



**Universitat de les
Illes Balears**

Facultad de les Illes Balears

Memoria del Trabajo de Final de Grado

El uso de calzado minimalista es un factor de riesgo lesivo para los corredores

Aarón Escoda Bernabeu

Grado de fisioterapia

Año académico 2018-19

DNI del alumno: 21693255T

Trabajo tutelado por Natalia Romero
Departamento de Fisioterapia y enfermería

RESUMEN

Contexto: La alta tasa de lesiones en corredores se ha mantenido igual durante 40 años desde el apogeo de este deporte. En la última década, la carrera con un calzado minimalista se ha convertido en una moda muy popular entre los corredores, con la convicción de poder ser una forma de reducir el número de lesiones. Actualmente, existe desconocimiento en cuanto a la influencia que este tipo de calzado tiene sobre los corredores, encontrando literatura científica limitada y heterogénea. Por ello, el propósito de esta revisión es examinar si el uso de este tipo de calzado resulta ser beneficioso durante la carrera y puede llegar a disminuir el número de lesiones.

Objetivo: Analizar la influencia existente entre el uso de calzado minimalista, y la posibilidad de sufrir lesiones y/o molestias en los miembros inferiores de los corredores.

Métodos: Se realizó una revisión en las bases de datos Elsevier, Web of science, Ebscohost, Pubmed y CINAHL hasta la fecha: 23-02-2019.

Resultados: 24 artículos fueron incluidos en esta revisión. Los resultados principales incluyen una alta rigidez vertical del calzado minimalista; un aumento de la amortiguación realizada por la musculatura adyacente al pie y tobillo, y por ello la necesidad de un entrenamiento previo y gradual en este tipo de zapatilla, como medida para evitar lesiones. Antagónicamente, la carga incidente sobre la rodilla parece ser menor, pudiendo resultar ser beneficiosa para patologías crónicas de rodilla.

Conclusiones: Parece ser que sin una transición correcta al calzado minimalista, el sistema musculoesquelético del corredor podría no cumplir con las solicitudes requeridas por este tipo de calzado y resultar en un riesgo lesivo para el corredor, sobretudo en las regiones inferiores de los miembros inferiores.

Palabras clave:

Carrera, calzado minimalista, factores de riesgo, lesiones, extremidades.

ABSTRACT

Background: The high rate of injuries in runners has remained the same for 40 years from the boom of this sport. Thus, during the last decade, the race with minimalist footwear has become a very popular trend among runners, having the conviction that it can be a way to reduce the number of injuries. Currently, there is ignorance as to the influence that this type of footwear has on the runners, finding limited and heterogeneous scientific literature. Therefore, the purpose of this review is to examine whether the use of this type of footwear is beneficial during the race and may decrease the number of injuries.

Objective: To know the influence between the use of minimalist footwear, and the possibility of suffering injuries and/or discomfort in the inferior members of runners.

Methods: A review was employed at Elsevier, Web of science, Ebscohost, Pubmed and CINAHL databases to date: 23-02-2019.

Results: 24 articles were included in this review. The main results include a high vertical rigidity of minimal footwear; An increase in the damping by the muscles adjacent to the foot and ankle, and therefore the need for a previous and gradual training in this type of shoe, as a measure to avoid injury. Antagonistically, the incident load on the knee appears to be lower, and may prove beneficial for chronic knee pathologies.

Conclusions: It seems that without a correct transition to minimal footwear, the musculoskeletal system of the runner may not meet the requests required by this type of footwear and result in a harmful risk for the runner, especially in the inferior regions of the lower limbs.

Keywords:

Running, minimalist footwear, risk factors, injuries, extremities.

ÍNDICE

Introducción.....	páginas 6-7
Objetivos	página 8
Pregunta de investigación.....	
Objetivos.....	
Material y métodos	páginas 9-12
Resultados	páginas 13-22
Discusión	páginas 22-25
Bibliografía	páginas 26-28
Anexos	página 29

INTRODUCCIÓN

Dado que el ser humano evolucionó la capacidad de correr descalzo, probablemente represente nuestra forma más natural y auténtica de locomoción. Es por ello, que en la última década, y debido a la alta tasa de lesiones que actualmente existe, ha aumentado el interés por una carrera más minimalista en un sector de la población corredora, con la convicción de ser un calzado menos lesivo.¹

Existe multitud de defensores de la vertiente minimalista que sugieren que, el corredor transita con un movimiento más natural y en el que existe un apoyo en la parte anterior o media del pie. Se reduciría la fuerza de impacto del talón, mejorando la propiocepción y sensibilidad del pie, la eficiencia en la carrera, así como reduciría el alto número de lesiones durante la carrera. Aunque, existen críticos y escépticos, que advierten de una mayor tendencia en lesiones del pie y/o tobillo al usar este tipo de calzado.²

Por otra parte, la comunidad minimalista, asegura que uno de los principales causantes de la alta incidencia de lesiones, es el calzado convencional, siendo el responsable de un apoyo de talón en la carrera. A pesar de la amortiguación que ofrece, existe una gran carga vertical que incide en la parte posterior del pie, siendo uno de los factores más lesivos durante la carrera.^{1,3}

Durante 40 años, infinidad de marcas deportivas han estado trabajando en supuestas mejoras en el calzado específico para correr, con avances tecnológicos y diseño más sofisticados. Materiales ligeros, tacones elevados, media suela para amortiguar el impacto, sistemas de control de movimiento; son algunos de los ejemplos de una amplia batería de avances y perfeccionamientos.^{2,4}

La protección frente a lesiones ha sido el argumento principal en el que los fabricantes de calzado deportivo se han basado para justificar dichas tecnologías, pero la realidad muestra que, anualmente entre un 75% y un 79% de corredores sufren alguna lesión, predominantemente en rodillas y partes inferiores de las piernas, de las cuales un 46% de éstas, son recurrentes.^{1,2}

Además, desde la introducción de la zapatilla moderna en el mercado, la incidencia de lesiones siempre se ha mantenido igual, a pesar de tanta supuesta mejora en el calzado; es por ello, que el sector minimalista está ganando mucho terreno entre la población corredora actual.^{2,3}

Por otra parte, cuando se habla de corredor minimalista, se puede considerar tanto a las personas que corren sin calzado, como aquellos que usan un calzado mínimo. Es conveniente tener en cuenta que correr descalzo o correr con un calzado minimalista no es totalmente equivalente, debido a diferencias existentes durante la carrera. La definición funcional de un calzado minimalista, es aquel calzado que promueve una semejanza a la cinemática y biomecánica de la carrera descalza, supuestamente beneficiosa, mientras que sigue proporcionando una mínima protección del pie.²

Las características que constituyen un calzado minimalista son:

Masa: < o igual a 200gr

Altura de talón: < o igual a 20 milímetros

Diferencial talón-dedo (*drop*) : < o igual a 7 milímetros

Representando los umbrales máximos para que se pueda considerar como calzado minimalista.²

Un echo que resulta muy evidente es, que correr genera lesiones y son debidas en su mayoría, a un sobreesfuerzo por parte del sistema musculoesquelético, y por ello, es inevitable desatender una definición consensuada del término *lesión relacionada con la carrera* :

“Dolor musculoesquelético relacionado con la carrera ya sea en entrenamiento o competición, en los miembros inferiores, que causa restricción o detención del funcionamiento (distancia, velocidad, tiempo de entrenamiento) durante al menos 7 días consecutivos o 3 sesiones consecutivas de entrenamiento programadas, o que haga que el corredor consulte al médico o a otro profesional sanitario”⁴

En la actualidad, la literatura científica se centra en la fase de aterrizaje y amortiguación para explicar las diferencias implicadas entre los tipos de calzado y los factores de riesgo asociados. En estas fases de la carrera, y según el tipo de apoyo, es donde más varían las cargas y fuerzas sobre las extremidades inferiores, así como las diferencias entre variables cinéticas y cinemáticas; por tanto, son las variables más idóneas de estudio para relacionar el tipo de calzado con las lesiones producidas en corredores.²

Durante la carrera pueden existir 3 tipos de apoyo, los corredores que usan un apoyo anterior (AA), donde el peso inicial recae en los metatarsianos del 4º y 5º dedo; el apoyo medio (AM), que se caracteriza por el contacto con todo el pie de manera simultánea, y por último, el apoyo posterior (AP), que se aterriza con el talón y el pie rueda hasta la región anterior del pie.

