



apunts

MEDICINA DE L'ESPORT

www.apunts.org



TREBALL ORIGINAL

Efectes aguts de la cursa d'atletes descalços i requisits de la cinemàtica de les extremitats inferiors en corredors de resistència habitualment calçats

Marcos Muñoz Jiménez^{a,*}, Felipe García-Pinillos^a, Víctor M. Soto-Hermoso^b, Pedro A. Latorre-Román^a

^aDepartamento de Didáctica de la Expresión Corporal, Universidad de Jaén, Jaén, Espanya

^bDepartamento de Ciencias del Deporte, Universidad de Granada, Granada, Espanya

Rebut el 18 d'abril de 2016; acceptat l'11 de juliol de 2016

PARAULES CLAU

Corredors de llarga distància;
Angles d'articulació de les extremitats inferiors;
Velocitat de la cursa;
Paràmetres espaciotemporals;
Descalç

Resum

L'objectiu d'aquest estudi fou analitzar les variables cinemàtiques de córrer sense sabatilles i amb sabatilles convencionals específiques de córrer, a nivell de velocitat confortable i exigent. Els participants foren 60 corredors d'esport de recreació sans (edat, $35,6 \pm 11,7$ anys, índex de massa corporal, $22,9 \pm 2,4$ kg/m²) que van fer les proves descalços en un cinta a velocitats confortable i exigent, seleccionades per ells mateixos. S'utilitzaren tècniques fotogramètriques (2D). A la cursa descalça el temps de contacte fou més curt ($p < 0,001$) a velocitat exigent, el temps de vol fou més curt a velocitat confortable ($p < 0,05$) i exigent ($p < 0,05$), i la freqüència de la gambada fou superior en ambdues velocitats ($p < 0,001$). A més, a la cursa descalça els corredors aterraren amb una flexió de genoll considerablement superior ($p < 0,05$), menor flexió dorsal de turmells ($p < 0,001$) i menor flexió de genolls a l'enlairament, a velocitat exigent ($p = 0,002$) en la cursa calçada. En conclusió, el present estudi ha aportat una evidència que suggereix que es produeixen canvis aguts en les variables temporals i cinemàtiques en la cursa amb/sense sabatilles a velocitats baixa i alta, en els corredors que utilitzen normalment sabatilles. Pel que fa a qüestions espaciotemporals en cursa descalça, es trobaren diferències entre condició de calçat/descalç, amb temps inferior sense sabatilles, amb una flexió de genolls i flexió dorsal de turmells majors. En augmentar la velocitat en córrer descalç, la durada de les variables de temps disminuï considerablement tant en velocitat confortable com en exigent ($p < 0,001$). Per aquesta raó, el cicle de gambada i de marxa fou considerablement més ràpid i, per tant, es produí una freqüència de gambada major. © 2016 FC Barcelona. Publicat per Elsevier España, S.L.U. Tots els drets reservats.

* Autor per a la correspondència

Correu electrònic: mmj00006@red.ujaen.es (M. Muñoz Jiménez).

KEYWORDS

Long-distance runners;
Lower-limb joint
angles;
Running speed;
Spatial-temporal
parameters;
Unshod

Acute effects of barefoot running and running requirement on lower-limb kinematics in habitually shod endurance runners

Abstract

The aim of this study was to analyse kinematic variables when running barefoot and when wearing conventional running shoes at comfortable and demanding running speeds. Sixty healthy recreational male runners (age = 35.6 ± 11.7 years old, body mass index = 22.9 ± 2.4 kg/m²) performed trials in shod/barefoot running conditions on a treadmill at self-selected comfortable and demanding speeds. Photogrammetric techniques (2D) were employed. In barefoot conditions, contact time was shorter ($P < .001$) at demanding speed, flight time was shorter at comfortable ($P < .05$) and demanding ($P < .05$) speeds, and there was greater stride frequency at both speeds ($P < .001$). In addition, in barefoot conditions, runners landed with significantly greater knee flexion ($P < .05$); lower ankle dorsiflexion ($P < .001$); and lower knee flexion in take-off at demanding speed ($P = .002$) compared with shod conditions. In conclusion, the current study has provided evidence to suggest that acute changes occur in the temporal variables and kinematics between shod/barefoot conditions at low and high speeds in habitually shod runners. Significant differences were found in spatial-temporal events between shod/barefoot conditions, with shorter times in barefoot conditions with greater knee flexion and ankle dorsiflexion. When speed was increased in barefoot conditions, duration of timing variables decreased significantly both comfortable and demanding speed ($P < .001$). Because of this, stride and gait cycle was significantly faster and thus there was a higher stride frequency.

