo de calzado y de otro, se observa que el uso de calzado minimalista aumenta la musculatura intrínseca del pie y fortalece la flexión dorsal del hallux. Además, aumenta la cadencia con respecto al uso de calzado convencional.

Conclusiones

Tras realizar el estudio, se evidencia la existencia de diferencias biomecánicas entre el uso de calzado minimalista y el uso de calzado convencional. Sin embargo, es necesario seguir investigando al respecto.

Palabras clave

Calzado convencional, calzado minimalista, barefoot.

2. ABSTRACT

Background

The concept of minimalist footwear arises from the idea of designing shoes that closely mimic the experience of walking barefoot. This type of footwear is characterized by a thin and flexible sole, a zero or very low drop (the height difference between the heel and the forefoot), and a wide toe box that allows the toes to spread naturally, promoting a gait that resembles barefoot walking.

In contrast, conventional footwear is less flexible, features a medium to high drop, and has a narrow toe box that compresses the toes.

Objective

The aim of this study is to compare the biomechanical effects of minimalist versus conventional footwear by evaluating differences in impact, support pattern, and muscle activation. Through a literature review and biomechanical data analysis, this work seeks to provide a better understanding of the implications of using each type of footwear and to offer a comprehensive overview of their differences.

Methods

A literature review was conducted using four databases (PubMed, Scopus, Google Scholar, and SciELO), although only the first two yielded relevant results. Search equations were formulated using the keywords “minimalist footwear” AND “conventional shoes”, with filters applied for age, year of publication, and language. After removing duplicate studies, a total of 15 studies were selected and used as the basis for this final degree project.

Results

From the 15 studies analyzed to gather biomechanical data on the use of both types of footwear, it was observed that minimalist footwear increases the intrinsic musculature of the foot and strengthens the dorsal flexion of the hallux. In addition, cadence is higher when compared to the use of conventional shoes.

Conclusions

The study demonstrates the existence of biomechanical differences between minimalist and conventional footwear. However, further research is needed to draw more definitive and generalizable conclusions.

Keywords

Conventional footwear, minimalist footwear, barefoot

3. INTRODUCCIÓN



En este trabajo se van a evaluar las diferencias biomecánicas que aparecen con el uso de calzado minimalista y con uso de calzado convencional. Para ello lograr una mayor comprensión se va a explicar las fases de la marcha y los tipos de calzado que se comparan; el calzado minimalista y el calzado convencional.

3.1 MARCO TEÓRICO

El ciclo de la marcha se clasifica en dos fases, la fase de apoyo y la fase de balanceo, las cuales tienen una duración del 60% y el 40% respectivamente del total del ciclo de la marcha. La marcha humana se compone de un conjunto de

gestos complejos y únicos del ser humano que le diferencian del resto de animales. En particular, los humanos poseen el centro de gravedad más elevado y la cabeza erguida.

En cada individuo la marcha tiene unas características distintas, por lo que se observan diferencias en cuanto a la cadencia, velocidad del paso y longitud del paso, entre otros parámetros. Sin embargo, a pesar de que cada persona camina diferente, en todas aparece un objetivo en común, el desplazamiento buscando un mayor ahorro energético. Además de las características individuales, existen otros factores que modifican el patrón de la marcha (1) Estos factores son:

- El tipo de calzado utilizado
- El terreno por donde se camina
- La actividad llevada a cabo

La marcha humana se divide en dos grandes fases:

- Fase de apoyo. Se describe como el periodo de la marcha en el cual el pie está en contacto con el suelo.
- Fase de balanceo. Se trata del periodo en el cual el pie no está en contacto con el suelo.

A su vez, la fase de apoyo se subdivide en 3 fases:

- **Fase de contacto de talón:** Esta fase empieza cuando se produce el choque inicial del talón y se mantiene hasta que se produce el contacto del antepié con el suelo. Abarca el 27% de la fase de apoyo. (1) Este periodo dura 0,15 segundos aproximadamente. Cuando el talón contacta con el suelo se observa:

- Flexión de cadera (35°)
- Flexión de rodilla (8°)
- Tobillo a 90°
- Supinación de la articulación subastragalina

Durante este periodo los movimientos observados son:

- Cadera en extensión.
- La rodilla permanece flexionada para contribuir a la amortiguación
- Plantaflexión de tobillo
- Pronación de la subastragalina para absorber mejor el impacto y adaptar el pie al terreno.

En cuanto a musculatura:

- Contracción del extensor largo del hallux para decelerar la pronación de la subastragalina evitando el impacto del antepié en el suelo.

- Contracción del tibial anterior para decelerar la pronación de la articulación subastragalina.

- **Fase de apoyo medio:** Esta fase empieza en el momento en el que el antepié entra en contacto con el suelo y termina cuando el talón deja de estarlo. Abarca el 40% de la fase de apoyo y su duración es de 24 segundos (1). Cuando comienza esta fase se observa:

- Ligera flexión de cadera
- Ligera flexión de rodilla
- Plantaflexión de tobillo (5°)
- Subastragalina neutra o ligera pronación.