La literatura científica utiliza tanto AA como AM indistintamente, debido a que biomecánicamente se consideran prácticamente similares, porque se disminuye la carga localizada en la región del talón; por tanto, es idóneo unificarlas para poder realizar explicaciones y comparaciones en oposición al AP.²

Actualmente, existe una gran falta de consenso en la literatura científica, la cual es débil, heterogénea e incluso contradictoria. Además, hay cierto desconocimiento en cuanto a la influencia que tiene el uso de un calzado minimalista en el cuerpo de los corredores, para comprender el supuesto beneficio que posee, frente a un calzado tradicional. Es por ello, que existe una clara necesidad de aportar una visión más objetiva y precisa de la situación, para poder orientar a los deportistas a una situación más realista.¹⁻⁴

OBJETIVOS

Pregunta de investigación

La pregunta de investigación a la que se quiere dar respuesta en esta revisión es: ¿El uso de calzado minimalista en corredores es un factor de riesgo lesivo de extremidades inferiores, en comparación con un calzado convencional?

General:

-Analizar la influencia existente entre el uso de calzado minimalista, y la posibilidad de sufrir lesiones y/o molestias en los miembros inferiores de los corredores.

Específicos:

-Comprender la repercusión que tiene el calzado minimalista, en la biomecánica de carrera del corredor.

-Determinar el efecto en el uso de un calzado minimalista, en la cinética y cinemática de carrera.

MATERIAL Y MÉTODOS

Fuentes de información

Esta revisión se ha elaborado para conocer que influencia tiene el uso continuado de calzado minimalista en corredores, en referencia al riesgo de sufrir alguna lesión, si lo comparamos con un calzado convencional. Las bases de datos utilizadas en este documento son ScienceDirect, WebOfScience, SPORTDiscus, Academic Search Ultimate, E-Journals, Medline y CINAHL; con las palabras clave “Minimalist shoes”, “Conventional shoes”, “Run”, “Runner/s”, “Injury/ies”, “Limbs” y “Barefoot”; los descriptores “Running”, “jogging”, “Risk factors” y “Extremities” y los booleanos “AND”, “OR” y “NOT”, en la fecha del 23-02-2019. (tabla 1) (tabla 2).

Los límites escogidos en las búsquedas fueron:

- Año de publicación: Menor o igual a 5 últimos años (2015)
- Tipo de artículo: Publicaciones académicas

Tabla 1. Estrategia de búsqueda

BASE DE DATOS: <i>ScienceDirect</i>	PLATAFORMA: <i>ELSEVIER</i>
#1 [Minimalist shes AND (injury OR injuries) AND (runners OR run) AND limbs] -Límites: 5 years	
BASE DE DATOS: <i>WebOfScience</i>	PLATAFORMA: <i>WebOfScience</i>
#1 [(Minimalist shoes NOT barefoot) AND (injury OR injuries)] -Límites: 5 years	
#2 [(Minimalist shoes AND conventional shoes) AND Injuries AND (runners OR running OR run OR jogging)] -Límites: 5 years	

<p>BASE DE DATOS: SPORTDiscus, CINAHL, Academic Search Ultimate, E-Journals</p>	<p>PLATAFORMA: <i>Ebscohost</i></p>
<p>Estrategia de búsqueda:</p> <p>#1 [(Minimalist shoes NOT barefoot) AND runners AND (injuries OR injury)]</p> <p>-Límites: 5 years</p>	
<p>BASE DE DATOS: <i>Medline</i></p>	<p>PLATAFORMA: <i>Pubmed</i></p>
<p>Estrategia de búsqueda:</p> <p>#1 [Minimalist shoes AND Injuries AND runners]</p> <p>-Límites: 5 years</p>	
<p>BASE DE DATOS: <i>CINAHL</i></p>	<p>PLATAFORMA: <i>Ebscohost</i></p>
<p>Estrategia de búsqueda:</p> <p>#1 [(Minimalist shoes NOT barfefoot) AND extremities) AND risk factors]</p> <p>-Límites: 5 years Academic publications</p>	

Tabla 2. Palabras clave y descriptores

DESCRIPTORES	
DECS	MESH
Carrera Trote Factores de Riesgo Extremidades	Running Jogging Risk factors Extremities
PALABRAS CLAVE	
ESPAÑOL	INGLÉS
Calzado minimalista Calzado convencional Correr Corredor/s Lesión/es Barefoot Miembros	Minimalist shoes Conventional shoes Run Runner/s Injury/ies Descalzo Limbs

Criterios de elegibilidad

Criterios de inclusión:

- Estudios que incluyan personas entre 18-65 años.
- Artículos que incorporen hombres y/o mujeres.
- Tipos de artículos: ECAs, ensayos clínicos no controlados (diseños cuasi-experimentales)
- Idioma: Inglés y español

Criterios de exclusión:

- Artículos cuyos individuos hayan sufrido lesiones musculoesqueléticas en los últimos 6 meses.
- Estudios cuyos individuos hayan sido sometidos a alguna intervención quirúrgica en el último año.
- Artículos observacionales, revisiones sistemáticas o procedentes de editoriales

Calidad metodológica

La calidad de evidencia de cada estudio seleccionado, fue evaluada en base a las escalas PEDro referente a estudios de diseño experimental.

Dicha escala, contiene 11 ítems otorgando 1 punto por cada criterio que aparezca en el artículo evaluado y 0 en su defecto. El criterio número 1 referencia la validez externa del documento, el resto lo hace para la validez interna; éstos últimos son los que dan un máximo de 10 puntos al artículo.⁵

Aquellos estudios que obtengan una puntuación entre 9 y 10 se consideran excelentes en cuanto a su calidad metodológica; entre 6 y 8, considerados con buena calidad metodológica; entre 4-5 la calidad es neutra o regular y, por último, en el caso de que un artículo obtenga menos de 4 puntos en la escala PEDro, tiene una mala calidad metodológica.⁵ (ANEXOS)

RESULTADOS

Durante la estrategia de búsqueda, se detectaron 205 artículos en su inicio. Después de realizar un cribado exhaustivo, excluyendo aquellos artículos solapados en las diferentes bases de datos, o que no se adecuaban a los objetivos del estudio. De los 29 artículos evaluados para su elegibilidad, 5 de ellos fueron excluidos: 3 de ellos no aportaban información relevante para la revisión y los otros 2 restantes, no se adecuaban a los criterios de inclusión. Finalmente, el número total de estudios incluidos en esta revisión es de 24 artículos. (figura 1)

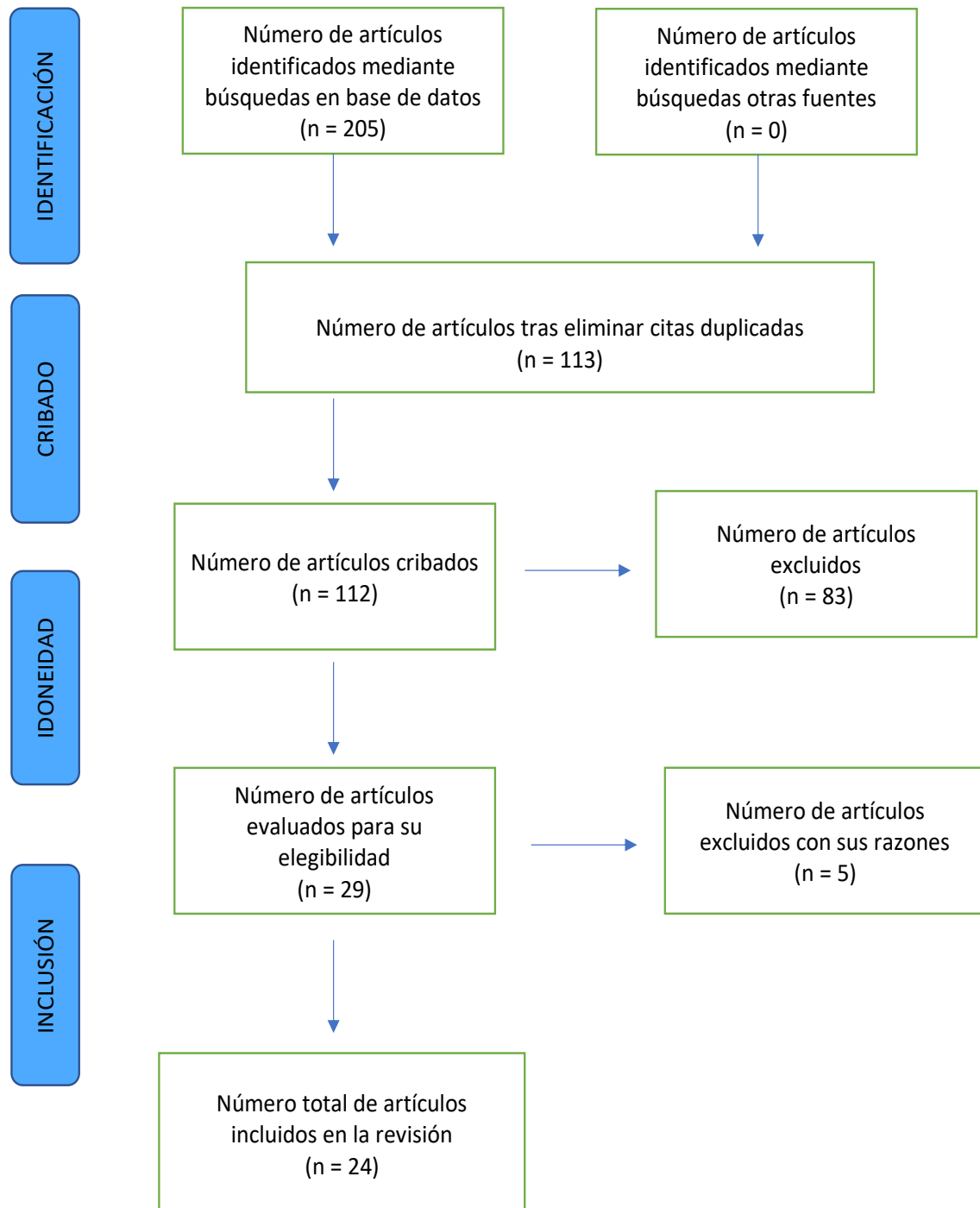


Figura 1. Flujograma

Calidad metodológica.