© 2016 FC Barcelona. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Introducció

Córrer descalç s'ha fet molt popular als darrers anys i continua sent un tema molt debatut entre els corredors, entrenadors i investigadors. L'efecte del patró de petjada del peu descalç, i la seva relació amb l'economia, rendiment i índex de lesions en corredors de resistència, ha estat debatut a la literatura¹⁻³. S'ha suggerit que el model de sabatilles d'esport podria ser un factor de risc clau que podria conduir a la lesió⁴. Possibles causes de lesió poden incloure la força de l'impacte abrupta^{5,6}, una propiocepció limitada⁷ i una excessiva pronació del peu quan el taló impacte amb el terra^{8,9}. Diversos autors suggereixen que córrer descalç habitualment podria prevenir lesions relacionades amb l'impacte^{6,10}.

Diversos estudis s'han centrat en el patró de petjada del peu dels corredors i de quina manera els canvis en la velocitat de córrer i el rendiment poden canviar la manera com els atletes impacten amb el terra quan corren^{2,11}. Larson et al.² conclouen que entre el 87,8% i el 93,0% de corredors maratonians impactaven amb el retropeu, fins i tot els corredors més ràpids, i el patró de petjada més comú fou l'impacte amb l'arc plantar del peu. Hasegawa et al.¹¹ reportaren que el percentatge d'impacte amb el retropeu augmenta a mesura que disminueix la velocitat i s'incrementa l'impacte de l'arc plantar del peu a mesura que augmenta la velocitat. Per tant, sembla que la velocitat de la cursa està relacionada amb el patró de petjada.

Per tal de reduir el risc de lesions, el cos del corredor produeix canvis en la cinemàtica de l'extremitat inferior. La reducció de la longitud de la gambada és un exemple d'una alteració de la cursa per reduir la fractura d'estrès de

la tibia o deformació dels ossos¹². Altres estudis anteriors sobre la carrera descalça^{1,3,13,14} obtingueren dades cinemàtiques com la longitud de la gambada curta o augment de la freqüència de gambada. A més, la cursa descalça redueix el temps de vol i produeix una força màxima menor i una preactivació del tríceps sural més elevada que en la cursa calçada¹⁵. A més, Squadroni i Gallozzi³ trobaren diferències en el temps de contacte entre la condició calçada i la descalça.

Bosco i Rusko¹⁶ observaren un canvi significatiu en els paràmetres de temps en usar calçat flexible en comparació amb el calçat normal de córrer. Estudis previs sobre la cursa descalça^{1,3,13,14} obtingueren les dades cinemàtiques de la longitud de la gambada curta en front de la freqüència de gambada.

Alguns autors, com Lohman et al.¹⁷, han descrit els canvis cinemàtics que es produeixen a les extremitats inferiors en condició de descalços. La relació de les variables cinemàtiques s'estudià en una cinta de córrer a 8,0 mph en condició de descalços¹³, però no ofereix el nivell d'exigència que suposa per als participants, ja que el nivell competitiu exigint a cada un dels participants era molt diferent. Altres autors, com Youngren¹⁸, han examinat les diferències cinemàtiques en la velocitat autoseleccionada de corredors calçats. Tanmateix, no s'ha fet un estudi detallat que combini totes les condicions de les articulacions dels estudis descrits anteriorment, amb la comparació de les variables espaciotemporals en condició de calçat/descalç estudiada a diferents ritmes de velocitat confortable o exigent seleccionats per ells mateixos.

Estudis sobre la cursa descalça mostren sistemàticament un augment de la flexió del genoll en el contacte inicial

amb el terra^{1,3,19} i l'extensió del genoll comença relativament aviat^{20,21}. Edwards et al.¹² empraren un sistema informatitzat per indicar que el risc de fractura d'estrès podria disminuir en disminuir la longitud de la gambada, i així es podia reduir el risc de fractura per estrès de la tibia o deformació dels ossos. Altres alteracions, com una flexió del genoll major, podrien ser adaptacions biomecàniques a l'autoprotecció i disminució de les forces d'impacte excessives, de manera que l'aterratge amb una flexió plantar major i una flexió del genoll podria reduir els pics d'impacte verticals i els índexs de càrrega en corredors descalços habituals^{3,6}.

Tenint en compte la informació anterior, calen més recerques que determinin els canvis cinemàtics en corredors de resistència habitualment calçats, i com les diferents velocitats de la cursa –p. ex., quan els atletes corren a una velocitat confortable (VC) o a una velocitat exigent (VE)– poden afectar aquestes variables.

Material i mètodes

Subjectes

Aquest estudi observacional es realitzà en col·laboració amb seixanta corredors sans, voluntaris, habitualment calçats, de tres clubs d'atletisme d'Espanya (edat = 35,6 ± 11,7 anys; alçada = 168,7 ± 25,9 cm; pes = 66,3 ± 10,5 kg).

