

Àngels Bernabeu Mira, Martí Bahí Gifra

**EL CALÇAT MINIMALISTA I EL PATRÓ DE TREPITJADA.
UNA REVISIÓ SISTEMÀTICA.**

TREBALL DE FI DE GRAU

Dirigit per la Sra. Iris Miralles Rull

Grau de Fisioteràpia



UNIVERSITAT ROVIRA i VIRGILI

Reus

2025



UNIVERSITAT
ROVIRA I VIRGILI

FACULTAT DE MEDICINA I CIÈNCIES DE LA SALUT

Vistiplau pel lliurament i defensa del Treball de Fi de Grau de Fisioteràpia

En/na.....en la
seva tasca com a tutor, considera que

EL TREBALL PRÀCTIC ANOMENAT:

REALITZAT PER:

.....
.....
.....
.....

ÉS ADEQUAT I, EN CONSEQÜÈNCIA, EN RECOMANA LA DEFENSA

Signatura tutor/ data

Maria Iris
Miralles Rull -
DNI 39886089H
(TCAT)

Firmado digitalmente
por Maria Iris Miralles
Rull - DNI 39886089H
(TCAT)
Fecha: 2025.05.09
08:56:36 +02'00'

AGRAÏMENTS

Arribats al final d'aquesta etapa universitària, volem expressar el nostre agraïment a totes aquelles persones que, d'una manera o altra, han estat part d'aquest camí.

En primer lloc, agraïm profundament a la nostra tutora; Iris Miralles Rull, per la seva dedicació, orientació i suport al llarg de tot aquest treball. La seva mirada crítica i el seu acompanyament constant han estat clau per al desenvolupament d'aquest treball. Reconèixer també la tasca del professorat del Grau en Fisioteràpia per les eines, coneixements i valors humans transmesos que ens acompanyaran durant la nostra pràctica professional.

Un agraïment molt especial a les nostres famílies, pel seu suport incondicional, la paciència i la confiança dipositada en nosaltres durant tot aquest recorregut. Sense ells això no hauria estat possible.

A tots els amics, amb qui hem compartit moments que guardarem sempre amb estima. Ens quedem amb la sensació que, passi el que passi després, això que hem viscut junts no ens ho treu ningú.

I, com no podia ser d'una altra manera, agrair-nos als dos mútuament la feina feta. Per saber *tirar del carro* quan l'altre anava just. Per haver compartit aquests quatre anys plegats.

LLISTAT D'ABREVIATURES

GR: Grup de reeducació de la trepitjada + calçat minimalista.

MIN: Grup només calçat minimalista.

GRF: Força de reacció contra el terra.

EEII: Extremitats inferiors.

Índex MI: Índex de calçat minimalista.

RFS: Rear foot strike.

FFS: Fore foot strike.

FFS 2: Grup de reentrenament al fore foot strike.

CAD: Grup de reentrenament de la cadència.

AT: Tendó d'Aquil·les.

MWM: Mobilització amb moviment.

PPT: Llindar de dolor per pressió.

NRFS: Non-rearfoot striker.

ACC: Acceleració cycle-to-cycle.

SoV: Suma de variància.

SSD: Shape Difference (diferència de forma).

VO₂max: Consum màxim d'oxigen.

VT₂: Segon llindar ventilatori.

RPE: Percepció de l'esforç.

IC: Contacte inicial.

ROM: Rang de moviment.

FSA: Angle de trepitjada.

RE: Running economy (economia de carrera).

VILR: Forces d'impacte verticals.

VALR: Taxa d'impacte vertical.

VIP: Taxa de càrrega d'impacte.

RESUM

Introducció. El calçat minimalista busca imitar el moviment natural del peu, amb característiques com flexibilitat, pes lleuger i sola fina. S'ha desenvolupat l'Índex Minimalista per classificar el calçat segons aquests criteris. La transició a aquest tipus de calçat ha de ser progressiva per evitar lesions. El patró de trepitjada influeix en la biomecànica de la cursa i es divideix en tres tipus: taló, mig i avantpeu. El calçat pot influir en aquests patrons i el minimalista afavoreix trepitjades amb menys impacte que les sabates convencionals.

Objectiu. Analitzar l'evidència científica recent sobre la influència del calçat minimalista en el patró de trepitjada, per oferir informació rellevant a les persones interessades en fer una transició segura cap a aquest tipus de calçat.

Material i mètodes. S'ha realitzat una revisió sistemàtica seguint la guia PRISMA i l'estratègia PICOS, centrada en estudis dels darrers cinc anys. S'han buscat assajos clínics en bases de dades com PubMed, PEDro, Cochrane i Scopus. S'han aplicat criteris d'inclusió rigorosos i s'han seleccionat 9 estudis, analitzats segons la seva qualitat metodològica i dades sobre el patró de trepitjada.

Resultats. Diversos estudis mostren que el canvi cap a un patró de trepitjada forefoot, especialment amb instrucció i ús de calçat minimalista, redueix les forces d'impacte i millora l'eficiència biomecànica. Aquesta adaptació, si és progressiva, pot afavorir el rendiment i reduir lesions.

Discussió. Els estudis analitzats presenten una qualitat metodològica variable, mostren un seguiment a curt termini i expliquen escassa informació sobre l'adaptació al calçat. El calçat minimalista afavoreix el patró de trepitjada forefoot, que redueix la taxa de càrrega i disminueix lesions si la transició és progressiva, tècnica i ben assessorada.

Paraules clau: Marxa, Sabates, Estrés mecànic, Avantpeu Humà, Ferides i Lesions.

ABSTRACT

Introduction. Minimalist footwear seeks to imitate the natural movement of the foot, with characteristics such as flexibility, light weight and thin sole. The Minimalist Index has been developed to classify footwear according to these criteria. The transition to this type of footwear must be progressive to avoid injury. The tread pattern influences the biomechanics of the run and is divided into three types: heel, mid and forefoot. The shoe can influence these patterns, and the minimalist shoe favors running with less impact than conventional shoes.

Objective. To analyze recent scientific evidence on the influence of minimalist footwear on trepidation patterns, in order to provide relevant information to people interested in making a safe transition to this type of footwear.

Material and methods. A systematic review has been carried out following the PRISMA guide and the PICOS strategy, focused on studies of the last five years. We searched for clinical trials in databases such as PubMed, PEDro, Cochrane and Scopus. Rigorous inclusion criteria were applied and 9 studies were selected, analyzed according to their methodological quality and data on the trepidation pattern.

Results. Several studies show that the change to a forefoot running pattern, especially with instruction and use of minimalist footwear, reduces impact forces and improves biomechanical efficiency. This adaptation, if progressive, can improve performance and reduce injuries.

Discussion. The studies analyzed present a variable methodological quality, show a short-term follow-up and provide little information on shoe adaptation. Minimalist footwear favors the forefoot tread pattern, which reduces the rate of turnover and decreases injuries if the transition is progressive, technical and well-advised.

Keywords. Gait, Shoes, Stress Mechanical, Forefoot Human, Wounds and Injuries.

1. INTRODUCCIÓ

Les sabates minimalistes estan dissenyades per interferir mínimament en el moviment natural del peu, promovent una experiència similar a córrer descalç però proporcionant una protecció bàsica. Segons una definició consensuada, les sabates minimalistes es caracteritzen per alta flexibilitat, pes reduït, mínima diferència d'alçada entre el taló i l'avantpeu (heel-to-toe drop), una sola fina (stack height) i l'absència de dispositius de control del moviment i estabilitat¹.

Per avaluar objectivament el grau de minimalisme en el calçat, els investigadors han desenvolupat l'Índex Minimalista (Minimalist Index, MI), que mesura cinc característiques clau^{1,2}:

1. Pes – Les sabates més lleugeres redueixen el cost energètic de la cursa.
2. Flexibilitat – Les soles altament flexibles permeten moviments més naturals del peu.
3. Diferència d'alçada entre taló i avantpeu (Heel-to-Toe Drop) – Una diferència mínima d'alçada afavoreix un patró de suport amb l'avantpeu o la zona mitjana del peu.
4. Sola fina (Stack Height) – Com més a prop del terra es trobi el peu, millor serà la propiocepció i la resposta sensorial.
5. Absència de tecnologies de control del moviment o estabilitat – Això permet que els músculs intrínsecs del peu funcionin sense suport extern.

Cada un d'aquests components contribueix de manera igual a la puntuació MI, proporcionant un mètode estandarditzat per classificar el calçat segons les seves propietats minimalistes¹.

És important destacar que la transició cap a un calçat minimalista s'ha de fer de manera progressiva. Es recomana un període d'adaptació adaptat a la persona i a l'ús que aquesta li dona al calçat minimalista per permetre que el sistema musculoesquelètic s'ajusti, reduint així el risc de lesions associades a canvis bruscos en el calçat².

El patró de contacte del peu fa referència al procés biomecànic mitjançant el qual el peu entra en contacte amb el terra durant el cicle de gambada en la cursa. Aquest factor juga un paper fonamental en la distribució de càrregues, l'absorció d'energia i l'eficiència de la propulsió. S'han identificat tres patrons principals de contacte: taló (rearfoot strike – RFS), mitja planta (midfoot strike – MFS) i avantpeu (forefoot strike – FFS), cadascun amb implicacions específiques sobre els paràmetres cinètics i cinemàtics³.