La calidad aportada por los distintos tipos de estudio fue moderada. Varios aspectos tales como el cegado de los participantes a las diferentes condiciones, así como los profesionales que realizaban el seguimiento fue imposible de llevarse a cabo;⁶⁻²⁹ o la asignación al azar y oculta de los individuos a los distintos grupos, que tampoco fue posible.^{9-11,15, 17,21,27,29} Por otra parte, excepto 3 de los artículos ^{6,21,25} en el resto de ellos, se incluyeron grupos similares en el inicio del estudio. Todos los artículos mostraban distintas mediciones que se realizan proporcionando un seguimiento adecuado de las variables, así como comparaciones estadísticas entre los grupos definidos.⁶⁻²⁹ En cuanto al plano de conflictos de intereses, ninguno artículo informaba tener conflictos de intereses potenciales o simplemente no constaban en sus relatos. (tabla 3)

Tabla 3. Calidad metodológica

ARTÍCULO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	TOTAL
Warne P et al., (2016)	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO	SI	SI	4
Fuller JT et al., (2017)	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	5
Fuller JT et al., (2015)	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	NO	SI	SI	7
Firminger CR et al., (2016)	SI	NO	NO	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	5
Sinclair J et al., (2016)	SI	NO	NO	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	5
Firminger CR et al., (2017)	SI	NO	NO	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	5
Squadrone R et al., (2015)	SI	SI	NO	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	6
Chambon N et al., (2014)	NO	SI	NO	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	6
Fuller JT et al., (2018)	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	NO	SI	SI	7
Jandova S et al., (2018)	SI	NO	NO	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	5
Friedericks W et al., (2015)	SI	SI	NO	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	6
Peltz CD et al., (2014)	SI	NO	NO	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	5
Nigg BM et al., (2017)	SI	SI	NO	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	6
Chen TLW et al., (2016)	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO	NO	SI	SI	7
Ryan M et al., (2014)	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	5
Sinclair J et al., (2015)	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	4
Fuller JT et al., (2016)	SI	SI	NO	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	6
Agresta C et al., (2018)	SI	SI	NO	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	6
Dubois B et al., (2015)	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI	SI	8
Bergstra SA et al., (2014)	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	6
Sinclair J et al., (2016)	SI	SI	NO	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	6
Zhang X et al., (2018)	SI	NO	NO	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	6
Law MHC et al., (2018)	SI	SI	NO	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	6
Histen K et al., (2017)	SI	NO	NO	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	6

1 = Los criterios de elección fueron especificados ; 2 = Los sujetos fueron asignados al azar a los grupos; 3 = La asignación fue oculta; 4 = Los grupos fueron similares al inicio en relación a los indicadores de pronóstico más importantes; 5 = Todos los sujetos fueron cegados; 6 = Todos los terapeutas que administraron la terapia fueron cegados; 7 = Todos los evaluadores que midieron al menos un resultado fueron cegados; 8 = Las medidas de al menos uno de los resultados clave fueron obtenidas de más del 85% de los sujetos asignados en los grupos; 9 = Se presentaron resultados de todos los sujetos que recibieron tratamiento o fueron asignados al grupo control; 10 = Los resultados de comparaciones estadísticas entre grupos fueron informados para al menos un resultado clave; 11 = El estudio proporciona medidas puntuales y de variabilidad para al menos un resultado clave. et

Características generales de la muestra

Dependiendo de ciertos criterios de inclusión por parte de los autores, la muestra es variada; en los artículos ⁶⁻¹⁴ eran exclusivamente hombres quienes formaban la totalidad de la muestra, otros de ellos eran grupos mixtos ¹⁵⁻¹⁸ y en el resto de los artículos el sexo de los participantes no fue descrito. La edad de los participantes varía en torno a los 18-55 años con pequeñas variaciones según el artículo. Uno de los factores destacados de la muestra de corredores era la experiencia con el calzado experimental, en los artículos ^{6-11,14,16,21-23} no tenían previa experiencia con un calzado minimalista, los artículos ^{13,17,18,25-28} no lo especificaba, y solamente en 3 artículos ^{12,15,29} si que exigían cierta experiencia con dicho calzado. En cuanto al volumen de entrenamiento mínimo requerido a los participantes también era variado, estando entre 10km por semana, hasta 40km como mínimo por semana en otros. ^{6-15 20-22, 27-29} (tabla 4)

Tabla 4. Características de la muestra

Autor, año	Diseño	Muestra	Inclusión	Exclusión
Warne P et al., (2016)	Ensayo clínico aleatorio	40 hombres corredores	correr de 5 a 7 días/s mínimo 40km/s, competir regularmente en carreras de 5km y participar en algún club.	Alguna patología en mmii en los últimos 3 meses o haber corrido anteriormente descalzo o con CM
Fuller JT et al., (2017)	ensayo clínico aleatorio	61 Corredores hombres	Con apoyo de talón en carrera entre 18 y 40 años sin previa experiencia en CM; mini. 15km/s, pueda correr 5km en - 23min.	Uso de elementos ortopédicos, lesión actual o reciente en <3meses o historia de cirugía en el pasado de espalda, pelvis o MMII en el último año
Fuller JT et al., (2015)	ensayo clínico aleatorio	76 corredores hombres	Con apoyo de talón en carrera entre 18 y 40 años sin previa experiencia en CM; mini. 15km/s, pueda correr 5km en - 23min.	Uso de elementos ortopédicos, lesión actual o reciente en <3meses o historia de cirugía en el pasado de espalda, pelvis o MMII en el último año
Firminger CR et al., (2016)	Diseño factorial 2x2	14 corredores recreacionales	Entre 18 y 35 años de edad, correr al menos 10km/s, no haber tenido lesiones de MMII en los últimos 3 meses, pisada cde talón, no haber tenido experiencia con CM antes	Mujeres descartadas para evitar diferencias biomecánicas
Sinclair J et al., (2016)	Diseño cuasiexperimental	10 correodres masculinos	Entrenamiento mínimo 3veces/s con mínimo de 35km/s; apoyo de talón; libre de lesión musculoesquelética en el tiempo de recogida de datos	experiencia en CM; historia de patología tibiofemoral
Firminger CR et al., (2017)	Diseño factorial 2x2	14 corredores masculinos recreacionales	correr al menos 10km/s, , pisada cde talón, no haber tenido experiencia con CM antes	haber tenido lesiones de MMII en los últimos 3 meses
Squadrone R et al., (2015)	Diseño cuasiexperimental transversal	14 corredores masculinos experimentados	45km/s; experiencia de entrenamiento con CM de al menos un 50% del volumen de entrenamiento; libre de patología musculoesquelética en el último año	todo lo que se saliera de los criterios de inclusión