Cada participant firmà un consentiment informat per participar a l'estudi. L'estudi es realitzà d'acord amb els estàndards de la Declaració d'Hèlsinki (versió 2008) i seguí les directrius de Bona Pràctica Clínica de la Comunitat Europea (111/3976/88 de juliol de 1990), així com el marc legal espanyol sobre la investigació clínica en sers humans en assaigs clínics (Real Decreto 561/1993). El comitè de bioètica de la Universidad de Jaén (Espanya) aprovà el consentiment informat i l'estudi.

Els criteris d'inclusió foren: a) tots els participants eren habitualment corredors calçats sense experiència en córrer descalç; b) cap d'ells no havia sofert una lesió o dolor significatiu els 3 mesos anteriors a l'estudi; c) tots tenien un nivell mínim de rendiment verificable (p. ex., tots havien participat en campionats regionals o nacionals d'atletisme), i d) havien estat entrenant durant al menys 4 anys, cinc o sis vegades a la setmana, amb al menys 40 km com-

plets cada setmana. A més els participants foren exclosos de l'estudi si tenien algun cas d'ortosi de peus. A la taula 1 es presenta més informació sobre les característiques dels participants i els seus antecedents d'entrenament.

Procediment

Es registraren vídeos des d'una vista lateral utilitzant dues càmeres a una velocitat de 240 Hz (Casio Exilim EXZR-10, Dover, NJ, EUA). Es col·locaren dues càmeres a 2 m de distància del corredor i perpendiculars a cada costat de la cinta de córrer a nivell de terra, sense cap grau d'inclinació. Es marcà exactament on es col·locaren les càmeres.

En aquest experiment es demanà als participants que correguessin amb les pròpies sabatilles a una velocitat confortable i a una velocitat exigent, escollida per ells mateixos, la qual cosa s'ha demostrat que millora la capacitat de repetició de les variables cinemàtiques²². Abans de la gravació es col·locaren marcadors al cap del primer metatarsià, al punt del trocànter medial, al punt medial de la ròtula i al mal·lèol extern del turmell. Després, els subjectes tenien 8 min d'escalfament i habituació a la cinta de córrer (Salter E-Line PT-320, Salter International, Barcelona, Espanya) i després augmentaren progressivament la velocitat de la cinta, fins a assolir la velocitat de pas autoseleccionada VC o VE. Se escollí un període de 8 min perquè estudis previs sobre la locomoció humana han demostrat que els canvis majors en l'adaptació a un nou estat s'esdevenen en aquest període de temps^{15,23}. Després del 8 min d'escalfament, hi hagué 1 min de gravació per recollir les dades. S'analitzaren quatre gambades de cada corredor en totes les situacions (calçat/descalç; VC/VE). S'indicà als participants que havien de córrer (sense aturar-se) a una velocitat estable en cada situació. Quan els participants havien confirmat la seva velocitat de cursa, l'investigador registrava la velocitat de la cinta visualitzada a la pantalla. Una vegada enregistrada la cursa, la cinta s'aturava i el participant havia de canviar a una situació de calçat o descalç, depenent del què ja havia fet el corredor. A continuació, el protocol començava novament, aquesta vegada en l'altra situació. L'ordre de les situacions fou aleatori, de manera que unes vegades els atletes començaven la prova calçats i les altres descalços, i en resultà el mateix nombre de calçats i descalços.

Es visualitzaren dades de vídeo amb un editor de vídeo (VideoSpeed v. 1.38, ErgoSport, Granada, Espanya). S'empraren tècniques de fotogrametria (2D). Els punts anatòmics seleccionats amb els marcadors per a l'estudi se seguiren de forma manual en el programa 2D.

D'acord amb estudis previs^{1,3}, les variables examinades foren: 1) flexió plantar del peu, com l'angle format per la planta del peu (el cap del cinquè metatarsià i el punt de recolzament del taló) i pla horitzontal; 2) flexió del genoll (l'angle format pel punt medial del trocànter, el punt medial de la ròtula i el mal·lèol extern del genoll) en el primer contacte del peu amb el terra en la fase d'aterratge i al darrer contacte del peu amb el terra en la fase d'enlairament (fig. 1); 3) temps total de contacte (temps en què el peu està en contacte amb el terra), dividit en tres moments diferents (fase d'aterratge, fase de recolzament i fase d'enlairament); 4) temps de vol (temps en què no hi ha contacte amb el terra); 5) durada de la gambada (temps total

Taula 1. Característiques demogràfiques i historial d'entrenament dels participants

| | Mitjana (DE); n = 60 |
|--------------------------|----------------------|
| Edat (anys) | 35,64 ± 11,67 |
| Alçada | 168,7 ± 25,9 |
| Pes | 66,3 ± 10,5 |
| IMC (kg/m ²) | 22,93 ± 2,43 |
| Kilòmetres per setmana | 60,18 ± 20,41 |
| Sessions per setmana | 5,47 ± 1,29 |
| Competicions per any | 13,08 ± 10,50 |

DE: desviació estàndard; IMC: índex de massa corporal.