L'estudi dels diferents patrons de contacte ha posat en evidència que: 1) la manera com el peu impacta el terra influeix en la transmissió de forces i en la biomecànica global de la cursa; 2) cada patró de contacte presenta avantatges i inconvenients pel que fa a l'eficiència, la fatiga muscular i el risc de lesions; 3) les característiques del calçat poden modificar la resposta biomecànica i condicionar la tendència cap a un patró de contacte determinat.

En particular, el contacte amb la mitja planta (MFS) distribueix millor les forces i redueix els pics d'impacte, sent més freqüent entre corredors d'elit. El contacte amb el taló (RFS) es caracteritza per un impacte inicial amb el calcani, fet que genera un pic transitori d'impacte i una força de frenada més elevada. Aquest patró és el més comú entre corredors de fons i corredors recreatius. A més a més està associat a una major càrrega en els genolls i malucs⁴. Finalment, el contacte amb l'avantpeu (FFS) potencia l'ús de l'energia elàstica del tendó d'Aquil·les, però incrementa l'exigència sobre la musculatura del panxell i el risc de tendinopatia aquil·lea^{5,6}.

Els patrons de contacte del peu també estan influenciats per l'ús de calçat específic. Les sabates de *running* convencionals, amb taló elevat i amortiment pronunciat, afavoreixen el contacte amb el taló. En canvi, el calçat minimalista, amb una estructura més flexible i sense *drop* (diferència d'alçada entre taló i avantpeu), facilita un patró de contacte amb la mitja planta o avantpeu. Aquest aspecte és rellevant, ja que les sabates minimalistes es promocionen sovint com una alternativa més natural i menys lesiva per a la cursa⁷.

En els darrers anys, l'interès per la biomecànica de la cursa ha augmentat considerablement, en gran part a causa de l'augment de la pràctica del *running* i de les xarxes socials, on cada cop es generen més debats sobre quin és el millor patró de trepitjada i quin tipus de calçat pot ser més saludable. A més, el mercat del calçat esportiu ha experimentat una evolució significativa, amb marques que promouen tant el calçat maximalista, amb tecnologies avançades d'amortiment, com el calçat minimalista, basat en la idea d'imitar la cursa descalça. Tot i això, la comunitat científica encara no ha arribat a un consens definitiu sobre quin enfocament és més beneficiós per al rendiment i la prevenció de lesions.

2. OBJECTIUS

L'objectiu principal d'aquesta revisió sistemàtica és la recopilació i l'anàlisi de l'evidència científica recent sobre com l'ús de calçat minimalista influeix en el patró de trepitjada, amb la finalitat de proporcionar informació actualitzada i útil pels usuaris que vulguin fer la transició cap a sabates minimalistes.

Els objectius específics són els següents:

- Analitzar la modificació del patró de trepitjada amb l'ús del calçat minimalista.
- Examinar si l'ús de calçat minimalista redueix la taxa de càrrega vertical.
- Explorar l'associació entre l'us del calçat minimalista i el risc de lesions.
- Identificar els factors que afecten a l'adaptació o transició cap al calçat minimalista.

3. MATERIAL I MÈTODES

Per realitzar la present revisió amb uns criteris de qualitat acceptables, s'han seguit les indicacions de la guia PRISMA⁸ (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). A més a més, per establir els criteris de traçabilitat i/o centrar els objectius d'aquesta revisió s'ha utilitzat la estratègia PICOS (Pacients, Intervenció, Comparació, Resultats i Estudi) (Taula 1). També s'ha utilitzat el Manual de Cochrane per l'anàlisi del sesgo dels estudis⁹.

Aquest treball no es troba registrat perquè forma part del treball de fi de grau de Fisioteràpia de la Universitat Rovira i Virgili dins del curs acadèmic 2024-2025. S'ha comprovat que no existeixi altra revisió igual a la que es pretén desenvolupar en aquest treball a la base de dades PROSPERO (International prospective registre of systematic reviews) amb la cerca "Minimalist shoes"

3.1. Criteris de tria

Els estudis utilitzats per a realitzar aquesta revisió han set escollits establint criteris d'inclusió i exclusió segons l'acrònim PICOS:

Taula 1. Criteris d'inclusió i exclusió segons l'acrònim PICOS.

PICOS	CRITERIS D'INCLUSIÓ	CRITERIS D'EXCLUSIÓ
P: Problema o pacient	Pacients adults majors de 18 anys. Esportistes. Grup de pacients. Humans. Pacients sense cap lesió recent o patologia prèvia que pugui alterar els resultats.	Pacients menors de 18 anys. Un únic pacient. Assajos realitzats amb animals. Pacients amb patologies o lesions recents que puguin alterar resultats.
I: Intervencions	Intervencions on s'avaluen el calçat comú i/o calçat minimalista.	Intervencions on no s'avaluen el calçat comú o calçat minimalista.
C: Comparació	Absència de grup control.	Altres tipus de calçat.
O: Resultats	Paràmetres quantitius o qualitius que comparen efectivitat del calçat minimalista i valoren almenys una de les següents variables: patró de trepitjada, forces d'impacte, <i>running economy</i> .	Paràmetres que no comparen l'efectivitat del calçat minimalista i no valoren cap de les següents variables: patró de trepitjada, forces d'impacte, <i>running economy</i> .
S: Tipus d'estudi	Assajos clínics o assajos controlats aleatoritzats. Antiguitat dels estudis no superior a 5 anys (2020-2025). Estudis indexats.	Estudis que no siguin assajos clínics o assajos controlats aleatoritzats, antiguitat dels estudis superior a 5 anys, estudis no indexats amb falta de rigor científic.

S'exclouen els assajos publicats en idiomes que no siguin català, castellà o anglès.

3.2. Estratègia de cerca

La cerca bibliogràfica per a la elaboració d'aquesta revisió es va realitzar diverses bases de dades: Pubmed (Medline), PEDro, Cochrane Library i Scopus. Durant el període del desembre de 2024 a febrer de 2025.

Les paraules clau que s'han utilitzat en cada buscador son:

- Pubmed: Minimalist shoes, traditional running shoes, biomechanical phenomena, biomechanics, barefoot shoes, footstrike pattern.
- PEDro: Minimalist Shoes.
- Cochrane Library: Minimalist Shoes.

L'avaluació de la tria dels estudis i l'extracció de dades ha sigut realitzada per dos persones de manera independent, tal i com s'aconsella al Manual Cochrane⁹ de Revisions Sistemàtiques

d'Intervencions. Els desacords que han aparegut durant el procés s'han resolt mitjançant discussions entre ambdós integrants del grup.

3.3. Procés de selecció dels estudis

La selecció dels estudis utilitzats a la revisió s'ha realitzat seguint les fases de la Guia PRISMA⁸: identificació, cribatge, tria e inclusió dels estudis en la revisió sistemàtica.

En primer lloc, es va realitzar la cerca en les bases de dades PubMed (Medline), PEDro, Scopus, Cochrane Library. Afegint els filtres: "humans", "clinical trials" i "5 years". A continuació, es va procedir a: 1) una primera selecció/ eliminació en funció del títol; 2) si el títol estava relacionat amb el tema d'interès es procedia amb la lectura del resum; 3) dels triats després de la lectura del resum es seleccionaven els que, en principi, complien criteris d'inclusió; 4) després s'identifiquen els articles duplicats; 5) es realitza la lectura completa dels estudis per comprovar el compliment dels criteris d'inclusió i, finalment, 6) s'inclouen a la revisió i es procedia a l'extracció de dades.

D'aquesta manera, es van eliminar aquells estudis que no complien els criteris desitjats, mencionats anteriorment, i es van aconseguir un total de 9 assajos clínics per la realització de la present revisió.

3.4. Anàlisi de dades

Un cop seleccionats els estudis, els investigadors d'aquest treball varen procedir a fer els anàlisis corresponents: la qualitat metodològica dels estudis mitjançant la normativa del Manual Cochrane⁹ i sobre les dades dels estudis seguint els paràmetres PICOS. L'informació que s'analitza de cada article és principalment les característiques de la mostra i com a variable principal el patró de trepitjada en les sabates minimalistes.

4. RESULTATS

4.1. Resultats de la cerca

La cerca es va realitzar en les bases de dades Pubmed (Medline), Cochrane Library, PEDro i EBSCO. Finalment es van obtenir (Pubmed=2453, PedRo=12, Cochrane Library=75) articles, que van ser 91 després de posar els filtres mencionats anteriorment. Llavors, es varen descartar 45 assajos per la lectura del títol i resum i 16 per ser duplicats. Per tant, es va fer la lectura complerta de 30 articles, dels quals únicament 9 complien els criteris d'inclusió tal i com es veu en la figura 1.