Chambon N et al., (2014)	Diseño casiexperimental cruzado	12 corredores masculinos recreativos	No especifica	No especifica
Fuller JT et al., (2018)	ensayo clínico aleatorio	50 hombres corredores	Entre 18 y 40 años de edad, sin previa experiencia en CM. Mínimo de 15 km/s y capacidad de correr 5km en menos de 23min.	Haber sufrido lesión reciente, uso de plantillas o órtesis
Jandova S et al., (2018)	Diseño cuasiexperimental transversal	13 corredores mixtos experimentados	Entrenos 4/s durante 1 año ; mín. 30km/s ; uso CM 2/s al menos durante medio año	Todo lo que se saliera de los criterios de inclusión
Friedericks W et al., (2015)	Diseño cuasiexperimental de mediciones repetitivas	26 corredores recreacionales (13 hombres y 13 mujeres)	Sanos; entrenar al menos 30min. 2veces/s; sin experiencia en CM	todo lo que se saliera de los criterios de inclusión
Peltz CD et al., (2014)	Diseño casiexperimental cruzado	12 corredores recreacionales (6 hombres y 6 mujeres)	al menos 25 millas/s de carreras durante el año anterior; libres de lesiones	antecedente de cirugía en EEII; corredores habituales de carrera descalzos.
Nigg BM et al., (2017)	Diseño casiexperimental cruzado	35 corredores (18m y 17 f)	Libre de lesión 6 meses antes de la prueba; correr mín. 2veces/s	todo lo que se saliera de los criterios de inclusión
Chen TLW et al., (2016)	Ensayo clínico aleatorio	55 corredores de calzado convencional sin experiencia con CM	Edad entre 20 y 45 años.	Alguna patología activa musculoesquelética o cardiopulmonar. Si contraindicación para uso de CM
Ryan M et al., (2014)	ensayo clínico aleatorio	103 Corredores sin experiencia en CM	Edad entre 19 y 50 años con mínimo de 5 años de experiencia corriendo, mínimo 1/s en los últimos 6 meses, capaz de correr 1h continua, km:20-40km/s	haber sufrido lesión que hiciera cesar el entreno 2 semanas o más en los últimos 6 meses. Cirugía pie o TA, osteoartritis o otras degenerativas en MMII o actualmente medicándose analgésicos
Sinclair J et al., (2015)	Diseño cuasiexperimental	15 Corredores	Capaz de correr 35km/s, libre de patología musculoesquelética	corredor habitual de CM
Fuller JT et al., (2016)	Diseño cruzado	26 corredores de resistencia	Edad 18-40 años; apoyo en talón, entreno semanal de al menos 15km/s; sin experiencia en CM;	Lesion musculoesquelética en los últimos 3 meses
Agresta C et al., (2018)	Diseño cuasiexperimental de mediciones repetitivas	30 corredores experimentados	Edad 18 a 45 años , Sin experiencia en Cmin. Y Cmax; ritmo de carrera mínimo de 9 min / milla para hombres y 10 min / milla para mujeres.	lesiones en la extremidad inferior o en la pelvis en los 6 meses anteriores, lesiones crónicas relacionadas con la carrera, cirugía, uso de plantillas

Dubois B et al., (2015)	Ensayo clínico aleatorio	26 Corredores recreacionales	Edad entre 18 y 55 años. Capaces de correr 20 min. continuamente	Presencia de patología degenerativa. Historia de cirugía en MMII. Uso de material ortopédico en los últimos 6 meses. Historia de lesión en MMII en los últimos 6 meses. Experiencia en más de 1 medio maratones o similares
Bergstra SA et al., (2014)	Diseño cruzado aleatorizado	18 corredoras de resistencia	Entre 19 y 55 años, sanas y sin historia de problemas cardiovasculares	lesión en el último año en los MMII
Sinclair J et al., (2016)	Diseño cuasiexperimental transversal	20 corredores con apoyo/impacto posterior	Libres de patología musculoesquelética durante el estudio	todo lo que se saliera de los criterios de inclusión
Zhang X et al., (2018)	Diseño cuasiexperimental transversal	38 corredores recreacionales	edad entre 18 y 50 años; volumen de ejecución de al menos 10 km/s ; Haber corrido con el mismo par de zapatos y / o plantillas en los últimos 6 meses	Cualquier lesión o queja musculoesquelética en los últimos 6 meses
Law MHC et al., (2018)	Diseño cuasiexperimental cruzado	15 corredores	Libre de patología en EEII, con la misma talla de pie y apoyo en talón; + de 12km/s en los últimos 6 meses	todo lo que se saliera de los criterios de inclusión
Histen K et al., (2017)	Diseño cuasiexperimental transversal	17 corredores tradicionalmente calzados y 11 corredores minimalistas (total 29)	volumen de carrera de al menos 10 millas / semana, sin lesiones durante los últimos 6 meses, y con calzado para correr minimalista o tradicional. (según grupo) 8 minimalistas mín. 4 años de experiencia y apoyo en medio o antepie	todo lo que se saliera de los criterios de inclusión

CT: Calzado tradicional/convenional, CM: Calzado minimalista, MMII: miembros inferiores, MEP: musculatura extrínseca del pie, MIP: musculatura intrínseca del pie, AA: apoyo anterior, AM: apoyo medio, AP: apoyo posterior, BM: balance muscular, ROM: rango de movimiento articular, s: semana, m: masculino, f: femenino, m' : músculo/musculatura, EVA: escala analógica visual, FC: frecuencia cardiaca, MTT: articulación metatarsofalángica, LZ: longitud de zancada, Fx: fractura, CDG: centro de gravedad, CSA: area de sección transversal, TA: Tendón de Aquiles, UMT: unión miotendinosa, Cmax: calzado maximalista, FP: flexión plantar, FD: flexión dorsal. D: drop, BF: barefoot (descalzo), DMO: densidad mineral ósea

Intervención

7 de los artículos seleccionados realizan un programa de entrenamiento gradual al grupo experimental con calzado minimalista y otro grupo control con un calzado convencional, en el cual, se registraban datos antropométricos de los corredores pre y post intervención, ^{6,19,20} así como se evaluaba la incidencia de lesiones, dolor y su localización, volumen de entrenamiento, ^{7,8,14,20,24} a través de plataformas online y/o cuestionarios en referencia al

programa de entrenamiento;^{6-8,14,19,20,24} Paralelamente, 2 de ellos^{8,14} midieron la densidad mineral ósea (DMO), la rigidez articular y la fuerza muscular de diversas zonas corporales y articulaciones relevantes para el estudio, medidos con un dinamómetro isocinético y un Dual energy X-ray absorptiometry para la DMO. La duración de los programas de entrenamiento varía desde 6 semanas de seguimiento,⁶⁻⁸ entre 12 y 16 semanas^{20,24} hasta los 6 meses de programa en 2 de ellos.^{14,19}

Los 17 estudios restantes,^{9-13,15-18,21-23,25-29} están basados en la comparación del calzado minimalista frente al convencional, realizada a través de la recolección de datos tanto cinéticos como cinemáticos de los participantes. Se realizaban una serie de pruebas en las distintas condiciones de calzado llevadas a cabo de forma transversal, por la cual, en un sola sesión en la gran mayoría de estos artículos, se registran todos los datos referentes a al tipo de condición de calzado. Se recogen datos en relación a fuerzas, cargas y presiones en las articulaciones de los miembros inferiores a través diferentes tipos de sensores de presión, tales como plantillas o plataformas piezoeléctricas;^{9,11-13,15,25,28} sistema de cámaras para la representación gráfica en 3D de diferentes estructuras anatómicas; o a través de la técnica de calibrado con 6 grados de libertad para visualizar distintos ángulos de movimiento.^{9,10,13,16,18,22,23,26,28} Por otra parte, 2 de ellos, incluyeron también, datos biomecánicos de músculos, tendones y articulaciones con un sistema de ultrasonidos¹⁷ o TAC,²⁷ para una posterior comparación de medidas entre ambas condiciones durante las sesiones. (tabla 5)

Variables del estudio

Cinética de la carrera

Es esta revisión se encuentran varios artículos que han estudiado la cinética de la carrera con diversos sensores de presión, en ambas condiciones de calzado, para así poder relacionar el tipo de cargas durante la carrera y la influencia que pueden tener en las diferentes regiones de los miembros inferiores. Se obtuvo en 7 de ellos, una relación directa entre un apoyo anterior o medio con el uso de calzado minimalista respecto al calzado tradicional, en el que la prevalencia de un apoyo posterior es sumamente superior.^{6-9,12,16,22} Existen 3 estudios en la revisión^{14,25,26} donde no se ha obtenido diferencias relevantes en el tipo de patrón de apoyo de los corredores, pero si en cuanto la presión media repartida sobre la región anterior y media del pie, y el uso de calzado minimalista.