Figura 1. Variables cinemàtiques.

de moviment dels membres inferiors incloent-hi la fase de vol i la fase de contacte); 6) temps de petjada (temps total d'un únic membre inferior, inclosa la fase de vol i la fase de contacte), i 7) cadència (nombre de passes en un minut).

Anàlisi de les dades

Abans de l'anàlisi estadística es comprovà la normalitat de les dades (prova de Kolmogorov-Smirnov). L'estadística descriptiva es presenta com a mitjana, desviació estàndard, freqüència i percentatge. Per analitzar les diferències entre calçats i descalços i l'efecte de la velocitat de la cursa, s'utilitzaren la prova t d'Student i la prova de Wilcoxon. Es realitzaren correlacions de Pearson entre les variables. Per a l'anàlisi s'utilitzà la mitjana dels dos peus (gambada esquerra i dreta). S'establí el nivell de significació en $p < 0,05$. L'anàlisi de dades es realitzà amb SPSS (versió 21, SPSS Inc., Chicago, IL, EUA).

Resultats

Variabls temporals

Els resultats es mostren a la taula 2. En VC/VE, en condicions de calçats els corredors es prengueren més temps en la fase d'aterratge ($p < 0,001$). En la fase de recolzament es van trobar diferències significatives entre calçats i descalços en VE ($p < 0,01$) que fou major en condició de calçats. En referència als valors del temps total de contacte es trobaren més alts en condicions de calçat en cursa VE ($p < 0,001$). En condicions de descalç, els atletes tingueren un temps de vol menor que en condicions de calçats ($p < 0,05$) en VC i VE; per tant, la durada i els temps de la gambada foren menors ($p < 0,001$). Finalment, la freqüència de la gambada també es veié afectada, amb més gambades en condicions de descalços ($p < 0,001$) durant VC i VE. Es trobaren diferències significatives en la resta de les variables estudiades (temps de contacte, $p < 0,001$; fase de vol, $p < 0,001$; durada de la gambada, $p < 0,001$) en comparar VC i VE en ambdues condicions, calçat i descalç ($p < 0,001$). A més, les tres fases de temps total de la prova de contacte

(fase d'aterratge descalç [$p = 0,021$], fase d'aterratge calçat [$p = 0,006$], fase de recolzament [$p < 0,001$] i fase de enlairament [$p < 0,001$]) foren significatives tant en gambades com en condicions.

Variabls cinemàtiques

La taula 3 mostra els resultats de les variables cinemàtiques. La flexió dorsal del turmell en ambdues gambades en la fase d'aterratge fou significativament menor en condicions de descalços (VC, $p < 0,05$; VE, $p < 0,001$), i només en condicions de descalços la flexió dorsal del turmell fou major en VC en comparació amb VE ($p < 0,001$). A més, hi hagué diferències significatives en la flexió del genoll en el peu de contacte inicial entre les condicions de calçats i descalços en VE ($p = 0,036$), essent major en condició de descalç. Per altra banda, la flexió del genoll s'incrementà a VC i VE en ambdues condicions ($p < 0,001$). A la fase d'enlairament la flexió del genoll fou menor en condició de descalç que en les de calçat ($p = 0,002$) en VE. A més, es trobà disminució de la flexió del genoll ($p < 0,001$) en VC comparada amb VE en condició de calçat.

La flexió dorsal del turmell es relaciona positivament amb la flexió del genoll en la fase d'enlairament en VC en condició de descalç ($r = 0,254$, $p < 0,05$) i de calçat ($r = 0,267$, $p < 0,05$), i VE en condició de descalç ($r = 0,430$, $p < 0,01$) i en condició de calçat ($r = 0,355$, $p < 0,01$). Per altra banda, la dorsiflexió del turmell es relaciona positivament amb el temps de contacte en VE ($r = 0,265$, $p < 0,05$) en condició calçat/descalç.