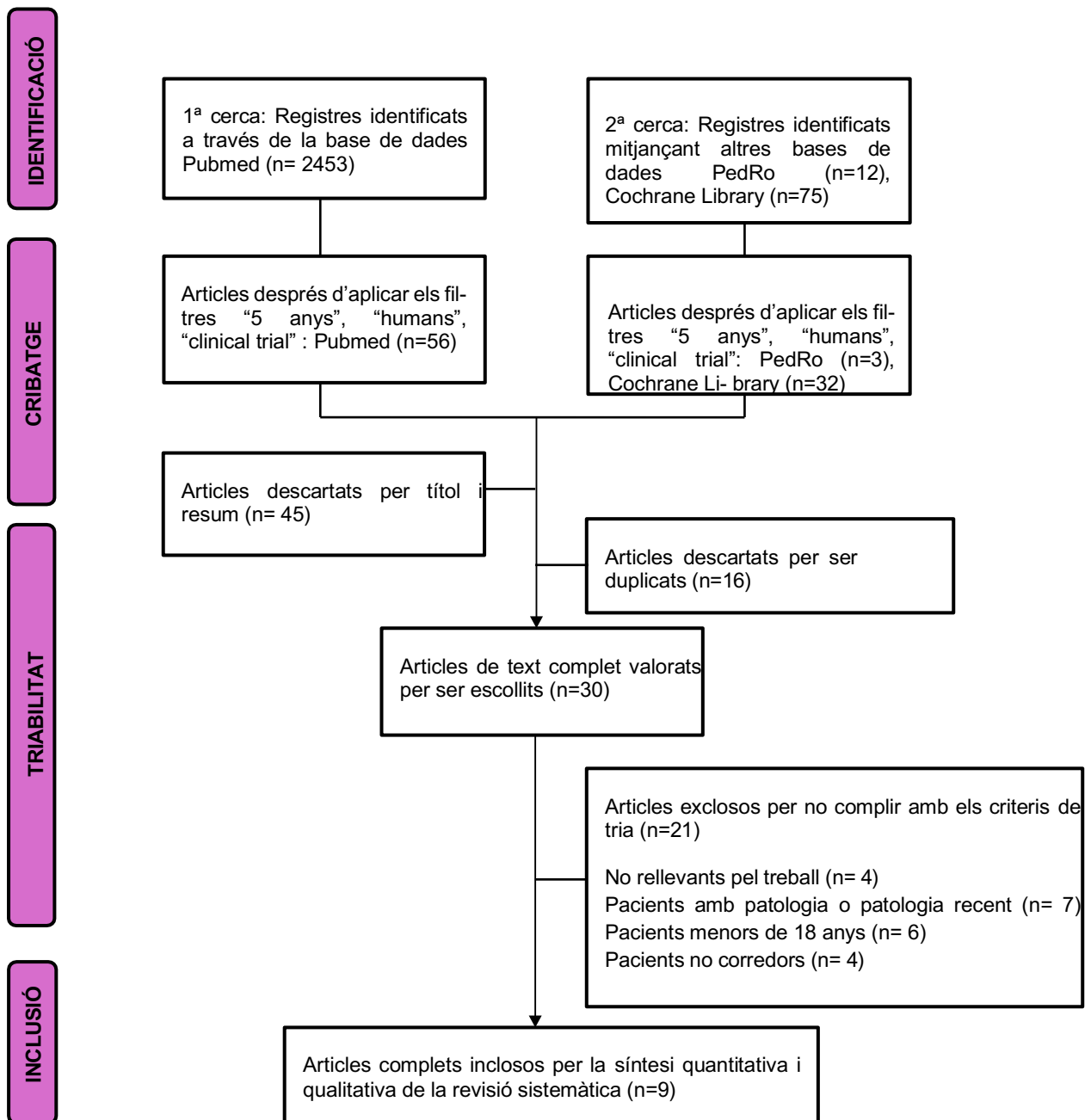


Figura 1. Diagrama de flux.

4.2. Característiques dels estudis

Per a la realització d'aquesta revisió es van analitzar 9 estudis amb un total de 281 participants. A continuació, en la taula 2, es mostren de forma detallada i de manera específica les característiques de cada estudi: els participants, les intervencions que es van aplicar, les mesures que es van realitzar i les conclusions que es van treure.

Taula 2. Característiques dels estudis

Autor, Any	Participants	Intervencions	Mesures	Conclusions
Yang Yang, Xini Zhang, Zhen Luo, Xi Wang, Dongqiang Ye i Weijie Fu 2020 ¹⁰	30 corredors recreatius (30 ± 6,4 anys; 175 ± 5,2 cm; 71,9 ± 9,4 kg; 27,4 ± 8,7 km/setmana. Criteris d'inclusió: córrer ≥3 dies/setmana, ≥20 km/setmana durant ≥3 mesos, ús de RFS (rear-foot strike) amb sabates amortides i sense experiència amb córrer descalç. Absència de patologia músculesqueletica en els últims 6 mesos.	Divisió en 2 grups. GR (Reeducació de la marxa + calçat minimalista) MIN (només calçat minimalista). GR: obtenien un feedback auditiu quan realitzaven el primer contacte amb el taló i realitzaven una sessió de tècnica grupal a la setmana. MIN: no rebien cap feedback, simplement córrer amb el calçat minimalista. El procés va durar 12 setmanes (3 sessions/setmana) i els entrenaments anaven augmentant de durada, començant a 5 min i acabant a 48 min per sessió.	Les dades cinemàtiques i la GRF es van analitzar utilitzant el software Visual 3D. La GRF es va filtrar amb una freqüència de tall de 100 Hz. Les variables cinemàtiques incloses en l'anàlisi van ser temps de contacte amb el terra, angle de trepitjada, angle del maluc genoll i turmell, velocitats angulars dels lligaments, i les velocitats màximes d'aquests.	El programa va aconseguir convertir un 78% dels corredors de RFS a FFS. Es va demostrar que el programa combinat amb l'entrenament amb calçat minimalista reduïa el risc de lesions causades per forces d'impacte i que millorava la running economy. No obstant això també conclou que l'entrenament exclusiu amb calçat minimalista pot tenir efectes limitats en la reducció de les forces d'impacte.
Alessandro Garofolini, Karen J. Mickle, Patrick McLaughlin i Simon B. Taylor 2024 ¹¹	20 corredors de llarga distància (edat: 31.2 ± 6.9 anys, alçada: 1.77 ± 0.07 m, pes: 73.4 ± 7.9 kg). Els participants eren exclosos si no havien corre-gut durant els últims 5 anys un mínim de 40km/setmana, també eren exclosos si havien patit patologies de tipus neurològic, cardiovascular o músculesqueletic en els últims 6 mesos. Es van dividir en FFS i RFS analitzant el moment de l'articulació del turmell des del contacte del peu fins al moment en què es segueix 1 pes corporal en la component vertical de la força de reacció del terra.	Després de un escalfament estandarditzat de 7 minuts els participants corrien 5 minuts en els 3 tipus de calçats diferents, classificats segons el seu índex MI. MI baix (Mizuno® Wave Rider 21, MI = 18%), MI mitjà (Mizuno® Wave Sonic, MI = 56%), MI alt (Vibram® Five fingers, MI = 96%). Els participants disposaven d'un descans de 3 minuts entre test. Els test es van fer a una velocitat de 11km/h.	Les cinemàtiques de les EEII es van analitzar a través de un sistema de 14 càmeres VICON.	Estabilització similar en ambdós grups: Tant els RFS com els FFS) mostren una estabilització similar de la longitud i orientació de la cama durant l'aterratge, amb poques diferències en la seva capacitat d'estabilització. El tipus de calçat afecta l'estabilització. Les sabates minimalistes (amb alt Minimalist Index) afavoreixen una estabilització més ràpida, mentre que les sabates més estructurades poden augmentar la dependència del suport extern. El calçat més estructurat pot ajudar a estabilitzar millor la cama, suggerint que els corredors podrien dependre d'aquest suport per mantenir l'estabilitat durant l'aterratge.
Shiwei Mo, Zoe Y S Chan, Kenneth K Y Lai, Peter Pak-Kwan Chan, Rachel Xiao-Yu Wei,	Es van reclutar 18 corredors de trail regulars i sans d'entre 20 i 55 anys amb un mínim de 10km/setmana en l'últim any i no haver utilitzat els models de sabates de prova (Newton	Tots els corredors van realitzar una prova de camp amb sabates MIN i MAX. La prova constava de tres sessions (terreny pla, pujada i baixada)	Un acceleròmetre tri-axial estava lligat a la seva cama dominant, tenien plantilles amb sensors de pressió que afectaven mínimament a les	Es va observar que aquests corredors canviaven a una trepitjada de mig peu en pujades, però mantenien la trepitjada de taló en terreny pla i baixades. El tipus de calçat no va influir