Se respalda además, a partir de capturas digitales y dispositivos de grabación, correspondencia entre usar calzado minimalista, y tener una posición articular del tobillo menos dorsiflexionada en la fase de contacto pie-suelo como bien definen 7 estudios, así como una longitud de zancada reducida.^{8,12,13,14,17,23,26,28} También existe relación en cuanto una presión máxima en el pie durante la fase de apoyo y tiempo de contacto, menores en el calzado minimalista.^{22,23,25,28} (tabla 5)

Trabajo y tensión muscular :

De entre los estudios que evaluaba el estado de la musculatura a través de un dinamómetro isocinético en las diferentes condiciones de calzado, 5 de ellos ^{8,17,19,27,29} presentaban relación directa entre el uso de calzado minimalista y una musculatura extrínseca e intrínseca del pie con mayor hipertrofia y fuerza, además de soportar mayores cargas de tensión musculotendinosas en comparación con el calzado tradicional, en el que se

mantenía sin cambios significativos durante y después, de un programa de entrenamiento como indican otros 5 artículos.^{8,9,14,22,29} (tabla 5)

Carga articular

En los diferentes estudios que se llevaron a cabo análisis de la cinemática articular en ambas condiciones de calzado, presentan correlación entre una mayor rigidez vertical en miembros inferiores al usar calzado minimalista, en comparación con un calzado convencional, por la falta de amortiguación de este tipo de calzado.^{6,21,23,28}

Se detallan también, las cargas de diversas articulaciones independientes; en el caso de la rodilla, varios estudios muestran relación directa entre una menor carga y momento articular en este tipo de calzado.^{6,9,12,13,15,21,22,26} En cuanto a la articulación del tobillo, existe una carga articular significativamente más elevada, debido a un mayor momento resultante de las fuerzas que actúan sobre él en el calzado minimalista;^{8,21-23} aunque existe 3 estudios que difieren de estos datos, afirmando no haber obtenido diferencias significantes entre el trabajo y rigidez de ambas articulaciones en las diferentes condiciones de calzado.^{10,17,18}

2 artículos hacen referencia a la articulación metatarsiana, también encontrando relación directa entre la tasa de carga e impacto en los metatarsos con la condición minimalista, además de un posible riesgo de fractura por estrés.^{11,25} (tabla 5)

Lesiones y dolor

En cuanto a la incidencia de lesiones que algunos artículos han investigado directamente, 1 de ellos afirma no haber cambios significativos entre ambas condiciones de calzado²⁴ mientras que existen 2 de ellos, en los que la incidencia de lesiones está relacionada con el uso de calzado minimalista, así como la probabilidad de sufrir una lesión^{21,23} y tener dolor en la región de la espinilla y pantorrilla;^{7,20} además, con el aumento del volumen de entrenamiento, tanto la probabilidad de lesionarse como la de sentir dolor, está directamente relacionado.^{7,14} (tabla 5)

Tabla 5. Variables y resultados

Autor, año	Variables	Resultados/conclusiones
Warne P et al., (2016)	datos antropométricos: rigidez del tobillo, dorsiflexión del pie	Mayor tasa de carga en CM, que se redujo después de 6s, aunque inicialmente existe más riesgo de lesión en CM por la falta de entrenamiento. Mayor rigidez vertical en CM y mayor prevalencia de apoyo AA o AM
Fuller JT et al., (2017)	Dolor y lesiones (EVA) y localización ; distancia KM y datos antropométricos personales	Relación entre masa corporal y CM; RIESGO MODERADO EN >85'7 KG. Dolor típico en pantorrilla, tobillo y espinilla en CM. Relación entre el dolor y distancia.
Fuller JT et al., (2015)	Densidad mineral del hueso, Fuerza muscular, Dolor y lesiones	Relación entre CM y reducción de la zancada, y la dorsiflexión plantar; aumento de la m' plantar y esto puede resultar más económico en carrera; aunque la falta de costumbre puede inducir en lesiones articulares o musculares. Promueve un patrón AA
Firminger CR et al., (2016)	Captura de movimiento, plataforma de fuerza presión plantar	Relación entre CM e índice de apoyo del pie anterior. Relación entre CM y disminución de las cargas y trabajo en rodilla; pero aumento en tobillos y las MTT; A menor LZ (10%) reducción de cargas articulares de rodilla y tobillo; La reducción de la LZ más efectiva para disminuir cargas de la rodilla, y junto con un CM es más efectivo.

Sinclair J et al., (2016)	información cinemática (seguimiento de diferentes segmentos de la extremidades inferiores a través de técnica de sistema anatómico calibrado-6grados de libertad)	No hubo diferencias en la cinética tibiofemoral entre los dos calzados. Por lo tanto, esto indica que el calzado minimalista puede no proporcionar ninguna protección adicional contra patologías tibiofemorales relacionadas con el correr en comparación con el calzado convencional
Firminger CR et al., (2017)	Presión plantar; Fuerza metatarsal axial y perpendicular;	Relación entre media de tensiones en MTT y CM. Aumento también de la tensión tisular de dicha región. La zancada en carrera no parece influir en ello. Las características de una zapatilla, tiene potencial de influencia en el riesgo de Fx estrés en los metatarsos.
Squadrone R et al., (2015)	La distribución de presión en la interfaz zapato-suelo y la cinemática de la extremidad inferior derecha durante los últimos 20s de cada prueba. A partir de los datos de presión se estimó: long. y frec. Zancada; índice de impacto	Relación entre CM y dorsiflexión de tobillo menor en el apoyo pie-suelo. Aumento de la frecuencia de zancada y disminución de longitud de zancada. ROM de rodilla más bajo.
Chambon N et al., (2014)	Cinemática 3D de tobillo, rodilla y ángulo del pie; fuerza de contacto en el suelo,	Existe diferencia en las variables, cuando se corre con CM tasa de carga mas altas, disminución en el ángulo de apoyo del pie (mas plano= angulo del tobillo en el momento del apoyo con mayor dorsiflexión) angulo de flexión de la rodilla al momento del apoyo + elevado, A mayor drop, menor tasa de carga.
Fuller JT et al., (2018)	rendimiento , economía de carrera, la cinemática y tipo de apoyo se evaluaron después de la Semana 26 y comparada con la medición de la 6s. DMO se midió también en este estudio.	No diferencias entre el pico de contracción muscular entre la semana 26 y la 6 (tiempo) . Los zapatos minimalistas fueron acompañados por mayores aumentos en el pico concéntrico máximo que los zapatos convencionales con el aumento de la distancia de carrera semanal (distancia). No diferencias en el apoyo entre condiciones; no diferencias en la DMO.
Jandova S et al., (2018)	Pre: datos antropométricos (peso, edad, pierna dominante) POST: (variables temporales: duración fase postura, duración fase swing, duración del paso) y variables cinéticas (presión por KG de masa corporal, fuerza vertical máx.)	Las variables temporales fueron más cortas en CM ; variables cinéticas más altas en CM ; dos factores de riesgo asociados con valores más altos de las variables cinéticas durante la ejecución en el CM y también en la pierna dominante.
Friedericks W et al., (2015)	datos cinemáticos: ángulos cinemáticos, tipo de apoyo, longitud de paso, velocidades	Mayor distribución apoyo AA y AM en CM, mayor flexion de tobillo en el apoyo y despegue con CM. A mayor velocidad mayor flexion plantar y mayor flexión de rodilla en el apoyo. Menor LZ
Peltz CD et al., (2014)	Posición y orientación de cada hueso y movimientos (ROM) de cada articulación; apoyo..	Art. Tibiotalar: No diferencias entre FP y FD entre condiciones, no diferencias de ROM de inv/ev entre condiciones. Art. Subtalar: - invertida con CM, - Rotacion interna en CM en fase inicial, + dorsiflexion con CM en fase inicial.
Nigg BM et al., (2017)	datos cinemáticos de la articulaciones	La cinemática media de las articulaciones de tobillo y rodilla fue similar entre el CC y el CM
Chen TLW et al., (2016)	Demografía, experiencia en carrera, tipo de pisada, kilometraje mensual (pre y post)	Grupo experimental exhibió mayor musculatura extrínseca del pie (MEP) e intrínseca(MIP) después del programa. Hipertrofia atribuido más a la pisada con antepié. El volumen de musculo en grupo Control permaneció igual. Correlación entre la adherencia al programa y los cambios de volumen en las piernas.
Ryan M et al., (2014)	PRE: Medidas de datos antropométricos, peso, edad, BM, ROM angulo Q POST: n°lesiones o eventos lesivos, dolor asociado al correr(EVA), localización del dolor. Adherencia a través de encuesta semanal	Correr con calzado minimalista aumenta la probabilidad de sufrir lesión y dolor relacionado con la carrera sobretodo en principiantes (espinilla, pantorrilla); sin embargo, realizando un programa preparatorio se mitiga el riesgo asociado con este tipo de calzado.
Sinclair J et al., (2015)	Características de la rigidez de las extremidades y articulaciones en función de diferentes calzados: Desplazamiento, postura, desplazamiento articular	el uso de CM reduce el riesgo de patologías crónicas de rodilla, pero también coloca a los corredores en mayor riesgo de patologías de tobillo.