Discussió

Per tal de comprendre millor els canvis dels membres inferiors entre cursa calçada i descalça s'estudiaren les variables temporals i la cinemàtica de VC o VE. Com s'ha plantejat a la hipòtesi, es trobaren diferències significatives entre condicions de calçat i descalç en VC i VE en el pla sagital, que mostra que s'observen canvis aguts en la cinemàtica de les extremitats inferiors en corredors habitualment calçats no acostumats a la carrera descalça. En la cursa descalça,

Taula 2. Resultat de les variables temporals a diferents ritmes en ambdues condicions descalç i calçat

| | VC, mitjana (DE) | VE, mitjana (DE) | p |
|--|------------------|------------------|--------|
| <i>Fase d'aterratge (s)</i> | | | |
| Descalç | 0,035 (0,011) | 0,032 (0,009) | 0,021 |
| Calçat | 0,044 (0,011) | 0,040 (0,009) | 0,006 |
| p | <0,001 | <0,001 | |
| <i>Fase de recolzament (s)</i> | | | |
| Descalç | 0,105 (0,018) | 0,080 (0,014) | <0,001 |
| Calçat | 0,104 (0,021) | 0,085 (0,015) | <0,001 |
| p | 0,891 | 0,010 | |
| <i>Fase d'enlairament (s)</i> | | | |
| Descalç | 0,132 (0,019) | 0,106 (0,013) | <0,001 |
| Calçat | 0,127 (0,016) | 0,105 (0,012) | <0,001 |
| p | 0,063 | 0,612 | |
| <i>Temps de contacte (s)</i> | | | |
| Descalç | 0,271 (0,028) | 0,218 (0,019) | <0,001 |
| Calçat | 0,275 (0,027) | 0,230 (0,022) | <0,001 |
| p | 0,253 | <0,001 | |
| <i>Temps de vol (s)</i> | | | |
| Descalç | 0,078 (0,031) | 0,100 (0,026) | <0,001 |
| Calçat | 0,083 (0,028) | 0,106 (0,026) | <0,001 |
| p | 0,042 | 0,022 | |
| <i>Durada de la gambada (s)</i> | | | |
| Descalç | 0,696 (0,037) | 0,640 (0,043) | <0,001 |
| Calçat | 0,717 (0,043) | 0,674 (0,037) | <0,001 |
| p | <0,001 | <0,001 | |
| <i>Temps de pas (s)</i> | | | |
| Descalç | 0,348 (0,018) | 0,320 (0,021) | <0,001 |
| Calçat | 0,359 (0,021) | 0,337 (0,018) | <0,001 |
| p | <0,001 | <0,001 | |
| <i>Freqüència de la gambada (gambada min⁻¹)</i> | | | |
| Descalç | 86,46 (4,89) | 94,14 (6,27) | <0,001 |
| Calçat | 84,93(5,30) | 89,33 (5,10) | <0,001 |
| p | <0,001 | <0,001 | |

DE, desviació estàndard; VC: velocitat confortable; VE: velocitat exigent.

la durada de la gambada, temps de vol, temps de contacte (en VE) i temps de gambada foren significativament menors, i la freqüència de la gambada fou significativament major que en la condició de calçat. A més, la flexió del genoll durant el contacte inicial i la fase d'enlairament fou significativament menor que en condició calçada en VE, així com la flexió dorsal del turmell en VC i VE.

El temps de vol fou més curt en condició descalça, tant en VC com en VE. Un augment del temps de vol en la condició calçada podria ser atribuïble a la sola de la sabatilla que proporciona alta propulsió en l'enlairament, augmentant la fase de vol de la gambada³. Per altra banda, el temps de contacte fou més curt en la condició descalça en VE. A més, McCallion et al.²⁴ mostraren temps de contacte inferiors en condició descalça en comparació amb la calçada i en condicions minimalistes, tant en VC com en VE. Schutte et al.²⁵ mostraren resultats similars. Els resultats globals, tant en VC com en VE, en el temps de contacte foren similars als resultats d'Squadrone i Gallozzi³ en condició calçada/descalça.

Taula 3. Resultat de les variables cinemàtiques a diferents ritmes en ambdues condicions descalç i calçat

| | VC, mitjana (DE) | VE, mitjana (DE) | p |
|---|------------------|------------------|--------|
| <i>Dorsiflexió del turmell (graus)</i> | | | |
| Descalç | 10,51 (10,45) | 5,56 (9,05) | <0,001 |
| Calçat | 13,40 (11,13) | 14,00 (8,66) | 0,458 |
| p | 0,007 | <0,001 | |
| <i>Flexió del genoll, primera gambada (graus)</i> | | | |
| Descalç | 167,40 (3,71) | 162,84(4,02) | <0,001 |
| Calçat | 166,53 (4,37) | 164,18 (4,75) | <0,001 |
| p | 0,101 | 0,036 | |
| <i>Flexió del genoll, aterratge (graus)</i> | | | |
| Descalç | 164,41 (8,12) | 165,17 (5,99) | 0,465 |
| Calçat | 163,57 (7,55) | 166,77 (5,09) | <0,001 |
| p | 0,278 | 0,002 | |

DE: desviació estàndard; VC: velocitat confortable; VE: velocitat exigent.