Patrick Shu-Hang Yung, Gary Shum, Roy Tsz-Hei Cheung., 2021 ¹²	Running Lab™ MV2 i Hoka One One™ Clifton 3). Es van excloure els participants amb lesions musculoesquelètiques en els darrers sis mesos o malalties que afectessin la marxa.	i es va dur a terme al camí natural Eagle's Nest (Kowloon, Hong Kong). La cursa en terreny pla es va fer en un tram de 75 m, mentre que les pujades i baixades es van realitzar en un tram de 50 m amb un pendent irregular entre 8° i 26° (mitjana de 15°) i un desnivell de 10 m. Tenien 30 min de descans entre sessions.	característiques del calçat. Es va analitzar l'strike index aplicant els següents patrons (0–33% indicades rearfoot strike pattern, 34–67% midfoot strike pattern, and 68–100% forefoot strike pattern).	significativament en la càrrega d'impacte ni en el patró de trepitjada, independentment del pendent. Això suggereix que les sabates minimalistes i maximalistes tenen un impacte limitat en la biomecànica dels corredors de trail en terrenys naturals irregulars.
Andrew D Nordin, Janet S Dufek., 2020 ¹³	20 corredors amateurs sense patologia a extremitats inferiors ((9 M, 11 F, edat: 25.3 ± 3.6 anys, pes: 73.2 ± 13.7 kg, alçada: 1.68 ± 0.09 m)	Els participants van ser analitzats en 14 proves de carrera sobre terra cadascuna de les 6 condicions experimentals, incloent 3 cops de peu (avantpeu, mig peu, cop de darrere; FFS, MFS, RFS, respectivament) i 2 condicions del calçat (amortiment neutre: New Balance® 680V2, i minimalista: New Balance® Minimus Hi-Rez).	Les dades cinètiques es van recollir durant la fase de suport de la cama dreta utilitzant una plataforma de força (Kister Type 9281CA; 2000 Hz; X: medial-lateral, Y: anterior-posterior, Z: vertical; GRFz > 20 N), amb dades cinemàtiques sincronitzades recollides mitjançant un sistema de captura de moviment de 10 càmeres i el model de cos inferior Plugin Gait (Vicon MX-T40 S i Nexus v1.7.1; 200 Hz) i un vídeo de referència sagital del peu en el moment de contacte amb el terra (Basler piA640-210gc; 50 Hz). Els patrons de toc del peu es van corroborar mitjançant el punt de contacte del peu amb el terra a partir dels vídeos sagitals.	L'anàlisi va mostrar que el calçat i el patró de petjada afecten la distribució de la càrrega. La cursa amb el taló en calçat amortit redueix l'impacte vertical, mentre que l'avantpeu en calçat minimalista disminueix l'impacte en altres eixos. La cursa amb el migpeu presenta càrregues intermèdies. La selecció del calçat ha de correspondre al patró de petjada. Canvis en calçat o petjada poden augmentar el risc de lesió.
Erin E. Futrella,b, K. Douglas Grossc, Darcy Reisman, David R. Mullineaux, Irene S. Davisb,f., 2020 ¹⁴	39 corredors recreatius que corrien 8-24,1 km/setmana sense cap patologia que afectes la carrera en els últims 90 dies, afegint que els corredors que tenien antecedents de fractures per estres també quedaven exclosos. Els	Els participants van fer exercicis independents durant 28 dies i van ser monitoritzats al cap de 7 dies. Després, van completar 8 sessions de reentrenament de la marxa en 2-3	Es va utilitzar SPSS per realitzar anàlisis estadístiques, incloent proves independents per comparar grups i ANOVA de mesures repetides per avaluar les diferències entre	El reentrenament FFS va ser igualment efectiu en augmentar la cadència que el reentrenament de cadència. El reentrenament de cadència va resultar en petites reduccions de la taxa de càrrega i podria ser una opció per a

	participants feien un primer test a la seva velocitat desitjada per determinar el seu patró de trepitjada i la cadència de base. Tots els participants havien de tenir un RFS i una cadència de 170< passes/min.	setmanes, amb un màxim de 2 dies consecutius de sessions. No es permetia córrer fora del reentrenament. El grup FFS va utilitzar calçat minimalista i el grup CAD, calçat convencional amb amortiment. Ambdós grups van rebre retroalimentació auditiva. Després de les sessions, els participants van continuar amb el nou patró de marxa i calçat, augmentant progressivament la distància ($\leq 10\%$ setmanal). L'anàlisi de marxa es va repetir a 1 setmana, 1 mes i 6 mesos, amb cada grup provat amb el seu calçat assignat.	els grups al llarg del temps. Les grandàries d'efecte es van calcular amb Cohen's per interpretar la magnitud dels canvis.	persones amb taxes de càrrega lleugerament augmentades que no estiguin disposades a canviar el patró de toc del peu. El més destacat és que vam trobar que el reentrenament FFS va ser 3 vegades més efectiu en la reducció de les taxes de càrrega vertical tant a curt com a llarg termini.
Xini Zhang, Liqin Deng, Yang Yang, Songlin Xiao, Lu Li, Wei-jie Fu., 2021 ¹⁵	30 corredors recreatius masculins que eren corredors habituals de taló i utilitzaven sabates amortides. Després de la selecció, 17 participants (9 en el grup MIN + FFS i 8 en el grup MIN) van completar el programa de 12 setmanes	Els participants van ser assignats aleatòriament a dos grups: 1. MIN + FFS: Van entrenar amb sabates minimalistes i un patró de passada de davant del peu (FFS), amb instruccions específiques per aconseguir aquest patró. 2. MIN: Van entrenar també amb sabates minimalistes, però sense cap canvi obligatori en el patró de passada. Ambdós grups van completar 12 setmanes d'entrenament.	Marcadors retroreflectants per enregistrar el moviment dels peus i cames, calculant l'angle del turmell i el moment articular. També es va mesurar la secció transversal del tendó d'Aquilles amb ultrasonografia. La GRF per calcular el moment articular i la força al tendó d'Aquilles.	El grup MIN + FFS va mostrar una disminució significativa en l'angle de passada, indicant un patró de passada més pla després de l'entrenament, mentre que el grup MIN no va mostrar canvis significatius en aquest aspecte. Tant MIN + FFS com MIN van experimentar un augment significatiu en la força màxima de l'AT, la taxa de càrrega i l'estrès màxim.
Kathryn Mills, Natalie J. Collins, Bill Vicenzino., 2022 ¹⁶	76 corredors (40 dones, edat mitjana de 35 anys) que van intentar transitar de sabates tradicionals a córrer descalços utilitzant sabates minimalistes com a intermediàries. Els participants eren corredors habituals, amb una distància mínima de 10 km per setmana. Sense lesions recents ni afeccions.	Fase 1: (4 setmanes): Córrer amb sabates tradicionals. Fase 2: (8 setmanes): Adaptació gradual a sabates minimalistes. Fase 3: (8 setmanes): Córrer descalç.	Mesura del confort de les sabates tradicionals després de córrer 900 metres mitjançant una escala visual analògica de 100mm. Mesura de la mobilitat del mig peu amb MWM. Mesura del PPT per pressió plantar amb un algòmetre.	Els corredors RFS tenien 4 vegades més probabilitats de no completar la transició amb èxit en comparació amb els FFS. Cada mil·límetre d'augment en la mobilitat del mig peu augmentava el risc de fracàs un 22%. Un major confort en les sabates tradicionals reduïa el risc de fracàs en un 3% per cada mil·límetre de millora en la seva percepció.

			Classificació dels participants com a RFS i NRFS.	
Jan Urbaczka, Julia Freedman Silvernail, Daniel Jandacka., 2022 ¹⁷	28 corredors habituats al calçat minimalista, no RFS, almenys 3 anys abans del test. Dividits entre MT (20-40 km/setmana) i HT (50km/setmana). Els pacients no tenien historial de patologies musculoesquelètiques durant l'últim any.	<p>Els participants van realitzar dues sessions de prova amb un màxim de dues setmanes de diferència. A la primera, es va fer una prova de VO2max en cinta per determinar la velocitat del segon llindar ventilatori (VT2). També es va analitzar el patró de trepitjada amb vídeo a càmera lenta.</p> <p>A la segona sessió, es va determinar la cama dominant, es van col·locar marcadors i es van fer mesures basals de lactat. Després d'un escalfament de 10 minuts amb calçat minimalista, es va iniciar la prova d'esgotament en cinta amb augment progressiu de velocitat fins arribar a la velocitat establerta. Es van recollir dades cinemàtiques i cinètiques al principi i al final del test. Es va mesurar el lactat en diferents moments i es va avaluar la percepció de l'esforç cada dos minuts amb l'escala de Borg.</p>	<p>Les dades de trajectòria i plataforma de forces es van processar amb QTM i Visual 3D. Les dades cinemàtiques i cinètiques es van filtrar amb un filtre Butterworth de pas baix (10 Hz i 30 Hz, respectivament). Es van analitzar els angles articulars en tres dimensions en el moment del IC i es va calcular el ROM per a l'angle del peu.</p> <p>Es van analitzar 20 passes consecutives al principi i al final de la prova. També es van determinar variables espaciotemporals com la cadència, la longitud de la passa i el temps de suport. Es van calcular els pics de força vertical normalitzats al pes corporal.</p>	El volum d'entrenament influeix en el patró de trepitjada dels corredors no taloners habituats a calçat minimalista quan estan fatigats. Els corredors altament entrenats van mantenir l'angle del turmell durant tota la prova d'esgotament, mentre que el grup moderadament entrenat va modificar les característiques de trepitjada en els plans frontal i sagital. Els corredors altament entrenats estan més adaptats a un patró de trepitjada no taloner i conserven millor la cinemàtica del peu i del turmell durant una cursa exhaustiva.
Alessandro Garofolini, Karen J. Mickle, Patrick McLaughlin, Simon Taylor., 2023 ¹⁸	20 corredors dividits en dos grups: FFS i RFS.	<p>Els participants van córrer en tres condicions diferents, utilitzant sabates de running amb diferents nivells de MI: Baix MI, Mitjà MI i Alt MI.</p> <p>S'han comparat: Alt MI vs. Baix MI / Alt MI vs. Mitjà MI / Mitjà MI vs. Baix MI.</p>	<p>Amb l'ACC queda avaluada la consistència del patró coordinatiu d'un cicle de pas a un altre.</p> <p>SoV; mesura la variabilitat del patró coordinatiu al llarg del temps, utilitzant l'àrea d'el·lipses traçades en un ciclograma.</p> <p>SSD: Avaluació com de diferent és la forma de patró de coordinació en diferents condicions.</p>	<p>A l'ACC tant FFS com RFS van mantenir patrons coordinatius força estables independentment del calçat. Els valors eren lleugerament superiors en els RFS, però sense significació estadística.</p> <p>No diferències significatives en SoV. Els FFS van mostrar una tendència a una variabilitat més gran en relació turmell-genoll. Les sabates de baix MI van tenir una variabilitat més baixa i les d'alt MI més elevada.</p>