Fuller JT et al., (2016)	Datos cinemáticos tridimensionales a través de un sistema de 12 cámaras y sensores de calibrado anatómico en 12 regiones del cuerpo (pies, piernas, muslos, pelvis, tronco y cabeza, brazos y antebrazos con las manos)	EL CM causa un cambio de tipo de patrón de aterrizaje AM, relación con más trabajo plantar de tobillo y menos trabajo extensor de rodilla. Relación entre CM y velocidad zancada aumentada, tiempo de contacto menor y CDG más bajo.
Agresta C et al., (2018)	datos biomecánicos: ángulo de impacto del pie; Datos cinemáticos y cinéticos; medidas espaciotemporales. Rigidez, fuerza de reacción, aceleración...	Relación entre incidencia de lesiones y CM. CM menor dorsiflexión en contacto pie-suelo, menor tiempo de contacto y zancada, mayor cadencia, mayor rigidez vertical, y mayor rigidez en pierna, mayor tasa de carga y fuerzas de reacción en CM.
Dubois B et al., (2015)	Biomecánica, edad, sexo, fisiología; proporciones de lesión entre grupos. Adherencia al entrenamiento.	Adherencia similar entre condiciones 86,2%CT y 82,4%CM. Lesiones presentadas por CM: fractura por estrés del metatarso, Sd. banda iliotibial y fasciitis plantar. En CT: dolor lumbar inespecífico, periostitis tibial. Días perdidos por dolor, similares en ambas condiciones.
Bergstra SA et al., (2014)	presiones plantares en 7 partes del pie a través de sensores (presión media de las 5 pruebas); tiempo de postura, tiempo de zancada, comodidad y tipo de aterrizaje	Relación entre CM y mayores presiones en antepié pero sin diferencia en el patrón de aterrizaje; aumenta el riesgo de lesión en antepié (fx estrés)
Sinclair J et al., (2016)	La cinemática y los datos de la fuerza de reacción en el suelo recogidos simultáneamente; datos cinemáticos a través de un análisis de movimiento con 8 cámaras. La fuerza de contacto patelofemoral durante la carrera se estimó como una función del ángulo de flexión de la rodilla y el momento extensor de la rodilla	Relación entre menor tasa de carga, LZ, fuerza de contacto y presión media por distancia, con el uso de CM. Menor ROM de rodilla y tobillo en CM. Ángulo de tobillo más plantar en CM en el contacto inicial pie-suelo.
Zhang X et al., (2018)	mediciones morfológicas de los músculos intrínsecos del pie; espesor y área de sección transversal; tejido blando: fascia plantar y TA inserción en calcáneo, y almohadilla del talón	Los corredores que usan zapatos minimalistas tienen un abductor alus y un tendón de Aquiles más grueso; fascia plantar proximal más delgada. Índice de deformación del arco plantar más rígido en CM.
Law MHC et al., (2018)	Datos cinéticos: carga vertical, ángulo de apoyo (aterrizaje), parámetros espaciotemporales.	El calzado para correr con un grosor de la suela media ≤ 5 mm pueden aumentar las tasas de carga vertical y acortar el tiempo de contacto en comparación con las zapatillas para correr con una suela intermedia más gruesa. Relación ángulo de impacto del pie más pequeño en CM (menos dorsiflexionado), mayor cadencia.
Histen K et al., (2017)	Longitud libre del TA (calculada desde la UMT hasta el tubérculo del calcáneo) y elongación de fuerza del TA; fuerza de los tendones, la tensión, el alargamiento y la rigidez	Relación entre CM y CSA mayor del TA, con más fuerza, y menor elongación y tensión. Tendones más rígidos, mayor módulo y más estrés. Se reduce las fuerzas de colisión y al mismo tiempo aumenta la carga mecánica del TA y triceps sural. El tendón se adapta endureciéndose y aumentando la CSA, el entrenamiento ayudaría a esta adaptación

CT: Calzado tradicional/convenicional, CM: Calzado minimalista, MMII: miembros inferiores, MEP: musculatura extrínseca del pie, MIP: musculatura intrínseca del pie, AA: apoyo anterior, AM: apoyo medio, AP: apoyo posterior, BM: balance muscular, ROM: rango de movimiento articular, s: semana, m: masculino, f: femenino, m' : músculo/musculatura, EVA: escala analógica visual, FC: frecuencia cardiaca, MTT: articulación metatarsfalángica, LZ: longitud de zancada, Fx: fractura, CDG: centro de gravedad, CSA: area de sección transversal, TA: Tendón de Aquiles, UMT: unión miotendinosa, Cmax: calzado maximalista, FP: flexión plantar, FD: flexión dorsal. D: drop, BF: barefoot (descalzo), DMO: densidad mineral ósea

DISCUSIÓN

Varios de los artículos han mostrado que al correr con un calzado minimalista, el patrón de apoyo se realiza con el antepié, a diferencia de correr con un calzado convencional, en el que el patrón de aterrizaje se realiza con la región posterior del pie, es decir, con el talón.^{6,8,9,19} En estos estudios, la evaluación se realizaba a través de cámaras de video y sistemas de ejes articulares, por lo que diferían de otros estudios que medían a través de sensores de presiones, en los que se detallaba, que la importancia no radica en el tipo de apoyo, sino en el reparto de cargas a través del pie durante el apoyo, siendo dicha carga más anteriorizada con este tipo de calzado. Existe menos amortiguación y protección en el talón, y los corredores inconscientemente por las posibles incomodidades y/o molestias, adoptan una redistribución del peso hacia delante sin necesidad de un cambio real en el patrón de aterrizaje.^{14,16,17,25,26}

Por lo tanto, aunque no exista consenso sobre el tipo de apoyo que se realiza, se ha demostrado que la carga y tensión que existe en la parte media y anterior del pie es más prevalente y acentuada.¹⁴ Una explicación sería, a causa de variables temporales más cortas durante la carrera con calzado minimalista. Debido a la falta de deformación que la suela ofrece, la transmisión de la carga talón-dedo se realiza con un giro más rápido y el peso incide más en la región anterior del pie.¹⁵

En cambio en un calzado convencional, el apoyo posterior es más marcado, y la deformación que se produce en la suela es mayor, requiriendo así, de más tiempo de carga sobre el talón.¹⁶

En relación a ello, el tobillo tiende a adoptar una posición menos dorsiflexionada, y más invertida en el contacto inicial del pie con el suelo, en comparación con un calzado convencional. Varios artículos demostraban que con un drop y mediasuela menor, la posición del tobillo en el contacto inicial de la planta del pie con el suelo, era más plana.^{12,17,23,26,28} Otro estudio afirma que con esta posición, la mortaja del tobillo se vuelve más inestable y podría aumentar el riesgo de lesión de tejidos blandos.^{6,16}

Al realizar un aterrizaje con el tobillo en ligera flexión, durante el transcurso hasta la siguiente fase en la que recae todo el peso, el tobillo realiza un movimiento hacia la dorsiflexión, donde interactúa la musculatura plantar de manera excéntrica para llevar a cabo la amortiguación.²² Además, se sugiere en otro de los artículos, que a variables temporales más cortas durante la fase de apoyo, biomecánicamente, se requiere de más producción de fuerza para realizar el impulso y despegue.¹⁵ Por tanto, existe una

sobresolicitación musculoesquelética mayor en el calzado minimalista, que podría originar posibles lesiones de tejido blando en corredores poco experimentados.^{15,22}

Otro de los factores importantes en relación al tipo de apoyo relacionado con el calzado mínimo, son las fuerzas de impacto que recaen en mayor medida sobre las articulaciones metatarsianas.¹⁹ Sobretudo de 2º a 4º dedo como demuestra un artículo, donde las tasas de carga son muy elevadas, así como las tensiones musculotendinosas que existen sobre las diáfisis de los huesos metatarsianos, debido al incremento del trabajo negativo de la musculatura plantar-flexora.¹¹ El riesgo de sufrir lesión de fractura por estrés de metatarsos, lesiones de la fascia plantar e incluso edema medular óseo, es potencialmente más elevado.^{7,8,11,14,20,25} Por ello, la contemplación de características del calzado específico como el drop, altura del talón y rigidez de la plantilla; son complementos potencialmente influyentes en la alteración de los ángulos de los metatarsos del pie durante el contacto, que podrían atenuar dichos riesgos lesivos.¹¹

En cambio, al contrario de lo que ocurre en el tobillo, la articulación de la rodilla en el contacto inicial del pie en el suelo, se encuentra más flexionada y parece traducirse en un momento y trabajo muscular menores.^{13,21,22} Cuando se realiza un apoyo posterior propio del calzado convencional, la rodilla se encuentra más extendida y requiere mayor demanda excéntrica de la musculatura extensora durante la fase de amortiguación.⁶

Varios de los artículos han demostrado que, una mayor flexión de rodilla, que en el calzado minimalista parece darse, es una manera de atenuación de la carga en la articulación y de absorción de energía durante la carrera. La reducción del trabajo que se produce en la rodilla es más evidente, siendo un factor positivo en cuanto a prevención de lesiones en dicha articulación.¹²