Es detectà un efecte significatiu de la velocitat de cursa en el temps de contacte, amb temps de contacte significativament més llargs en VC respecte a VE en condició calçada/descalça. Aquests resultats concorden amb els de l'estudi de McCallion et al.²⁴.

La durada de la gambada en condició calçat fou significativament major que en condició descalç en VC i VE, la qual cosa és similar als resultats obtinguts per McCallion et al.²⁴. A més hi hagué un efecte significatiu de la velocitat de cursa en la durada de la gambada en VC, que fou significativament major que VE en ambdues condicions, calçats/descalços. La freqüència de la gambada fou major en la condició de descalç en VC i VE, d'acord amb els resultats de De Wit et al.¹. Igualment McCallion et al.²⁴ van trobar una freqüència de gambada major en condició descalça en comparació amb les condicions minimalistes i calçades en VC i VE; els resultats obtinguts de la freqüència de gambada en condició descalça foren similars als d'aquest estudi en VC. Thompson et al.²⁶ trobaren que la cursa descalça produeix una disminució de la longitud de la gambada, cosa que podria provocar forces de reacció del sòl inferiors i en el pla sagital moment de força de l'articulació. A més, la longitud de la gambada s'associà a la cursa descalça i es considera una eina per reduir el risc de lesió.

En relació amb la flexió dorsal del turmell en la fase d'aterratge, es trobaren diferències significatives en la condició calçada/descalça en VC i VE. Tanmateix, es produeix una flexió dorsal del turmell significativa en condició descalça (2,89-8,77° menys que calçada). Resultats similars foren presentats per Lieberman et al.⁶, que van mostrar reduccions de dorsiflexió aproximadament de 7-10° en corredors habitualment calçats, en passar de calçats a descalços. Resultats similars foren mostrats per Schutte et al.²⁵. Amb un augment de la velocitat (VC a VE) s'esdevenia una reducció significativa en la dorsiflexió del turmell en condició descalça, pròxima a l'arc plantar del peu. Aquesta tendència vers l'impacte de l'arc plantar del peu en la cursa descalça redueix el temps de vol i provoca una força màxima menor i major preactivació del tríceps sural que en la cursa calçada¹⁵. Es creu que l'impacte de l'arc plantar del

peu és una forma potencial de disminuir l'impacte²⁷. De manera similar als resultats d'aquest estudi, Squadrone i Gallozzi³ destacaren aquesta mateixa troballa, que provoca una reducció de les forces de l'impacte, menor temps de contacte i augment de la freqüència de la gambada. En una revisió recent, Hall et al.²⁸ mostren evidències moderades referents a que la cursa descalça està associada amb el pic reduït de força de reacció del sòl, augment de la flexió plantar del turmell i augment de la flexió del genoll en contacte amb el terra en comparació amb la cursa amb calçat neutre.

La majoria d'anàlisi de curses descalces han reportat un augment de la flexió plantar del turmell en el contacte inicial amb els peus descalços, que pot ser degut als canvis de les diferents maneres d'impactar el peu^{1,3,19,29}. Lieberman et al.⁶ estudiaren atletes habitualment calçats i habitualment descalços i suggeriren que els corredors descalços adoptaren una col·locació dels peus més plana en el contacte inicial. De Wit et al.¹ informaren que aquesta col·locació dels peus més plans era provocada per una flexió plantar significativament major i una posició significativament més vertical de la cama en el contacte inicial, essent causat aquest darrer efecte per un augment de la flexió del genoll. Alguns investigadors suggereixen que els canvis en la flexió dorsal del turmell estan en funció de l'altura del tacó de la sabatilla amortida moderna²⁵; tanmateix, Hamill et al.³⁰ compararen les característiques de l'impacte de la cursa calçada amb plantilla de diferents espessors amb una cursa descalça i arribaren a la conclusió que el canvi de les característiques de l'impacte és conseqüència del canvi de patró de petjada per comptes del gruix de la plantilla.