				Respecte al SSD si que va haver-hi diferència significativa, especialment quant a Alt MI vs. Baix MI. Un 55% dels participants van mostrar canvis de més de 3 SSD en la relació turmell-genoll quan corrien amb sabates d'alt MI comparat amb baix MI. Els canvis en la forma del patró coordinatiu eren més pronunciats en els participants amb sabates més minimalistes.
--	--	--	--	--

Abreviacions. GR: grup de reeducació de la trepitjada + calçat minimalista. MIN: grup només calçat minimalista. MAX: calçat maximalista. GRF: força de reacció contra el terra. EEI: extremitats inferiors. Índex MI: índex de calçat minimalista. RFS: rear foot strike. FFS: fore foot strike. FFS 2: grup de reentrenament al fore foot strike. CAD: grup de reentrenament de la cadència. AT: tendó d'Aquil·les. MWM: mobilització amb moviment. PPT: llindar de dolor per pressió. MT: mig entrenats. HT: altament entrenats. QTM: Qualisys Track Manager. SSPS: Statistical Package for the Social Sciences. NRFS: non-rearfoot striker. ACC: acceleració cycle-to-cycle. SoV: suma de variància. SSD: Shape Difference (diferència de forma). VO2max: Consum màxim d'oxigen. VT2: Segon llindar ventilatori. RPE: Percepció de l'esforç. IC: contacte inicial. ROM: Rang de moviment. FSA Angle de trepitjada.

4.3. Anàlisi del risc de biaix

S'ha analitzat el risc de biaix dels 9 articles seleccionats per a realitzar l'actual revisió seguint la Normativa del Manual de Cochrane⁹ valorant tant el biaix de selecció, que inclou l'aleatorització i la ocultació d'assignació; el biaix de realització, on entren el cegament dels participants i investigadors; el biaix de detecció, que conté el cegament dels avaluadors; el biaix de deserció, on s'inclouen les dades de resultats incompletes, finalment, el biaix de descripció selectiva dels resultats. El resum de l'anàlisi es pot veure a la Taula 3.

Taula 3. Anàlisi del risc de biaix de cada estudi.

	Aleatorització	Ocultació d'assignació	Ceguesa de participants i investigadors	Ceguesa d'avaluadors	Dades de resultats incomplets	Notificació selectiva dels resultats	Risc de biaix
Yang Yang, <i>et al.</i> 2020 ¹⁰	+	-	-	-	+	+	Risc moderat
Alessandro Garofolini, <i>et al.</i> 2024 ¹¹	-	-	-	-	+	+	Risc alt
Shiwei Mo, <i>et al.</i> 2021 ¹²	-	-	-	-	+	+	Risc alt
Andrew D Nordin, <i>et al.</i> 2020 ¹³	-	-	-	-	+	+	Risc alt
Erin E, <i>et al.</i> 2020 ¹⁴	+	-	-	+	+	+	Risc baix
Xini Zhang, <i>et al.</i> 2021 ¹⁵	+	-	-	+	+	+	Risc moderat
Kathryn Mills, <i>et al.</i> 2022 ¹⁶	-	-	-	-	+	-	Risc alt
Jan Urbaczka, <i>et al.</i> 2022 ¹⁷	-	-	-	+	+	+	Risc moderat
Alessandro Garofolini, <i>et al.</i> 2023 ¹⁸	+	-	-	-	+	+	Risc moderat

+: baix risc de biaix - : alt risc de biaix

4.4. Anàlisi de la qualitat metodològica dels estudis

Del total dels estudis analitzats, 4 de 9 tenen un risc de biaix alt, ja que no son estudis aleatoritzats i no poden ocultar el tipus de calçat estudiat als participants, tal i com s'observa a la Figura 2. D'altra banda, 4 articles tenen un risc de biaix moderat, ja que si que estan aleatoritzats però segueixen sense ocultar l'assignació tan als participants com als investigadors. Només un dels articles te risc de biaix baix (n=1).

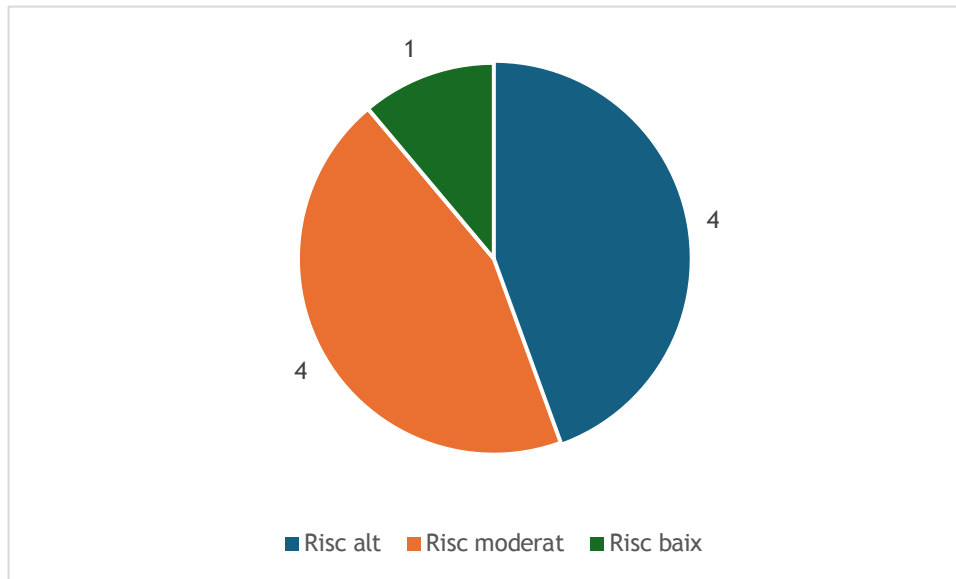


Figura 2. Gràfic dels percentatges de risc de biaix

4.5. Anàlisi dels resultats de cada estudi

A continuació, es presenta el resum dels resultats obtinguts en cada estudi analitzat.

Yang Yang et al., 2020 van analitzar els efectes d'un programa de reentrenament de la tècnica de carrera utilitzant calçat minimalista en corredors amateurs. Es van observar canvis significatius en la reducció de les forces d'impacte verticals (VILR), el pic d'impacte i la taxa de càrrega. Aquestes variacions, només es van produir en el grup que havia seguit la instrucció. L'altre grup, que només utilitzava el calçat minimalista, no va experimentar canvis determinants en la biomecànica. El canvi en el patró de trepitjada (de *rearfoot* a *midfoot/forefoot*) reforçat per les modificacions posturals (disminució en la dorsiflexió de turmell, augment de la flexió de genoll que millora l'absorció de l'impacte i la inclinació vertical de la tibia) al moment del contacte, són altres alteracions que va generar el protocol. Es va observar també un augment en la rigidesa vertical (la capacitat del cos per resistir forces de compressió), possible indicador de millora de l'eficiència mecànica i de reutilització energètica durant el cicle de carrera. Aquestes adaptacions van perdurar en el temps gràcies al període de reentrenament¹⁰.

Alessandro Garofolini et al., (2024) van utilitzar la teoria del control motor (UCM), un enfocament biomecànic avançat, per examinar com influeixen el patró de trepitjada i el tipus de calçat en el control de la postura i la longitud de la cama durant la carrera. Els resultats van mostrar que, independentment del tipus de calçat que s'utilitzés, el patró de trepitjada forefoot generava una millor capacitat de control postural i una longitud de la cama més efectiva que el patró rearfoot. Aquesta modificació en el control va produir una menor variabilitat en els paràmetres significatius per a l'estabilitat i una major variabilitat funcional (VUCM), indicadors d'una adaptació més flexible i eficient del moviment. Tot i que el calçat no va generar diferències significatives en els paràmetres estudiats a nivell global, els autors van observar que el tipus de calçat pot facilitar o dificultar l'estabilització, especialment a curt termini. En concret, les sabates minimalistes podrien afavorir una estabilització més ràpida, mentre que les més estructurades poden augmentar la dependència del suport extern. Els autors van afegir que un canvi cap al patró de trepitjada forefoot podia afavorir una millora del control motor i de l'adaptació del sistema neuromuscular, factors clau per a la prevenció de lesions i la millora del rendiment¹¹.