Un artículo demostraba que si se combina con una reducción en la longitud de zancada que también parece darse en el calzado mínimo, las fuerzas de contacto se reducen aún más y podría reducirse los problemas crónicos asociados a rodilla. Por sí sola, la reducción de la zancada, es una medida de atenuación del impacto y sería apto para reducir el dolor causado por el apoyo en este tipo de calzado.¹⁶

Por otra parte, otro de los aspectos fundamentales que se diferencian entre el uso de un calzado minimalista y uno convencional, es la *carga vertical* ó *fuerzas de reacción vertical con el suelo*, la cual está también íntimamente relacionada con el patrón de apoyo o redistribución de las cargas en el pie. Así, encontramos que en el minimalista, la carga vertical es menor en comparación con el otro tipo de condición de calzado. Uno de los artículos presenta que la mayor carga vertical del calzado convencional, se deba a que el impacto y el peso recae en el talón y las fuerzas se transfieren en dirección craneal a través de huesos y articulaciones, ocasionando posibles lesiones de tejido óseo tales como, periostitis o fracturas por estrés tibial.⁶ Sin embargo, cuando se trata de *rigidez vertical* ó *pico de impacto vertical*, otro artículo afirma que son algo mayores en el calzado minimalista, debido posiblemente a que la amortiguación del calzado es muy pequeña y la oscilación vertical del cuerpo del corredor sea menor. Se cree, por tanto, que el corredor adopta posiciones articulares específicas, así como pequeños cambios en las variables cinemáticas, para poder reducir dichas cargas de impacto.^{6,28} Varios estudios han demostrado que la longitud de zancada es más corta, pero la frecuencia de zancada o la cadencia, son mayores, siendo así, varias maneras de reducir la carga e impacto con el suelo.^{12,22,28}

Otro de los factores relacionados con las cargas presentes durante la carrera es la velocidad, que también debería tomarse en cuenta. A mayor velocidad de carrera, aumentaría las tasas de carga, y se ha demostrado que a cargas mayores durante la carrera, existe mayor probabilidad de sufrir algún tipo de lesión.^{16,23,28}

Por otro lado, la experiencia del corredor es fundamental. En corredores novatos o sin un entrenamiento personalizado previo, el riesgo lesivo es aún más alto;²⁹ uno de los estudios muestran que el índice de deformación que existe del arco longitudinal del pie con un calzado minimalista, es potencialmente mayor cuando se inicia con este tipo de calzado.²⁷ Ante tal deformación inicial, el pie podría actuar con una mayor sollicitación del trabajo de la musculatura intrínseca del pie, contribuyendo simultáneamente a la función de la fascia plantar.¹⁹ Varios de los artículos muestran a través de un seguimiento prospectivo de varias semanas de entrenamiento, que la musculatura intrínseca, se encontraba más hipertrofiada y con tendones más resistentes y rígidos, siendo mucho más fuertes, con la capacidad de poder superar las exigencias que este calzado requería. En comparación, el grupo que usaba un calzado tradicional, el volumen de tendones y músculos se mantenía sin apenas cambios estructurales.^{14,19,27,29} Así como también la musculatura extrínseca del pie, que realiza un gran trabajo negativo para realizar la amortiguación, mostraban una mayor área de sección transversal en el tendón de Aquiles.^{27, 29}

Es por ello, que en corredores novatos y ante la falta de una adaptación progresiva con este tipo de calzado, es posible que la musculatura implicada no sea capaz de soportar las demandas requeridas para hacer frente a las cargas.¹⁹ Puede ser un factor lesivo importante, y aumentar el dolor musculotendinoso.^{14,19} Además de predisponer a realizar un apoyo posterior, lo que no resultaría beneficioso para reducir las cargas de impacto, aumentando la carga vertical y por ende, un mayor riesgo de sufrir lesión.^{6,16}

Sin embargo, en corredores experimentados, este factor podría ser incluso beneficioso. Se ha demostrado un aumento del impulso angular acumulativo en la región del tobillo y sollicitación excéntrica de la musculatura flexor. Podría almacenar energía elástica suficiente como para tener una mayor eficiencia y recuperación del tendón de Aquiles, aumentando por tanto, el rendimiento y economía en carrera.^{8,29} Paralelamente, se ha demostrado en otro de los artículos, que cuando se corre con un calzado minimalista, el centro de gravedad se sitúa en una posición más baja y cerca de la línea media, contribuyendo así, a la economía de la carrera.²²

Otro de los factores directamente relacionados es el volumen de entrenamiento. Existe clara relación entre un aumento de la distancia y dolores musculotendinosos, debido al mayor trabajo muscular adyacente al tobillo. Por tanto, el volumen de entrenamiento debería aumentarse de forma gradual, no más de 1'7km por semana, si se quiere introducir en este tipo de calzado.⁷

Esta revisión no está exenta de limitaciones, la restricción principal es la falta de estudios experimentales puros, debido principalmente por la imposibilidad de ocultar el tipo de calzado asignado a cada corredor. Puede existir un sesgo mayor por subjetividad, y por tanto, la extrapolación a la población general queda más limitada. Es importante también, que en futuros estudios se cuantifique y determine un umbral en cuanto a diferencias biomecánicas en el sistema musculoesquelético, para saber si son clínicamente relevantes y significativas, entre ambas condiciones de calzado. Además de factores externos, como el tipo de terreno o la amplia gama de calzado minimalista en el mercado, que hasta ahora

no se contemplan. Por último, sería conveniente realizar un mayor número de estudios prospectivos para la medición de adaptaciones musculoesqueléticas a largo plazo, así como incidencia de lesiones y localización de las mismas.

CONCLUSIÓN

Parece ser que sin una transición correcta al calzado minimalista, el sistema musculoesquelético del corredor podría no cumplir con las solicitudes requeridas por este tipo de calzado y resultar en un riesgo lesivo para el corredor, sobretodo en las regiones inferiores de los miembros inferiores.

BIBLIOGRAFÍA

1. Davis IS, Rice HM, Wearing SC. Why Forefoot Striking in Minimal Shoes Might Positively Change the Course of Running Injuries. *J Sport Heal Sci* [Internet]. Elsevier B.V.; 2017;6(2):154–61.
2. Roth J, Neumann J, Tao M. Orthopaedic Perspective on Barefoot and Minimalist Running Abstract. 2009;180–7.
3. Warne JP, Gruber AH. Transitioning to Minimal Footwear: a Systematic Review of Methods and Future Clinical Recommendations. *Sport Med - Open. Sports Medicine - Open*; 2017;3(1).
4. Theisen D, Malisoux L, Gette P, Nührenbörger C, Urhausen A. Footwear and Running-Related Injuries – Running on Faith? *Sport Orthop Traumatol Sport - Sport* [Internet]. Luxembourg; 2016 Jun;32(2):169–76.
5. Maher CG, Sherrington C, Herbert RD, Moseley AM, Elkins M. Reliability of the PEDro Scale for Rating Quality of Randomized Controlled Trials. *Phys Ther* [Internet]. 2003;83(8):713–21. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12882612>
6. Warne JP, Smyth BP, Fagan JO, Hone ME, Richter C, Nevill AM, et al. Kinetic Changes During a Six-Week Minimal Footwear and Gait-Retraining Intervention in Runners. *J Sports Sci* [Internet]. 2017 Aug 3;35(15):1538–46. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02640414.2016.1224916>
7. Fuller JT, Thewlis D, Buckley JD, Brown NAT, Hamill J, Tsiros MD. Body Mass and Weekly Training Distance Influence the Pain and Injuries Experienced by Runners Using Minimalist Shoes: A Randomized Controlled Trial. *Am J Sports Med*. 2017;45(5):1162–70.
8. Fuller JT, Thewlis D, Tsiros MD, Brown NAT, Buckley JD. The Long-Term Effect of Minimalist Shoes on Running Performance and Injury: Design of a Randomised Controlled Trial. *BMJ Open*. 2015;5(8):1–9.
9. Firminger CR, Edwards WB. The Influence of Minimalist Footwear and Stride Length Reduction on Lower-Extremity Running Mechanics and Cumulative Loading. *J Sci Med Sport* [Internet]. 2016;19(12):975–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsams.2016.03.003>
10. Sinclair JK. Minimalist Footwear Does not Affect Tibiofemoral Stress Loading During the Stance Phase in Rearfoot Strikers who Use Conventional Footwear. *Comp Exerc Physiol* [Internet]. 2016 Jun 24;12(2):99–103. Available from: <https://www.wageningenacademic.com/doi/10.3920/CEP160007>