Durante este periodo los movimientos observados son:

- Extensión de cadera
- Rodilla extendida
- Dorsiflexión de tobillo (5°)
- Pronación de la ASA (articulación subastragalina)

En cuanto a musculatura se observa:

- Al principio de esta fase se produce una contracción de tibial anterior para decelerar la pronación del pie. Sin embargo, al final de la fase el tibial posterior y el sóleo hacen que la ASA supine.
 - El músculo peroneo lateral largo proporciona estabilidad al primer radio.
- **Fase de despegue:** Esta fase comienza cuando el talón despegas del suelo y finaliza cuando el antepié deja de estar en contacto con el suelo. Abarca el 33% de la fase de apoyo y su duración en segundos es de 0,2. (1) Cuando comienza esta fase se observa:
- Extensión de cadera
 - Rodilla extendida
 - Dorsiflexión de tobillo (10°)
 - ASA neutra

Durante este periodo los movimientos observados son:

- Flexión de rodilla (65°)
- Plantaflexión de tobillo (20°)
- 1º articulación metatarsofalángica en flexión dorsal (entre 65° y 90°)
- ASA supinada

En cuanto a musculatura se observa:

- El músculo tibial posterior y el sóleo contribuyen a levantar el talón mediante la plantaflexión del tobillo y la supinación de la ASA. Además, estos músculos provocan la flexión de la rodilla favoreciendo la fase de oscilación.
- El músculo peroneo lateral largo plantaflexiona el primer radio.
- Estabilización del primer radio mediante el músculo flexor largo y el flexor corto y el abductor y el aductor el hallux.
- Dorsiflexión del hallux debido al músculo extensor largo del hallux.

3.2 TIPOS DE CALZADO



El calzado ha desempeñado un papel muy importante en la evolución de la biomecánica del pie. Mientras que el ser humano ha corrido descalzo durante millones de años, la introducción del calzado moderno ha modificado en gran parte la biomecánica de carrera y de la marcha (2). El debate en torno a la comparativa del calzado minimalista y el calzado convencional ha ganado relevancia en los últimos años.

El diseño del calzado minimalista busca imitar al máximo la biomecánica de andar descalzo, promoviendo una pisada más natural, generalmente con apoyo en la parte media o delantera del pie, lo que puede reducir el impacto y la carga

en las articulaciones (3) El calzado minimalista se caracteriza por su gran flexibilidad, un bajo drop (diferencia de altura entre el talón y el antepié), bajo peso, baja altura de la suela y ausencia de medios de soporte que proporcionan control de movimiento del pie y estabilidad. (4)

Por el contrario, el calzado convencional consta de elevada amortiguación y soportes diseñados para controlar en exceso el movimiento del pie, lo que, si bien puede proporcionar mayor comodidad para la persona que lleva el calzado, puede alterar la biomecánica natural del pie y aumentar así la dependencia del uso de calzado para lograr una mayor estabilidad de la persona (4)



4. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1 ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA SEGUIDA PARA LA OBTENCIÓN DE ESTUDIOS

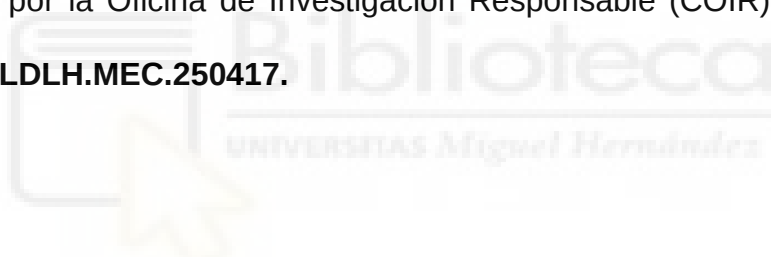
Este trabajo consiste en una revisión bibliográfica de tipo comparativa en las bases de datos PubMed, Scopus., Google Scholar y Scielo. Se ha seguido una estrategia de búsqueda avanzada, en la cual se aplicaron filtros y se revisaron las publicaciones disponibles desde el año 2005 al 2025. Con el fin de evaluar

las diferencias biomecánicas entre el uso de calzado minimalista y el uso de calzado convencional. Las palabras claves utilizadas han sido:

- Calzado minimalista: “Minimalist footwear”
- Calzado convencional: “Conventional footwear”
- Zapatos barefoot: “Barefoot shoes”
- Zapatos minimalistas: “minimal shoes”

Cabe destacar que la presente revisión bibliográfica ha sido aprobada previamente por la Oficina de Investigación Responsable (COIR) con código:

TFG.GPO.MLDLH.MEC.250417.



4.2 CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN

Una vez realizadas las búsquedas se aplicaron los siguientes filtros:

- Criterios de inclusión: los artículos debían ser estudios clínicos, estar escritos en castellano o inglés, ser de libre acceso y con participantes mayores de 18 años.
- Criterios de exclusión: artículos en idiomas que no fueran español o inglés, rango de edad inferior a 18 años y artículos publicados antes del 2005.

4.3 PREGUNTA PICO

Los criterios de inclusión y exclusión se han desarrollado en torno al marco PICO (Paciente, Intervención, Control y Outcomes (resultados)):

- Paciente: Estudios realizados a grupos de personas sanas que utilizan calzado convencional y a grupos personas que utilizan calzado minimalista, ya sea para realizar una marcha o para carrera.
- Intervención: Uso de calzado minimalista
- Control: Uso de calzado convencional
- Outcomes: Estudios que explicaran las diferencias biomecánicas en relación con la cadencia, altura del arco plantar, acción de las FRS, entre otros parámetros.