Shiwei Mo et al., (2021) van comparar com l'ús del calçat minimalista o maximalista influeix a la càrrega d'impacte i al patró de trepitjada en corredors habituats al *rearfoot*. Aquí es va veure que, independentment de les condicions del terreny, el calçat no té un efecte realment significatiu en cap dels dos factors analitzats. La quantitat d'amortiment no va modificar de manera immediata la forma en la que els corredors impactaven amb el terra ni amb quina part del peu feien el contacte inicial. Amb tot això, es va veure que la inclinació del terreny generava canvis en el patró de trepitjada, durant les pujades la majoria dels corredors canviaven a un patró de trepitjada *forefoot* o *midfoot* a causa de l'adaptació biomecànica que fa el cos a l'hora d'afrontar pendents més exigents¹².

Andrew D Nordin et al., (2020) van avaluar com el calçat i el patró de trepitjada influeixen en les càrregues biomecàniques durant la carrera. Es van utilitzar combinacions de calçat minimalista i tradicional juntament amb diferents patrons de trepitjada (*rearfoot strike/ midfoot strike/ forefoot strike*). Els resultats van confirmar que tant el model de calçat com el patró de trepitjada modifiquen, de manera substancial, la forma en què es distribueixen les càrregues en les articulacions. Es va observar, com a fet a destacar, que la combinació del calçat minimalista amb un patró de trepitjada *forefoot* genera una redistribució de les càrregues atribuïda a una disminució de l'impacte inicial al contacte amb el sòl¹³.

Futrell et al., (2020) van comparar dues intervencions de readaptació de la tècnica de carrera en corredors amateurs. La primera, tenia com a fonament l'augment de la cadència i la segona tractava de modificar el patró de trepitjada (assolint un patró *forefoot*) amb l'objectiu de veure quina de les dues intervencions era la més eficaç a l'hora de reduir les forces d'impacte verticals. Els resultats van mostrar que el canvi de patró de trepitjada (de *rearfoot* a *forefoot*) generava una reducció de l'impacte significativament més important que l'augment de la cadència. A més, gràcies a l'aprenentatge motor produït durant la intervenció van aconseguir que els canvis es mantinguessin. La modificació del patró de trepitjada es va fer amb l'ajuda de calçat específic (minimalista) amb la finalitat d'afavorir l'adaptació al nou patró. L'estudi també va analitzar el dolor muscular associat i l'adaptació de cada corredor al nou estil de carrera. Ambdós grups van percebre, inicialment, certa incomoditat i molèstia que va disminuir al cap del temps¹⁴.

Xini Zhang et al., (2021) van comparar dues intervencions en corredors durant una transició de 12 setmanes amb sabates minimalistes: el grup MIN + FFS, que va rebre instruccions per adoptar un patró de trepitjada *forefoot strike*, i el grup MIN, que no va rebre cap instrucció sobre la tècnica de carrera. Pel que fa a l'angle de contacte (*strike angle*), el grup MIN + FFS va experimentar una reducció significativa del 20,7%, suggerint un patró *midfoot strike*. En canvi, el grup minimalista no va mostrar cap canvi rellevant en aquesta variable. Aquests resultats indiquen que la instrucció explícita per adoptar un patró de *forefoot strike*, combinada amb un seguiment mitjançant plantilles intel·ligents, va ser clau per facilitar una modificació més accentuada de la tècnica de carrera. Tot i que cap participant del grup MIN + FFS va assolir una conversió completa al patró *forefoot strike*, la reducció significativa de l'angle de contacte indica una clara tendència cap aquest patró. En contrast, el grup MIN va mantenir un patró de *rearfoot strike* tant abans com després de la intervenció, fet que posa de manifest que l'ús exclusiu de calçat minimalista no és suficient per induir canvis substancials en el patró de carrera sense una guia explícita i un control actiu del procés¹⁵.

Mills et al., (2022) van avaluar la transició cap a la cursa descalça en corredors amb patró *rearfoot strike*, mitjançant un procés progressiu que incloïa l'ús de sabates tradicionals, sabates minimalistes i finalment la cursa descalça. Els resultats van mostrar una disminució progressiva en la probabilitat acumulada d'èxit a mesura que avançava la transició: 97,2% a la setmana 4, 89,8% a la setmana 12 i 70,8% a la setmana 20. El principal motiu d'abandonament va ser l'aparició de dolor, localitzat a gastrocnemis i solí durant l'etapa amb sabates minimalistes i al peu durant la fase descalça. Entre els factors pronòstics associats a un major risc de fracàs en la transició, es va identificar el *rearfoot strike*, que multiplicava per

quatre el risc de fracassar en comparació amb corredors amb patró *forefoot*. Així mateix, una major mobilitat transversal del mig peu es va relacionar amb un augment del 22% en el risc de fracàs per cada increment d'1mm. En contraposició, una puntuació més elevada de confort percebut amb el calçat tradicional va actuar com a factor protector: per cada augment d'1 mm en l'escala de confort (VAS de 100 mm), el risc de fracàs disminuïa un 3%¹⁶.

Jan Urbackza et al., 2022, van avaluar com el nivell d'entrenament dels corredors influeix en els canvis biomecànics associats a la fatiga durant un exercici extenuant, centrant-se especialment en l'evolució del patró de contacte del peu. Els corredors altament entrenats van mantenir estable el seu patró de contacte del peu (principalment *no-rearfoot*) al llarg de l'exercici, mentre que els moderadament entrenats van experimentar una transició cap a un patró més *rearfoot*, especialment en les fases finals, com a estratègia per reduir l'impacte i la càrrega muscular. L'estudi demostra que els corredors amb un nivell d'entrenament més alt tenen una millor capacitat per mantenir una biomecànica estable sota fatiga, especialment un patró de suport *no-rearfoot*, habitual amb sabates minimalistes. Aquest patró pot reduir l'impacte articular, però implica una major demanda muscular, fet que el fa difícil de sostenir sense una adaptació prèvia. En canvi, corredors menys entrenats tendeixen a modificar la seva tècnica, augmentant la ROM d'eversió del peu com a resposta compensatòria, fet que pot augmentar el risc de lesió. Els resultats evidencien que la capacitat de mantenir un patró de cursa eficient sota fatiga està fortament influenciada pel nivell d'entrenament. Aquesta troballa reforça la idea que l'ús de sabates minimalistes, que afavoreixen un patró de suport anterior, pot ser beneficiós en termes biomecànics i de prevenció de lesions, però només quan hi ha una adaptació muscular i tècnica prèvia. En el context del trail running, aquesta adaptació és especialment crítica per prevenir desajustos biomecànics i sobrecàrregues derivades de la fatiga acumulada¹⁷.

Alessandro Garofolini et al., 2023, van analitzar l'efecte de dues estratègies diferents per modificar la tècnica de carrera en corredors amateurs. La primera estratègia consistia en l'increment de la cadència, mentre que la segona es centrava en el canvi del patró de trepitjada cap a un patró *forefoot*. L'objectiu de l'estudi era determinar quina de les dues intervencions resultava més eficaç a l'hora de reduir les forces d'impacte verticals durant la cursa. Els resultats van evidenciar que la transició d'un patró de trepitjada *rearfoot* a un patró *forefoot* generava una reducció més significativa de les forces d'impacte verticals que l'augment de la cadència. A més, es va observar que els efectes aconseguits amb la modificació del patró es mantenien a llarg termini, atribuïble a l'aprenentatge motor adquirit durant el procés d'adaptació. Per facilitar aquest canvi, es va utilitzar calçat minimalista, dissenyat per afavorir

la transició cap al nou patró de carrera. L'estudi també va examinar la resposta individual dels corredors davant les dues intervencions, així com el dolor muscular associat. En ambdós grups es van detectar molèsties i incomoditats inicials, però aquestes van anar disminuint amb el pas del temps a mesura que s'assolia una millor adaptació al nou estil de carrera¹⁸.

5. DISCUSSIÓ

Aquesta revisió sistemàtica inclou un total de 9 estudis, els quals analitzen la influència del tipus de calçat, principalment el calçat minimalista i especialment en el patró de trepitjada. Tot i així, també analitzen el risc de lesions en corredors. La majoria dels estudis comparteixen una estructura metodològica similar, fet que n'ha facilitat l'anàlisi comparativa i la síntesi de resultats.

Pel que fa al risc de biaix, la major part dels estudis inclosos presenten un risc moderat a alt. Aquesta limitació metodològica, que sovint s'associa a problemes de cegament, selecció de la mostra o manca de seguiment a llarg termini, s'ha tingut molt en compte a l'hora d'interpretar els resultats i extreure conclusions.

Aquesta revisió posa de manifest la importància del calçat com a modulador del patró de trepitjada i del comportament biomecànic, especialment durant la cursa. Els estudis revisats coincideixen en destacar que el calçat minimalista pot afavorir un patró de trepitjada amb la zona mitjana o davantera del peu (MFS o FFS), en contraposició al patró taloner (RFS), la qual és predominant en corredors que utilitzen calçat convencional.