La flexió del genoll en l'aterratge en VC en la condició calçada mostrà una flexió significativament major, que fou revertida en condicions de peus descalços en VE. De Wit et al.¹ observaren, de manera semblant a aquest estudi, una extensió del genoll menor en condicions descalços a tres velocitats diferents, cosa que mostra l'efecte de la velocitat en la reducció de l'extensió del genoll en l'aterratge en condicions calçats/descalços. Igualment, Schutte et al.²⁵ mostraren una flexió major del genoll en l'aterratge en condició descalça. Squadrone i Gallozzi³ destaquen una disminució de l'extensió del genoll en l'aterratge en condició descalça en comparació amb el calçat minimalista i en condició de calçats, tot i que aquesta disminució no fou estadísticament significativa ($p \geq 0,05$). En conseqüència, l'aterratge amb menys flexió dorsal del turmell i major flexió del genoll causa disminució dels pics d'impacte vertical i velocitats de càrrega en els corredors descalços^{3,6}. Com s'ha dit anteriorment, Squadrone i Gallozzi³ mostraren un augment de la freqüència de la gambada, temps de contacte inferior, temps de vol inferior, major flexió del genoll i menor flexió dorsal del turmell en l'aterratge en condició descalça. Aquesta condició cinemàtica es relaciona amb una força vertical màxima més baixa en l'aterratge. L'augment de les característiques d'impacte sovint és citat com a causa de lesions de la cursa^{27,30,31} i els resultats cinemàtics d'aquest estudi podrien ser d'interès en l'anàlisi de la prevenció de lesions. Sinclair³² mostrà que descalç i descalç inspirat en calçat (calçat minimalista) s'associà a reduccions significatives en els paràmetres cinètics de la ròtula femoral. Tanmateix, la cinètica del turmell indica que des-

calç i calçat inspirat en descalç s'associa a un augment significatiu de la força del tendó d'Aquil·les en comparació amb el calçat convencional. Per tant, descalç i calçat inspirat en descalç pot servir per reduir la incidència de lesions de genoll en els corredors, tot i que els corresponents increments de la càrrega del tendó d'Aquil·les poden provocar un risc de lesió d'aquest tendó.

Degut a què els humans evolucionaren per córrer descalços, un estil de cursa descalça que minimitza els pics d'impacte i proporciona un augment de la propiocepció i la força del peu se suposa que ajuda a evitar les lesions, independentment de si les sabatilles estan desgastades o no³¹. Tanmateix, en una revisió recent Tam et al.³³ indicaren que una àrea inexplorada de la teoria de córrer descalç és el procés en el qual es produeixen adaptacions biomecàniques, i si aquestes són universalment conegudes.

Els canvis aguts produïts en la cursa poden entrenar-se i requereixen una adaptació als canvis de l'activació neuromuscular inferior de la cama, per tal de facilitar la flexió plantar abans de l'impacte. Per exemple, es produeix una activació major del tríceps sural, i això pot contribuir a una reducció posterior de les forces d'impacte i la reducció de l'estès mecànic durant la cursa¹⁵. Les adaptacions mecàniques també poden contribuir a millorar l'emmagatzemament i recuperació de l'energia elàstica del turmell en la cursa descalça. Els músculs flexors sostenen la tensió més temps i són menys eficients, cosa que augmenta la possibilitat de fatiga. A més, córrer descalç produeix una flexió del genoll superior en l'impacte del peu, l'activitat muscular de la cuixa també pot ser major.

Per tant, durant la transició a la cursa descalça els atletes poden tenir un risc major de patir lesions musculars a causa de l'estrès o la fatiga. Això és útil per estabilitzar de manera dinàmica les articulacions de les extremitats inferiors. Per aquesta raó, per evitar possibles efectes adversos en la transició de la cursa calçada o descalça, com les fractures per estrès dels metatarsians³⁴, es recomana un període de transició gradual. Robbins y Hanna³⁵ suggeriren que l'adaptació a córrer descalç requereix un temps raonable de diverses setmanes per millorar la musculatura, necessària per minimitzar els riscos de lesions, per modificar l'activació de la musculatura específica i nous models cinemàtics.

Una limitació d'aquest estudi fou el tema de la precisió en l'ús d'anàlisi de vídeo 2D per determinar les variables analitzades, mentre que la fortlesa es basa en el gran nombre de subjectes participants i l'anàlisi de les variables d'espai i temps a dues velocitats de cursa diferents en condicions de calçats/descalços. Per tant, aquest estudi proporciona nova informació sobre el debat ja obert entre partidaris i detractors de la cursa descalç. Així doncs, aquest estudi ajudarà a tenir un millor coneixement sobre aquesta tendència creixent.