4.4 DIAGRAMA DE FLUJO

En la primera búsqueda sin filtros realizada en PubMed agregando las palabras clave “minimalist footwear”, se obtuvieron 890 artículos. En segundo lugar, se agregaron a la primera búsqueda las palabras clave “conventional shoes” , obteniendo un resultado de 84 estudios. Además, tras aplicar los filtros de

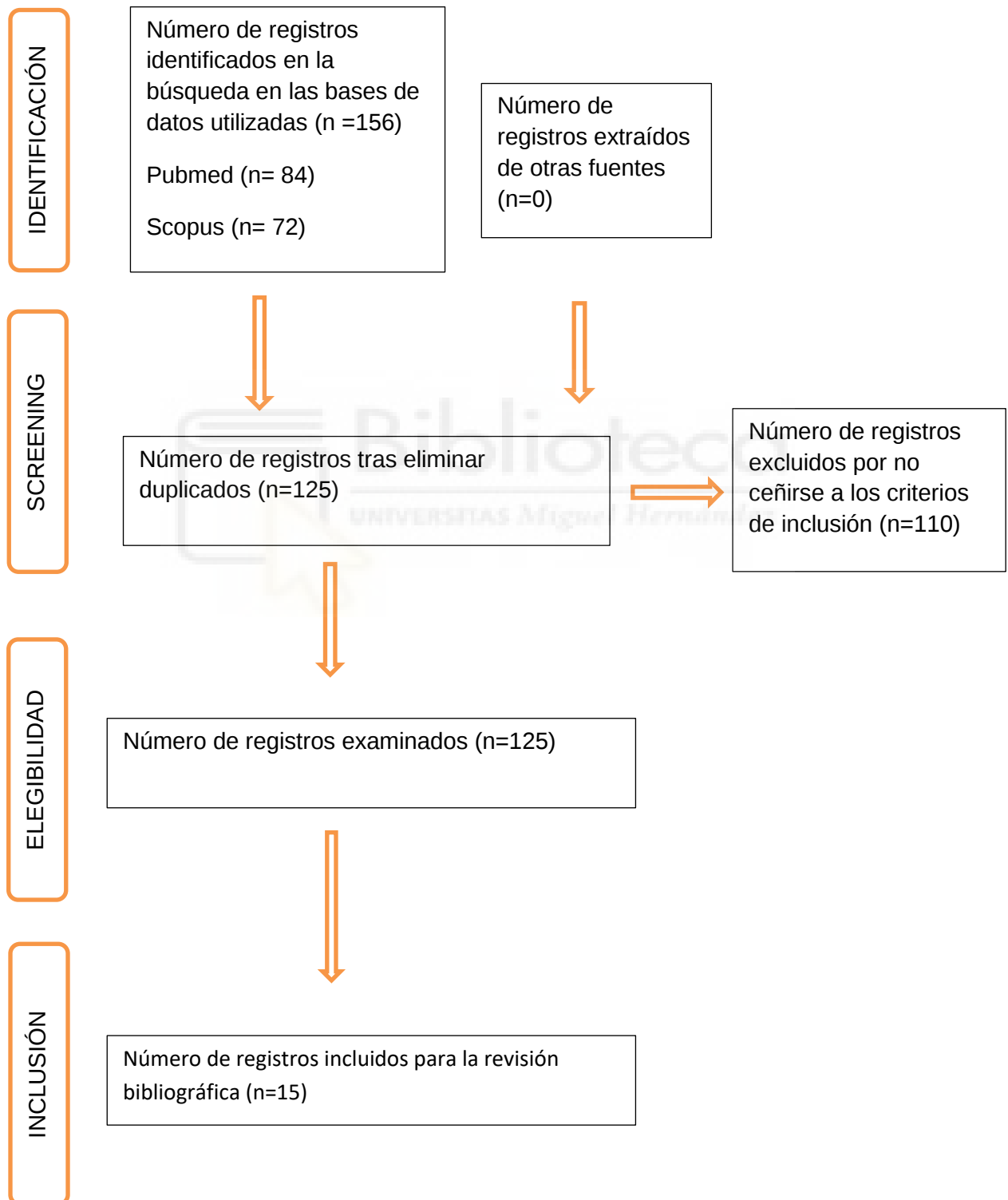
estudios de no más de 15 años de antigüedad, realizados con personas de 18 años en adelante y estudios de libre acceso, se obtienen 32 resultados. Finalmente, tras realizar una lectura de los estudios obtenidos y excluir los estudios que estaban en otro idioma que no fuese castellano o inglés, se seleccionan 15 estudios.

En la primera búsqueda realizada en Scopus añadiendo las palabras clave “minimal shoes”, se obtuvieron 1288 artículos. Después de aplicar los filtros de estudios llevados a cabo en adultos, se obtienen un total de 427 artículos a los que se les añade las palabras clave “conventional shoes” obteniendo así un total de 72 resultados. A continuación, se le aplica el filtro de estudios de libre acceso acotando la búsqueda a 34 estudios, de los cuales se eliminan 31 por estar duplicados y por no abordar el tema de la biomecánica del pie. Por lo tanto, se obtienen un total de 3 estudios que se ajustan al tema que se va a estudiar.

En las bases de datos Google Scholar y Scielo al realizar la búsqueda de estudios escribiendo las palabras clave “minimalist footwear” se obtuvieron 5 y 3 estudios respectivamente, al añadir las palabras clave “conventional shoes” a la búsqueda, no se obtuvieron resultados.

Figura 1. Diagrama de flujo tipo PRISMA en el que se muestra el proceso de selección de los estudios analizados. En él, se puede observar el número de artículos identificados, incluidos y excluidos, así como el motivo de exclusión.

Fuente: elaboración propia.