11. Firminger CR, Fung A, Loundagin LL, Edwards WB. Effects of Footwear and Stride Length on Metatarsal Strains and Failure in Running. *Clin Biomech* [Internet]. 2017 Nov 17;49(1):8–15. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1111/ijlh.12426>
12. Squadrone R, Rodano R, Hamill J, Preatoni E. Acute Effect of Different Minimalist Shoes on Foot Strike Pattern and Kinematics in Rearfoot Strikers During Running. *J Sports Sci*. 2015;33(11):1196–204.
13. Chambon N, Delattre N, Guéguen N, Berton E, Rao G. Shoe Drop has Opposite Influence on Running Pattern when Running Overground or on a Treadmill. *Eur J Appl Physiol*. 2015;115(5):911–8.
14. Fuller JT, Thewlis D, Tsiros MD, Brown NAT, Hamill J, Buckley JD. Longer-Term Effects of Minimalist Shoes on Running Performance, Strength and Bone Density: A 20-week Follow-Up Study *. *Eur J Sport Sci* [Internet]. 2019;19(3):402–12. Available from: <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1505958>
15. Jandová S, Volf P, Vaverka F. The Influence of Minimalist and Conventional Sports Shoes and Lower Limbs Dominance on Running Gait. *Acta Bioeng Biomech*. 2018;20(3):3–9.
16. Fredericks W, Swank S, Teisber M, Hampton B, Ridpath L, Hanna J. Lower Extremity Biomechanical Relationships with Different Speeds in Tradit...: EBSCOhost. *J Sci Med Sport* [Internet]. 2015;14(June):276–83. Available from: <http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=529d20ae-9fcc-4146-ad7b-e59fb2ad9d4b%40sessionmgr4004&vid=12&hid=4212>
17. Peltz CD, Haladik JA, Hoffman SE, McDonald M, Ramo NL, Divine G, et al. Effects of Footwear on Three-Dimensional Tibiotalar and Subtalar Joint Motion During Running. *J Biomech* [Internet]. 2014;47(11):2647–53. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbiomech.2014.05.016>
18. Nigg BM, Vienneau J, Smith AC, Trudeau MB, Mohr M, Nigg SR. The Preferred Movement Path Paradigm: Influence of Running Shoes on Joint Movement. *Med Sci Sports Exerc*. 2017;49(8):1641–8.
19. Chen TLW, Sze LKY, Davis IS, Cheung RTH. Effects of Training in Minimalist Shoes on The Intrinsic and Extrinsic Foot Muscle Volume. *Clin Biomech* [Internet]. 2016;36:8–13. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2016.05.010>
20. 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):1257–62.

21. Sinclair J, Atkins S, Taylor PJ. The Effects of Barefoot and Shod Running on Limb and Joint Stiffness Characteristics in Recreational Runners. *J Mot Behav*. 2016;48(1):79–85.
22. Fuller JT, Buckley JD, Tsiros MD, Brown NAT, Thewlis D. Redistribution of Mechanical Work at the Knee and Ankle Joints During Fast Running in Minimalist Shoes. *J Athl Train* [Internet]. 2016 Oct;51(10):806–12. Available from: <http://natajournals.org/doi/10.4085/1062-6050-51.12.05>
23. Agresta C, Kessler S, Southern E, Goulet GC, Zernicke R, Zender JD. Immediate and Short-Term Adaptations to Maximalist and Minimalist Running Shoes. *Footwear Sci* [Internet]. 2018;10(2):95–107. Available from: <https://doi.org/10.1080/19424280.2018.1460624>
24. Dubois B, Esculier JF, Frémont P, Moore L, Richards C. Effects of Minimalist and Traditional Running Shoes on Injury Rates: A Pilot Randomised Controlled Trial. *Footwear Sci*. 2015;7(3):159–64.
25. Bergstra SA, Kluitenberg B, Dekker R, Bredeweg SW, Postema K, Van den Heuvel ER, et al. Running With a Minimalist Shoe Increases Plantar Pressure in the Forefoot Region of Healthy Female Runners. *J Sci Med Sport* [Internet]. 2015;18(4):463–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsams.2014.06.007>
26. Sinclair J. The influence of Minimalist, Maximalist and Conventional Footwear on Impact Shock Attenuation During Running. *Mov Sport Sci - Sci Mot*. 2016;(95):59–64.
27. Zhang X, Delabastita T, Lissens J, De Beenhouwer F, Vanwanseele B. The Morphology of Foot Soft Tissues is Associated with Running Shoe Type in Healthy Recreational Runners. *J Sci Med Sport* [Internet]. 2018 Jul;21(7):686–90. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.11.008>
28. Law MHC, Choi EMF, Law SHY, Chan SSC, Wong SMS, Ching ECK, et al. Effects of Footwear Midsole Thickness on Running Biomechanics. *J Sports Sci* [Internet]. 2018;00(00):1–7. Available from: <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1538066>
29. Histén K, Arntsen J, L'Hereux L, Heeren J, Wicki B, Saint S, et al. Achilles Tendon Properties of Minimalist and Traditionally Shod Runners. *J Sport Rehabil* [Internet]. 2017 Mar;26(2):159–64. Available from: <http://journals.humankinetics.com/doi/10.1123/jsr.2016-0006>

ANEXOS

Escala PEDro-Español

1. Los criterios de elección fueron especificados	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/>	donde:
2. Los sujetos fueron asignados al azar a los grupos (en un estudio cruzado, los sujetos fueron distribuidos aleatoriamente a medida que recibían los tratamientos)	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/>	donde:
3. La asignación fue oculta	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/>	donde:
4. Los grupos fueron similares al inicio en relación a los indicadores de pronóstico más importantes	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/>	donde:
5. Todos los sujetos fueron cegados	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/>	donde:
6. Todos los terapeutas que administraron la terapia fueron cegados	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/>	donde:
7. Todos los evaluadores que midieron al menos un resultado clave fueron cegados	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/>	donde:
8. Las medidas de al menos uno de los resultados clave fueron obtenidas de más del 85% de los sujetos inicialmente asignados a los grupos	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/>	donde:
9. Se presentaron resultados de todos los sujetos que recibieron tratamiento o fueron asignados al grupo control, o cuando esto no pudo ser, los datos para al menos un resultado clave fueron analizados por “intención de tratar”	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/>	donde:
10. Los resultados de comparaciones estadísticas entre grupos fueron informados para al menos un resultado clave	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/>	donde:
11. El estudio proporciona medidas puntuales y de variabilidad para al menos un resultado clave	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/>	donde:

La escala PEDro está basada en la lista Delphi desarrollada por Verhagen y colaboradores en el Departamento de Epidemiología, Universidad de Maastricht (*Verhagen AP et al (1998). The Delphi list: a criteria list for quality assessment of randomised clinical trials for conducting systematic reviews developed by Delphi consensus. Journal of Clinical Epidemiology, 51(12):1235-41*). En su mayor parte, la lista está basada en el consenso de expertos y no en datos empíricos. Dos ítems que no formaban parte de la lista Delphi han sido incluidos en la escala PEDro (ítems 8 y 10). Conforme se obtengan más datos empíricos, será posible “ponderar” los ítems de la escala, de modo que la puntuación en la escala PEDro refleje la importancia de cada ítem individual en la escala.

El propósito de la escala PEDro es ayudar a los usuarios de la bases de datos PEDro a identificar con rapidez cuales de los ensayos clínicos aleatorios (ej. RCTs o CCTs) pueden tener suficiente validez interna (criterios 2-9) y suficiente información estadística para hacer que sus resultados sean interpretables (criterios 10-11). Un criterio adicional (criterio 1) que se relaciona con la validez externa (“generalizabilidad” o “aplicabilidad” del ensayo) ha sido retenido de forma que la lista Delphi esté completa, pero este criterio no se utilizará para el cálculo de la puntuación de la escala PEDro reportada en el sitio web de PEDro.

La escala PEDro no debería utilizarse como una medida de la “validez” de las conclusiones de un estudio. En especial, avisamos a los usuarios de la escala PEDro que los estudios que muestran efectos de tratamiento significativos y que puntúan alto en la escala PEDro, no necesariamente proporcionan evidencia de que el tratamiento es clínicamente útil. Otras consideraciones adicionales deben hacerse para decidir si el efecto del tratamiento fue lo suficientemente elevado como para ser considerado clínicamente relevante, si sus efectos positivos superan a los negativos y si el tratamiento es costo-efectivo. La escala no debería utilizarse para comparar la “calidad” de ensayos realizados en las diferentes áreas de la terapia, básicamente porque no es posible cumplir con todos los ítems de la escala en algunas áreas de la práctica de la fisioterapia.

Última modificación el 21 de junio de 1999. Traducción al español el 30 de diciembre de 2012