Tot i la variabilitat en les característiques de la mostra —tant pel que fa a nivell d'entrenament com a experiència amb calçat minimalista—, s'observen punts comuns entre els estudis: la transició progressiva al calçat minimalista, la influència del calçat en la distribució de càrregues i en la fatiga muscular, i el possible impacte sobre el risc de lesions, especialment en relació amb l'extremitat inferior i sobretot, amb el tendó d'Aquil·les.

A continuació, es presenten i analitzen els principals resultats dels estudis inclosos, posant èmfasi en aquests eixos comuns: la reducció de l'impacte vertical degut al calçat minimalista i degut als canvis en el patró de trepitjada. Els canvis en el patró de trepitjada degut als tipus de calçat i la relació entre l'ús de calçat minimalista i el risc de lesions.

5.1. Canvis al patró de trepitjada degut al tipus de calçat

El calçat minimalista ha estat àmpliament estudiat en relació amb el seu efecte sobre el patró de trepitjada, mostrant resultats que varien segons el temps d'adaptació i la combinació amb altres factors com la tècnica de carrera. *Squadrone et al., (2015)*¹⁹ van concloure que l'ús de sabates minimalistes provoca alteracions en el patró de trepitjada, especialment una transició cap al patró forefoot strike (FFS). No obstant això, *McCallion et al., (2014)*²⁰ van assenyalar que aquests canvis no són immediats, sinó que requereixen un període d'adaptació, el que posa en evidència que el procés de transició pot ser lent i que el sistema musculoesquelètic necessita temps per adaptar-se a la nova tècnica de carrera.

*Cheung et al., (2017)*²¹ van observar que els corredors que utilitzaven calçat minimalista tenien una probabilitat molt més alta de desenvolupar un patró FFS en comparació amb aquells que utilitzaven calçat tradicional. Això subratlla l'impacte directe del calçat sobre el patró de trepitjada, sense la necessitat d'altres intervencions. En canvi, *Wilson et al., (2014)*²² van detectar que, després de només dues setmanes de reentrenament, no es van produir canvis biomecànics destacables, cosa que suggereix que el temps de transició pot ser insuficient en determinats casos per aconseguir un canvi complet del patró de trepitjada.

Els estudis de *Zhang et al., (2021)*¹⁵ i *Yang et al., (2020)*¹⁰ coincideixen a afirmar que el simple ús de calçat minimalista, sense una instrucció específica o un programa d'adaptació, no és suficient per induir canvis substancials en la tècnica de carrera. Mentre que *Zhang et al., (2021)*¹⁵ van observar que la modificació del patró de trepitjada requeria una orientació explícita, *Yang et al., (2021)*¹⁰ van trobar que el reentrenament de la tècnica combinat amb l'ús de calçat minimalista produeix adaptacions posturals i una millora de l'absorció de l'impacte.

A més, *Mills et al., (2022)*¹⁶ van destacar que els corredors amb un patró rearfoot tenien més dificultats per completar la transició cap a un patró descalç o minimalista, amb una major incidència de molèsties, el que suggereix que el tipus de patró de trepitjada inicial pot influir significativament en l'èxit de la transició.

En resum, el calçat minimalista pot induir canvis en el patró de trepitjada, però aquests canvis depenen d'un procés d'adaptació que inclou no només el tipus de calçat, sinó també la tècnica de carrera i el temps dedicat a l'entrenament. La transició cap a un patró més eficient, com el FFS, requereix un enfocament progressiu i controlat, especialment en corredors amb un patró rearfoot.

5.2. La relació de la running economy amb el patró de trepitjada

La *running economy* (RE) és la quantitat d'energia o oxigen que un corredor necessita per mantenir una velocitat submàxima; com menor és aquest consum, millor és l'eficiència de la cursa. Aquesta depèn de múltiples factors com la tècnica, el patró de trepitjada, el tipus de calçat i l'eficiència neuromuscular.²³

Diversos estudis suggereixen que el patró *forefoot*, especialment quan es combina amb calçat minimalista, pot afavorir la RE mitjançant una menor taxa de càrrega, menor pic d'impacte i un augment de la rigidesa vertical (Yang Yang et al., 2020¹⁰; Nordin et al., 2020¹³). Segons Van Hooren et al., (2024)²⁵ aquesta rigidesa pot optimitzar la reutilització d'energia elàstica, mentre que Yin et al., (2020)²⁴ defensa que el *forefoot* millora la transmissió energètica i redueix el temps de contacte, aspectes relacionats amb una millor RE. Jaen-Carrillo et al., (2022)²⁶ també observa més eficiència en corredors descalços amb *patró no-rearfoot*.

Tanmateix, altres estudis aporten una visió més crítica. Ogueta-Alday et al., (2014)²⁷ troba que, a velocitats submàximes, els *rearfoot strikers* són més econòmics que els *midfoot*, i Gruber et al., (2013)²⁹ no detecta diferències significatives de consum d'oxigen entre RFS i FFS. A més, Hamill et al., (2017)²⁸ alerta que canviar de patró pot provocar lesions i no sempre suposen un benefici.

En conclusió, tot i que biomecànicament el patró *forefoot* pot oferir avantatges potencials per a la RE, no hi ha consens pel que fa als beneficis fisiològics, i cal considerar les característiques individuals abans de promoure un canvi de tècnica.

5.3. Reducció de l'impacte vertical i el risc de lesions segons el patró de trepitjada

Els estudis de diversos autors subratllen la importància de la modificació del patró de trepitjada per reduir les forces d'impacte verticals (VILR), la taxa de càrrega vertical (VALR) i la taxa de càrrega d'impacte (VIP), factors que estan estretament relacionats amb la prevenció de lesions en corredors.^{10,13,14,18}

Yang et al., (2020)¹⁰ van observar que l'ús de calçat minimalista, juntament amb un canvi de patró de trepitjada de *rearfoot* a *midfoot/forefoot*, va provocar una reducció significativa de les forces d'impacte verticals, així com una millora de l'eficiència biomecànica. Aquests resultats estan alineats amb les troballes de Xia et al., (2020)³⁰ qui va observar que el patró de trepitjada FFS redueix la taxa de càrrega mitjana i la taxa de càrrega inicial, contribuint així a una millor

gestió de les forces d'impacte durant la cursa.

D'altra banda, *Cheung et al., (2011)*³¹ van concloure que els patrons MFS i FFS tenen valors més baixos de VILR, VALR i VIP en comparació amb el RFS, destacant els avantatges biomecànics d'aquests patrons per minimitzar la càrrega de les articulacions. Aquestes reduccions en les forces d'impacte no només milloren l'eficiència del moviment, sinó que també poden reduir el risc de lesions relacionades amb l'impacte, com s'ha demostrat en diversos estudis.

En aquest sentit, *Miller et al., (2020)*³² van suggerir que un període de reentrenament de la tècnica de carrera amb l'ús de calçat minimalista podria ajudar a reduir les forces d'impacte verticals i la càrrega a les articulacions, reduint així el risc de lesions. El canvi de patró de carrera cap a MFS o FFS va ser particularment beneficiós per a aquells corredors que patien lesions relacionades amb la cursa, evitant així el risc de recaiguda. Això coincideix amb les observacions de *Zhang et al.,(2021)*¹⁵ que van identificar que un entrenament adequat en el patró de trepitjada és clau per evitar lesions i millorar la biomecànica en corredors.

Finalment, *Breine et al., (2021)*³³ van assenyalar que quan la velocitat augmenta, també ho fa la VILR. A mesura que els corredors augmenten la seva velocitat, molts tendeixen a canviar el seu patró de trepitjada cap a FFS per reduir les forces d'impacte. Aquest ajust és especialment important per als corredors que ja tenen una VILR alta a baixes velocitats, ja que la transició a un patró FFS podria ajudar a evitar un augment addicional de la càrrega en les articulacions i reduir el risc de lesions.

En resum, les modificacions en el patró de trepitjada, especialment cap als patrons MFS i FFS, poden ser una estratègia eficaç per reduir les forces d'impacte verticals, la taxa de càrrega vertical i la taxa de càrrega d'impacte, amb un impacte directe en la reducció del risc de lesions.

5.4. Limitacions

Aquesta revisió sistemàtica presenta diverses limitacions que cal considerar. En primer lloc, la qualitat metodològica dels estudis inclosos és variable, amb un risc de biaix moderat a alt en la majoria dels casos. En segon lloc, existeix una gran homogeneïtat en els protocols d'intervenció, les característiques dels participants i les eines de mesura utilitzades. A més, en molts casos no es proporciona informació sobre el període d'adaptació al calçat minimalista, un factor clau per entendre els efectes reals sobre la biomecànica i les lesions. Finalment, cal destacar que la majoria dels estudis analitzats tenen un seguiment a curt

termini, i per tant, són necessaris estudis longitudinals per valorar l'impacte a llarg termini del calçat minimalista en els usuaris.