5. RESULTADOS

Tabla 1. Resultados de los estudios incluidos en este trabajo. Fuente: Elaboración propia.

Autor/es Año	Tipo de estudio	Muestra	Gesto deportivo	Método	Resultados
Franklin, S., Grey, M. J., Heneghan, N., Bowen, L., & Li, F. X., (2015)	Revisión sistemática	15 estudios incluidos	Marcha	Análisis diferencial en cinética, cinemática y musculatura entre caminar descalzo o con CDM y caminar con CDC	Caminar descalzo/ calzado minimalista reduce la longitud del paso, las FRS y la presión plantar. Por el contrario, aumenta la anchura del pie y la cadencia
Kyle P. Perkins, William J. Hanney, Carey E. Rothschild, (2014)	Revisión sistemática	23 estudios incluidos	Carrera	Análisis de las diferencias en la cinética, cinemática, electromiografía y economía de carrera entre correr descalzo, con	Correr descalzo o con calzado minimalista reduce las FRS, el tiempo de contacto del pie con el suelo, la zancada, mientras que aumenta la cadencia.

				CDM y con CDC	Además, se observan cambios en la activación muscular y reducción de la ER durante la marcha.
Stephen M. Gillinov, Sara Laux, Thomas Kuivila, Daniel Hass, Susan M. Joy (2015)	Ensayo cruzado aleatorizado	15 corredores de Cross Country	Carrera	Comparativa biomecánica en carrera con CDC, CDM y descalzo. Análisis del tiempo de contacto del pie con el suelo, el ángulo de la rodilla, la cadencia y el tipo de apoyo del pie.	Correr con CDM o descalzo reduce el tiempo de contacto con el suelo y aumenta el apoyo de mediopié o antepié en comparación con el CDC. No se obtienen diferencias significativas en la cadencia ni en el ángulo de la rodilla.
Nicholas B. Holowka, Ian J. Wallace	Comparativo, observacional	75 individuos con CDM + 26	Marcha	Análisis cinético, cinemático, medición de	Los individuos que utilizan CDM tienen arcos más elevados y rígidos, mejor MI

& Daniel E. Lieberman (2018)		individuos con CDC		la AAI, rigidez del pie y MI	del pie en comparación con los individuos que usan CDC
Rory Curtis, Catherine Willems, Paolo Paoletti & Kristiaan D'Août (2021)	Prospectivo y transversal	- Grupo de intervención: 22 individuos - Grupo de control: 24 individuos - Grupo experimental: 20 individuos	Marcha	Evaluación de la fuerza del pie mediante dinamómetro. Valoración de mediciones biométricas tras utilizar CDM durante 6 meses	Tras 6 meses de uso de CDM se observa un aumento del 57.4% de la fuerza del pie, por el contrario, no se observan cambios en la anchura del pie, pero si una posible mejora, a largo plazo, en la AAI
Joel T. Fuller, Dominic Thewlis, Margarita D. Tsiros, Nicholas A. T. Brown, Jonathan D.	Ensayo controlado aleatorizado	76 corredores	Carrera	Valoración durante 26 semanas del rendimiento y economía en carrera de 5 km, biomecánica, fuerza muscular y densidad	Se observa una mejora en la economía de carrera, una reducción de la presión talar. Aunque también se observa la aparición de dolor en gemelos y sóleo, así

Buckley (2015)				ósea tras la transición al CDM	como un aumento de edema óseo y mayor tasa de lesiones en comparación con CDC.
Peter Francis & Grant Schofield (2020)	Revisión narrativa	No se especifica	Carrera	Análisis biomecánico e impacto del calzado en la técnica de carrera y en lesiones	Correr descalzo o con CDM puede mejorar la estabilidad postural, aumentar la MI del pie y reducir lesiones. Sin embargo, la transición debe ser gradual para evitar sobrecarga en gemelos, sóleo y TA.
Joel T. Fuller, Jonathan D. Buckley, Margarita D. Tsiros, Nicholas A. T.	Estudio cruzado	26 corredores	carrera	Análisis en 3D de la biomecánica y con plataformas de presiones en corredores con CDM y en corredores	El uso de CDM aumenta las cargas en tobillo y las disminuye en rodilla. Como consecuencia, esto podría aumentar el riesgo de

Brown, Dominic Thewlis (2016)				con CDC a 18 km/h	lesiones en tobillo, gemelos y sóleo, reduciendo el riesgo de lesiones en la rodilla.
Karsten Hollander, Christoph Heidt, Babette C. van der Zwaard, Klaus-Michael Braumann, Astrid Zech (2016)	Revisión sistemática	15 estudios	Carrera y marcha	Análisis biomecánico, morfológico y patológico del pie en individuos con CDC que habitualmente caminan/corren con CDM o descalzos.	Correr descalzo o con CDC reduce la FD de tobillo y modifica la distribución de presiones plantares. Se observan pies más anchos en corredores descalzos o con CDM. No hay diferencias significativas en tasas de lesiones, aunque se reportan menos deformidades y patologías en los pies descalzos o con CDM. No hay evidencia sobre mejoras en

					rendimiento.
Fabian Hoitz, Jordyn Vienneau, Benno M. Nigg (2020)	Estudio experimental	33 corredores	Carrera	Análisis de la cinemática y electromiografía de corredores con CDM, CDC y descalzos.	Correr descalzo y con CDM aumenta la activación de la musculatura en comparación a correr con CDC. Los cambios más significativos se observan en el músculo tibial anterior y en el vasto lateral. La mayoría de los corredores mantienen su patrón de movimiento con diferentes tipos de calzado. Los corredores que mantienen el mismo patrón de movimiento con diferentes tipos de calzado no tienen cambios significativos en la musculatura.

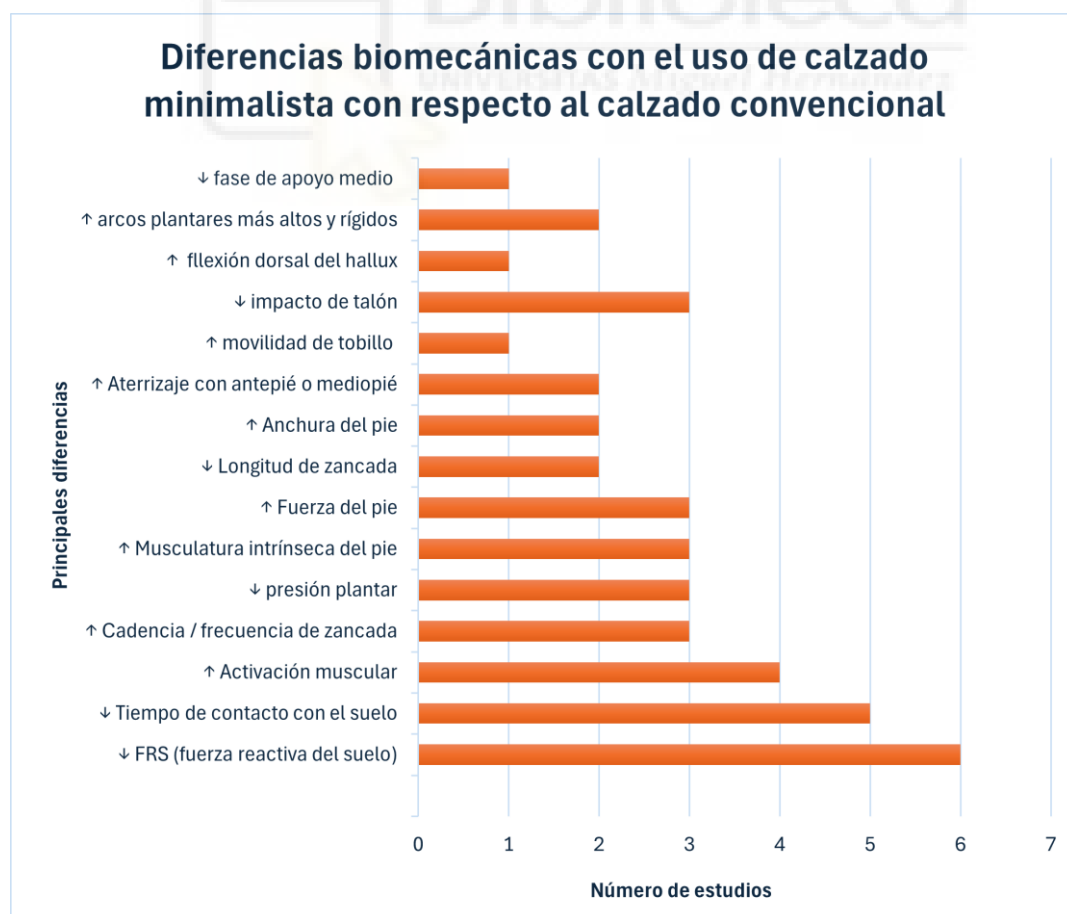
Nicholas B. Holowka, Daniel E. Lieberman (2021)	Revisión narrativa	No especificado	Carrera y marcha	Análisis de estudios sobre el CDM y su impacto en la biomecánica del pie y en la marcha humana.	En cuanto al CDM, se observan diferencias en la cinemática y cinética en comparación con el CDC, incluyendo menor impacto en el talón, mayor activación muscular y mejora de la fuerza del pie al utilizar CDM. Se recomienda una transición progresiva para evitar lesiones.
Ryan et al. (2014)	Ensayo controlado aleatorizado	99 corredores	Carrera	Análisis comparativo de 12 semanas de duración en corredores que usan CDM y en corredores con CDC.	Correr con CDM produce: - Mayor movilidad del tobillo, mayor activación del tríceps sural y mayor frecuencia de zancada.

					- Menor tiempo de contacto con el suelo y menores fuerzas de impacto vertical, lo que podría reducir el riesgo de fracturas por estrés.
Lieberman et al. (2010)	Estudio comparativo	no especificada	carrera	Análisis cinemático, cinético y biomecánico de correr con CDM.	Los corredores descalzos y con CDM tienden a aterrizar con el antepié, favoreciendo un menor impacto de talón y reduciendo las fuerzas de impacto a diferencia de quienes corren con CDC.
Chen, T. L. W., Sze, L. K. Y., Davis, I. S., & Cheung,	Ensayo controlado aleatorizado	38 corredores recreativos (20 en grupo experiment	Carrera en cinta de correr y en exterior con CDM	Intervención: entrenamiento con CDM (VPL) durante 6 meses. Método de	- Volumen muscular: Aumento del volumen de la MI del pie (flexor corto, abductor y

R. T. H. (2016).		al y 18 en grupo control)		evaluación de resultados: a) RM para medir tono muscular antes y después de la intervención. b) Dinamometría para valorar la fuerza del Hallux c) Cuestionarios de dolor	aductor del Hallux) - Fuerza muscular: Aumento de la flexión dorsal del Hallux
Smith et al. (2015)	Medidas repetidas	49 sujetos (18-30 años)	Bipedestación estática	Valoración del equilibrio estático con ojos cerrados usando el sistema Biodex BSS-SD en tres condiciones: Con CDC, CDM (VFF), y descalzo.	El CDC proporcionó mayor estabilidad. El CDM proporcionó un menor tiempo en fase de apoyo medio.