5.5. Línies futures

Després d'haver realitzat la present revisió sistemàtica, es considera que malgrat els resultats prometedors, encara es disposa de poca evidència de llarg termini i de gran qualitat metodològica. Per això, seria necessari dur a terme estudis amb mostres més àmplies, dissenys experimentals ben plantejats i seguiments més llargs per avaluar l'efecte sostingut d'aquestes intervencions. A més, caldria investigar amb més profunditat quins perfils de corredors (segons nivell d'entrenament, patró inicial de trepitjada o tipus de terreny) es poden beneficiar més d'aquestes transicions, i quins protocols d'adaptació són més segurs i efectius per reduir el risc de lesions. També seria interessant aprofundir en els mecanismes neuromusculars implicats en aquestes adaptacions, ja que comprendre aquest fet amb més detall i certesa ajudaria a optimitzar els protocols d'entrenament i la prevenció de possibles sobrecàrregues o lesions.

6. CONCLUSIONS

Els estudis revisats indiquen que l'ús de calçat minimalista pot afavorir el pas a un patró de trepitjada *forefoot*, el qual es relaciona amb una reducció de la taxa de càrrega vertical. Aquesta disminució de l'impacte pot contribuir a reduir el risc de lesions, sempre que la transició de sabates convencionals a sabates minimalistes es faci de manera progressiva i amb una adaptació tècnica adequada. A més a més, l'èxit de la transició depèn de factors com el volum d'entrenament, l'experiència prèvia i l'acompanyament professional.

7. BIBLIOGRAFIA

1. Esculier JF, Dubois B, Dionne CE, Leblond J, Roy JS. A consensus definition and rating scale for minimalist shoes. *J Foot Ankle Res.* 2015 Aug;8.
2. Coetzee DR, Albertus Y, Tam N, Tucker R. Conceptualizing minimalist footwear: an objective definition. Vol. 36, *Journal of Sports Sciences.* Routledge; 2018. p. 949–54.
3. Xu Y, Yuan P, Wang R, Wang D, Liu J, Zhou H. Effects of Foot Strike Techniques on Running Biomechanics: A Systematic Review and Meta-analysis. Vol. 13, *Sports Health.* SAGE Publications Inc.; 2021. p. 71–7.
4. Kulmala JP, Kosonen J, Nurminen J, Avela J. Running in highly cushioned shoes increases leg stiffness and amplifies impact loading. *Sci Rep.* 2018 Dec;8.
5. Lieberman DE, Venkadesan M, Werbel WA, Daoud AI, Dandrea S, Davis IS, et al. Foot strike patterns and collision forces in habitually barefoot versus shod runners. *Nature.* 2010 Jan;463:531–5.
6. Zhang X, Deng L, Yang Y, Xiao S, Li L, Fu W. Effects of 12-week transition training with minimalist shoes on Achilles tendon loading in habitual rearfoot strike runners. *J Biomech.* 2021 Nov;128.
7. Hall JPL, Barton C, Jones PR, Morrissey D. The biomechanical differences between barefoot and shod distance running: A systematic review and preliminary meta-analysis. Vol. 43, *Sports Medicine.* 2013. p. 1335–53.
8. Hutton B, Catalá-López F, Moher D. La extensión de la declaración PRISMA para revisiones sistemáticas que incorporan metaanálisis en red: PRISMA-NMA. *Med Clin (Barc).* 2016;147:262–6.
9. <https://training.cochrane.org/es/manual-cochrane-de-revisiones-sistem%C3%A1ticas-de-intervenciones> [Internet]. Manual Cochrane de revisiones sistemáticas de intervenciones.
10. Yang Y, Zhang X, Luo Z, Wang X, Ye D, Fu W. Alterations in running biomechanics after 12 week gait retraining with minimalist shoes. *Int J Environ Res Public Health.* 2020 Feb;17.
11. Garofolini A, Mickle KJ, McLaughlin P, Taylor SB. Assessing the effects of foot strike patterns and shoe types on the control of leg length and orientation in running. *Sci Rep.* 2024 Dec;14.
12. Mo S, Chan ZYS, Lai KKY, Chan PPK, Wei RXY, Yung PSH, et al. Effect of minimalist and maximalist shoes on impact loading and footstrike pattern in habitual rearfoot strike trail runners: An in-field study. *Eur J Sport Sci.* 2021;21:183–91.
13. Nordin AD, Dufek JS. Footwear and footstrike change loading patterns in running. *J Sports Sci.* 2020 Aug;38:1869–76.
14. Futrell EE, Gross KD, Reisman D, Mullineaux DR, Davis IS. Transition to forefoot strike reduces load rates more effectively than altered cadence. *J Sport Health Sci.* 2020 May;9:248–57.
15. Zhang X, Deng L, Yang Y, Xiao S, Li L, Fu W. Effects of 12-week transition training with minimalist shoes on Achilles tendon loading in habitual rearfoot strike runners. *J Biomech.* 2021 Nov;128.

16. Mills K, Collins NJ, Vicenzino B. Transitioning to Barefoot Running Using a Minimalist Shoe Intermediary: A Prospective Cohort Study. *Med Sci Sports Exerc.* 2023 May;55:787–93.
17. Urbaczka J, Silvernail JF, Jandacka D. Effect of training volume on footstrike patterns over an exhaustive run. *Gait Posture.* 2022 Jan;91:240–6.
18. Garofolini A, Mickle KJ, McLaughlin P, Taylor S. Quantifying coordinative patterns in steady-state running: The impact of footwear and foot strike on joint coupling variability. *Eur J Sport Sci.* 2024 May;24:566–76.
19. 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 Jul;33:1196–204.
20. McCallion C, Donne B, Fleming N, Blanksby B. Acute Differences in Foot Strike and Spatiotemporal Variables for Shod, Barefoot or Minimalist Male Runners. *J Sports Sci Med [Internet].* 2014 [cited 2025 May 7];13(2):280.
21. Cheung RTH, Wong RYL, Chung TKW, Choi RT, Leung WWY, Shek DHY. Relationship between foot strike pattern, running speed, and footwear condition in recreational distance runners. *Sports Biomech [Internet].* 2017 Apr 3 [cited 2025 May 7];16(2):238–47.
22. Willson JD, Bjorhus JS, Williams DSB, Butler RJ, Porcari JP, Kernozek TW. Short-Term Changes in Running Mechanics and Foot Strike Pattern After Introduction to Minimalistic Footwear. *PM and R [Internet].* 2014 Jan [cited 2025 May 7];6(1):34–43.
23. Saunders PU, Pyne DB, Telford RD, Hawley JA. Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports Medicine [Internet].* 2004 [cited 2025 May 7];34(7):465–85.
24. Yin L, Hu X, Lai Z, Liu K, Wang L. Leg Stiffness and Vertical Stiffness of Habitual Forefoot and Rearfoot Strikers during Running. *Appl Bionics Biomech [Internet].* 2020 [cited 2025 May 7];2020:8866340.
25. Van Hooren B, Jukic I, Cox M, Frenken KG, Bautista I, Moore IS. The Relationship Between Running Biomechanics and Running Economy: A Systematic Review and Meta-Analysis of Observational Studies. *Sports Medicine [Internet].* 2024 May 1 [cited 2025 May 7];54(5):1269–316.
26. Jaén-Carrillo D, Roche-Seruendo LE, Molina-Molina A, Cardiel-Sánchez S, Cartón-Llorente A, García-Pinillos F. Influence of the Shod Condition on Running Power Output: An Analysis in Recreationally Active Endurance Runners. *Sensors [Internet].* 2022 Jul 1 [cited 2025 May 7];22(13).
27. Ogueta-Alday A, Rodríguez-Marroyo JA, García-López J. Rearfoot striking runners are more economical than midfoot strikers. *Med Sci Sports Exerc [Internet].* 2014 Mar [cited 2025 May 7];46(3):580–5.
28. Hamill J, Gruber AH. Is changing footstrike pattern beneficial to runners? *J Sport Health Sci [Internet].* 2017 Jun 1 [cited 2025 May 7];6(2):146–53.
29. Gruber AH, Umberger BR, Braun B, Hamill J. Economy and rate of carbohydrate oxidation during running with rearfoot and forefoot strike patterns. *J Appl Physiol [Internet].* 2013 Jul 15 [cited 2025 May 7];115(2):194–201.

30. Xia H, Huang Y, Chen G, Cheng S, Cheung RTH, Shull PB. Self-selected running gait modifications reduce acute impact loading, awkwardness, and effort. *Sports Biomech* [Internet]. 2024 [cited 2025 May 7];23(8):1043–56.
31. Cheung RTH, Davis IS. Landing pattern modification to improve patellofemoral pain in runners: A case series. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy* [Internet]. 2011 [cited 2025 May 7];41(12):914–9.
32. Miller EM, Crowell MS, Morris JB, Mason JS, Zifchock R, Goss DL. Gait Retraining Improves Running Impact Loading and Function in Previously Injured U.S. Military Cadets: A Pilot Study. *Mil Med* [Internet]. 2021 Nov 1 [cited 2025 May 7];186(11):E1077–87.
33. Breine B, Malcolm P, Galle S, Fiers P, Frederick EC, De Clercq D. Running speed-induced changes in foot contact pattern influence impact loading rate. *Eur J Sport Sci* [Internet]. 2019 Jul 3 [cited 2025 May 7];19(6):774–83