Los resultados que se han expuesto en la tabla anterior están basados en la información recopilada en los 15 artículos seleccionados previamente en la búsqueda bibliográfica, los cuales han permitido realizar este apartado con el fin de poder realizar una síntesis final de los mismos y llegar a una conclusión sobre las diferencias biomecánicas entre el uso de calzado minimalista y el uso de calzado convencional. Para ello, se han obviado los datos que no se centran en las diferencias biomecánicas entre ambos tipos de calzados.

Figura 2. Diagrama de tabla de resultados de las principales diferencias biomecánicas entre el uso de calzado minimalista y calzado convencional. Fuente: Elaboración propia.



En el diagrama anterior se resumen los principales hallazgos en común encontrados en los estudios analizados. Para una mayor comprensión de los datos que se han recopilado, se van a agrupar las características en varios grupos:

Cinética y cinemática de carrera/marcha

- Disminución de las fuerzas reactivas del suelo (FRS). Esta característica del calzado minimalista se ha encontrado un total de 6 artículos. Siendo la característica más destacable.

- Disminución del tiempo de contacto con el suelo. Esta diferencia, al igual que la anterior, también es una de las más obtenidas en común en el análisis de los 15 estudios que han conformado este trabajo de investigación.

- Aumento de la cadencia (frecuencia de zancada). Esta característica se ha encontrado en 3 de los 15 artículos analizados.

- Disminución de la longitud de zancada. En este caso, solo en 2 de los artículos revisados, se observa esta característica.

- Aumento de la movilidad de tobillo. Este hallazgo es uno de los menos destacables puesto que se ha observado en un solo estudio.
- Aumento del apoyo de mediopié o antepié. 2 de los estudios revisados coinciden en esta característica.
- Disminución de impacto de talón. Esta característica se incluye en 3 estudios.
- Disminución del tiempo en la fase de apoyo medio. Tan solo se observa en uno de los estudios analizados.



Activación y Adaptación Muscular

- Aumento de la activación muscular. En 4 estudios se puede observar dicha característica.
- Aumento de la musculatura intrínseca del pie. En esta ocasión, este hallazgo se observó en 3 estudios.
- Aumento de la flexión dorsal del halux. Solo se observa en un estudio de los 15 estudios que han sido revisados.

- Aumento de la fuerza del pie. Este patrón se cumple en 3 de los estudios revisados.

Morfología del Pie y Cambios Estructurales

- Aumento de la anchura del pie. La siguiente característica se ha valorado en 2 estudios.

- Aumento de la altura y rigidez del arco plantar. Al igual que la anterior, esta característica se ha observado en 2 estudios.

- Disminución de la presión plantar. Este hallazgo se ha obtenido en 3 estudios.

6. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este trabajo de investigación muestran que si existen diferencias biomecánicas con el uso de un tipo de calzado y de otro.

La característica que más se ha observado en esta revisión bibliográfica, ha sido que al utilizar calzado minimalista se produce una **mayor absorción de las**

fuerzas reactivas del suelo durante la marcha frente al uso de calzado convencional (5,6,7,15,16,17) Esto ocurre porque se produce una **mayor flexión plantar de tobillo** al correr con calzado minimalista, lo que permite un mejor desarrollo del mecanismo de windlass y, por lo tanto, una mayor absorción de la carga por la musculatura posterior. (5)

Por otro lado, en varios estudios se ha observado una disminución del tiempo de contacto con el suelo (6,7,10,16,19). Este hallazgo puede estar relacionado con otros de los hallazgos encontrados durante la revisión bibliográfica, como es el aumento de la cadencia y la disminución de la longitud de zancada (5,6,16). Estas características parecen influenciadas por la diferencia de peso de ambos calzados, puesto que el calzado convencional es más pesado que el calzado minimalista. De modo que el peso adicional del calzado genera una carga mayor durante la fase de balanceo, aumentando de esta manera, la **longitud del paso**. (5)

Sin embargo, a pesar de que la **disminución del tiempo de contacto** con el suelo puede tener influencia, de manera beneficiosa, en el impacto de las fuerzas reactivas del suelo, el **aumento de la cadencia** puede tener además un efecto negativo en las articulaciones a largo plazo. (6)

Por otro lado, existe una evidencia muy limitada que sugiere que una disminución de la longitud de la zancada puede reducir la probabilidad entre un 3% y 6% de la aparición de lesiones de fractura por estrés. (6) A pesar de que se habla de una reducción de lesiones por estrés, se ha observado un aumento de lesiones

en la musculatura posterior por sobrecarga debido posiblemente a una mala transición del calzado convencional al calzado minimalista (12).

Otro de los hallazgos encontrados ha sido la observación de **arcos plantares más elevados y rígidos** en personas que utilizan calzado minimalista (8,9). Aunque se necesitan estudios prospectivos para contrastar esta hipótesis, se relaciona la altura y la rigidez del arco plantar con la presencia de medios de soporte presentes en el calzado convencional. Estas estructuras pueden afectar a músculos como el abductor del hallux, uno de los músculos encargados de dar soporte al arco plantar, afectando directamente a la altura del arco. (8)

Las punteras restrictivas y los soportes del arco plantar característicos del calzado convencional pueden ser los culpables de la disminución del volumen de la musculatura intrínseca del pie. Es por ello, que en personas que usan calzado minimalista se ha observado un **aumento de la musculatura intrínseca** y, por lo tanto, un **aumento de la anchura del pie** (5,8,13). Al aumentar la fuerza de la musculatura intrínseca del pie, **aumenta la estabilidad** tanto en estática como en dinámica y se produce **una mejor distribución de la presión plantar**, es por ello por lo que se ha observado una mayor estabilidad en las personas que calzaban calzado minimalista. (9)

El calzado minimalista, ha sido diseñado para imitar la biomecánica de la carrera descalza, por lo que favorece un **contacto inicial del pie con el antepié o**

mediopié, lo que reduce las fuerzas de impacto y la **extensión de rodilla** durante el aterrizaje. Por el contrario, el calzado convencional, caracterizado por una amortiguación elevada y soporte estructural, ha sido criticado por alterar la biomecánica natural del pie favoreciendo un contacto inicial de retropié y provocando una mayor extensión de rodilla durante el aterrizaje (6)

Una de las limitaciones encontradas en el presente trabajo han sido la duración de los estudios revisados, ya que la mayoría de los estudios no tenían una duración suficiente para observar las diferencias entre el uso de un calzado y otro. Por otro lado, otra limitación ha sido que no se ha valorado el mismo modelo de ambos tipos de calzado en todos los estudios revisados. La revisión habría sido más precisa si todos los estudios hubiesen valorado a personas utilizando el mismo modelo tanto de calzado minimalista como de calzado convencional.

7. CONCLUSIÓN

A través de la revisión bibliográfica realizada, se ha observado que el análisis de la biomecánica en el calzado deportivo ha evolucionado significativamente en las últimas décadas, impulsado más bien por el interés en mejorar el rendimiento y reducir el riesgo de lesiones en corredores. Dentro de este campo, el debate entre el uso de calzado minimalista y calzado convencional ha ganado

relevancia, ya que cada tipo de calzado presenta características particulares que afectan la cinemática, la cinética y la activación muscular durante la marcha.

Sin embargo, la evidencia actual no es concluyente respecto a los riesgos de lesión de cada tipo de calzado, lo que justifica la necesidad de estudios comparativos futuros más detallados. Además de esto, se precisan nuevos estudios que tengan mayor duración para obtener datos con mayor fiabilidad, puesto que los estudios analizados en este trabajo tenían una duración de pocas semanas, excepto uno de ellos que duró 6 meses.



8. ANEXOS



INFORME DE EVALUACIÓN DE INVESTIGACIÓN RESPONSABLE DE 1. TFG (Trabajo Fin de Grado)

Elche, a 22/04/2025

Nombre del tutor/a	María Lozano De La Hoz
Nombre del alumno/a	Melanie Estepa Cabrera
Tipo de actividad	Sin implicaciones ético-legales
Título del 1. TFG (Trabajo Fin de Grado)	Comparativa biomecánica entre el calzado deportivo minimalista y el calzado deportivo convencional
Evaluación de riesgos laborales	No solicitado/No procede
Evaluación ética humanos	No solicitado/No procede
Código provisional	250417054600
Código de autorización COIR	TFG.GPO.MLDLH.MEC.250417
Caducidad	2 años

Se considera que el presente proyecto carece de riesgos laborales significativos para las personas que participan en el mismo, ya sean de la UMH o de otras organizaciones.

La necesidad de evaluación ética del trabajo titulado: **Comparativa biomecánica entre el calzado deportivo minimalista y el calzado deportivo convencional** ha sido realizada en base a la información aportada en el formulario online: "TFG/TFM: Solicitud Código de Investigación Responsable (COIR)", habiéndose determinado que no requiere ninguna evaluación adicional. Es importante destacar que si la información aportada en dicho formulario no es correcta este informe no tiene validez.

Por todo lo anterior, **se autoriza** la realización de la presente actividad.

Atentamente,

Alberto Pastor Campos
Jefe de la Oficina de Investigación Responsable
Vicerrectorado de Investigación y Transferencia



Información adicional:

- En caso de que la presente actividad se desarrolle total o parcialmente en otras instituciones es responsabilidad del investigador principal solicitar cuantas autorizaciones sean pertinentes, de manera que se garantice, al menos, que los responsables de las mismas están informados.
- Le recordamos que durante la realización de este trabajo debe cumplir con las exigencias en materia de prevención de riesgos laborales. En concreto: las recogidas en el plan de prevención de la UMH y en las planificaciones preventivas de las unidades en las que se integra la investigación. Igualmente, debe promover la realización de reconocimientos médicos periódicos entre su personal; cumplir con los procedimientos sobre coordinación de actividades empresariales en el caso de que trabaje en el centro de trabajo de otra empresa o que personal de otra empresa se desplace a las instalaciones de la UMH; y atender a las obligaciones formativas del personal en materia de prevención de riesgos laborales. Le indicamos que tiene a su disposición al Servicio de Prevención de la UMH para asesorarle en esta materia.

La información descriptiva básica del presente trabajo será incorporada al repositorio público de Trabajos fin de Grado y Trabajos Fin de Máster autorizados por la Oficina de Investigación Responsable de la Universidad Miguel Hernández. También se puede acceder a través de <https://oir.umh.es/solicitud-de-evaluacion/tfg-tfm/>



9. BIBLIOGRAFÍA

Artículo 1. Leal, R. J., Montserrat Gómez Maya, M., Dapuerto Menchaca, D., M^a, S., & Sánchez, E. (n.d.). Estudio articular del miembro inferior durante la fase de apoyo de la marcha. Las fases de la marcha.

Artículo 2. Lieberman, D. E., & Lieberman, D. E. (2012). What We Can Learn About Running from Barefoot Running: An Evolutionary Medical Perspective. In *Exerc. Sport Sci. Rev* (Vol. 40, Issue 2). www.acsm-essr.org

Artículo 3. Rixe, J. A., Gallo, R. A., & Silvis, M. L. (2012). *The Barefoot Debate: Can Minimalist Shoes Reduce Running-Related Injuries?* <http://journals.lww.com/acsm-csmr>

Artículo 4. Esculier, J. F., Dubois, B., Dionne, C. E., Leblond, J., & Roy, J. S. (2015). A consensus definition and rating scale for minimalist shoes. *Journal of Foot and Ankle Research*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/s13047-015-0094-5>

Artículo 5. Franklin, S., Grey, M. J., Heneghan, N., Bowen, L., & Li, F. X. (2015). Barefoot vs common footwear: A systematic review of the kinematic, kinetic and muscle activity differences during walking. In *Gait and Posture* (Vol. 42, Issue 3, pp. 230–239)

Artículo 6. Perkins, K. P., Hanney, W. J., & Rothschild, C. E. (2014). The Risks and Benefits of Running Barefoot or in Minimalist Shoes: A Systematic Review. *Sports Health*, 6(6), 475–480. <https://doi.org/10.1177/1941738114546846>

Artículo 7. Gillinov, S. M., Laux, S., Kuivila, T., Hass, D., & Joy, S. M. (2015). Effect of Minimalist Footwear on Running Efficiency: A Randomized Crossover Trial. *Sports Health*, 7(3), 256–260. <https://doi.org/10.1177/1941738115571093>

Artículo 8. Holowka, N. B., Wallace, I. J., & Lieberman, D. E. (2018). Foot strength and stiffness are related to footwear use in a comparison of minimally- vs. conventionally-shod populations. *Scientific Reports*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-21916-7>

Artículo 9. Curtis, R., Willems, C., Paoletti, P., & D'Août, K. (2021). Daily activity in minimal footwear increases foot strength. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-98070-0>

Artículo 10. Fuller, J. T., Thewlis, D., Tsiros, M. D., Brown, N. A. T., & Buckley, J. D. (n.d.). *The long-term effect of minimalist shoes on running performance and injury: design of a randomised controlled trial*. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2015>

Artículo 11. Francis, P., & Schofield, G. (2020). From barefoot hunter gathering to shod pavement pounding. Where to from here? A narrative review. In *BMJ Open Sport and Exercise Medicine* (Vol. 6, Issue 1). BMJ Publishing Group. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2019-000577>

Artículo 12. Fuller, J. T., Buckley, J. D., Tsiros, M. D., Brown, N. A. T., & Thewlis, D. (2016). Redistribution of mechanical work at the knee and ankle joints during fast running in minimalist shoes. *Journal of Athletic Training*, 51(10), 806–812. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-51.12.05>

Artículo 13. Hollander, K., Heidt, C., van der Zwaard, B. C., Braumann, K. M., & Zech, A. (2017). Long-term effects of habitual barefoot running and walking: A systematic review. In *Medicine and Science in Sports and Exercise* (Vol. 49, Issue 4, pp. 752–762). Lippincott Williams and Wilkins. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001141>

Artículo 14. Hoitz, F., Vienneau, J., & Nigg, B. M. (2020). Influence of running shoes on muscle activity. *PLoS ONE*, 15(10 October).
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0239852>

Artículo 15. Davis, I. S., Hollander, K., Lieberman, D. E., Ridge, S. T., Sacco, I. C. N., & Wearing, S. C. (2021). Stepping Back to Minimal Footwear: Applications Across the Lifespan. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 49(4), 228–243.
<https://doi.org/10.1249/JES.0000000000000263>

Artículo 16. Ryan M, Elashi M, Newsham-West R, Taunton J. Examining injury risk and pain perception in runners using minimalist footwear. *Br J Sports Med*. 2014;48(16):1257–1262.

Artículo 17. Lieberman, D.E., Venkadesan, M., Werbel, W.A., Daoud, A.I., D'Andrea, S., Davis, I.S., Mang'eni, R.O. and Pitsiladis, Y. (2010) Footstrike patterns and collision forces in habitually barefoot versus shod runners.

Artículo 18. Chen, T. L. W., Sze, L. K. Y., Davis, I. S., & Cheung, R. T. H. (2016). Effects of training in minimalist shoes on the intrinsic and extrinsic foot muscle volume. *Clinical Biomechanics*, 36, 8–13. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2016.05.010>

Artículo 19. smith, B. S., Burton, B., Johnson Derek, Kendrick Stephanie, Meyer Elisabeth, & Yuan Weifan. (2015). *ijspt-01-069. 10, number 1*.

Artículo 20. Peters-Dickie, J. L., Detrembleur, C., Guallar-Bouloc, M., Rastelli, M., Lobet, S., Hidalgo, B., & Deschamps, K. (2025). The effects of foot core exercises and minimalist footwear on foot muscle sizes, foot strength, and biomechanics: A systematic review and meta-analysis. In *Clinical Biomechanics* (Vol. 122). Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2024.106417>