Conclusions

Per tal de tenir millor coneixement dels canvis en la cinemàtica de les extremitats inferiors entre la condició calçada i la descalça, aquest estudi reforça la declaració que es produeixen canvis aguts en les variables temporals i cinemàtiques entre la condició calçada i la descalça en els cor-

redors habitualment calçats. Pel que fa a la cursa descalça, la durada de la gambada, el temps de vol, el temps de contacte i el temps de petjada són significativament més baixos i més curts, i la freqüència de gambada significativament major, que en la condició de calçats. Quan la velocitat s'incrementa en condició descalça, disminueixen significativament les variables de temps en ambdues velocitats confortable i exigent. En conseqüència, la gambada i el cicle de la marxa foren significativament més ràpids i per tant produeixen una freqüència de gambada major. Calen més estudis per reconèixer l'eficàcia dels programes d'entrenament descalç sobre les variables temporals i la cinemàtica de les extremitats inferiors en corredors de resistència.

Conflicte d'interessos

Els autors declaren que no tenen cap conflicte d'interessos.

Bibliografia

- De Wit B, De Clercq D, Aerts P. Biomechanical analysis of the stance phase during barefoot and shod running. *J Biomech.* 2000;33:269-78.
- Larson P, Higgins E, Kaminski J, Decker T, Preble J, Lyons D, et al. Foot strike patterns of recreational and sub-elite runners in a long-distance road race. *J Sports Sci.* 2011;29:1665-73.
- Squadrone R, Gallozzi C. Biomechanical and physiological comparison of barefoot and two shod conditions in experienced barefoot runners. *J Sports Med Phys Fit.* 2009;49:6-13.
- Van Gent BR, Siem DD, van Middelkoop M, van Os TA, Bierma-Zeinstra SS, Koes BB. Incidence and determinants of lower extremity running injuries in long distance runners: A systematic review. *Br J Sports Med.* 2007;41:469-80.
- Hart PM, Smith DR. Preventing running injuries through barefoot activity. *J Phys Educ Recreat Dance.* 2008;79:50-3.
- Lieberman DE, Venkadesan M, Werbel WA, Daoud AI, d'Andrea S, Davis IS, et al. Foot strike patterns and collision forces in habitually barefoot versus shod runners. *Nature.* 2010;463:531-5.
- Robbins SE, Gouw GJ. Athletic footwear: Unsafe due to perceptual illusions. *Med Sci Sports Exerc.* 1991;23:217-24.
- Clarke TE, Frederick EC, Cooper LB. Effects of shoe cushioning upon ground reaction forces in running. *Int J Sports Med.* 1983;4:247-51.
- Stacoff A, Denoth J, Kaelin X, Stuessi E. Running injuries and shoe construction: Some possible relationships. *Int J Sport Biomech.* 1988;4:342-57.
- Stacoff A, Nigg BM, Reinschmidt C, van den Bogert AJ, Lundberg A. Tibiocalcaneal kinematics of barefoot versus shod running. *J Biomech.* 2000;33:1387-95.
- Hasegawa H, Yamauchi T, Kraemer WJ. Foot strike patterns of runners at the 15-km point during an elite-level half marathon. *J Strength Cond Res.* 2007;21:888-93.
- Edwards WB, Taylor D, Rudolph TJ, Gillette JC, Derrick TR. Effects of stride length and running mileage on a probabilistic stress fracture model. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41:2177-84.
- Divert C, Mornieux G, Freychat P, Baly L, Mayer F, Belli A. Barefoot-shod running differences: Shoe or mass effect? *Int J Sports Med.* 2008;29:512-8.
- Kerrigan DC, Franz JR, Keenan GS, Dicharry J, della Croce U, Wilder RP. The effect of running shoes on lower extremity joint torques. *Phys Med Rehabil.* 2009;1:1058-63.
- Divert C, Mornieux G, Baur H, Mayer F, Belli A. Mechanical comparison of barefoot and shod running. *Int J Sports Med.* 2005;26:593-8.
- Bosco C, Rusko H. The effect of prolonged skeletal muscle stretch-shortening cycle on recoil of elastic energy and on energy expenditure. *Acta Physiol Scand.* 1983;119:219-24.
- Lohman EB, Sackiriyas KSB, Swen RW. A comparison of the spatiotemporal parameters, kinematics, and biomechanics between shod, unshod, and minimally supported running as compared to walking. *Phys Ther Sport.* 2011;12:151-63.
- Youngren J. Improving stride mechanics. A: Beck K, editor. *Run Strong.* Campaign, IL: Human Kinetics Inc.; 2005. pp. 8-24.
- Bishop M, Fiolkowski P, Conrad B, Brunt D, Horodyski M. Athletic footwear, leg stiffness, and running kinematics. *J Athl Train.* 2006;41:387.
- De Koning JJ, Nigg BM. Kinematic factors affecting initial peak vertical ground reaction forces in running. *J Biomech.* 1994;27:673.
- De Wit B, de Clercq D. Differences in sagittal plane kinematics between barefoot and shod running. A: Proceedings of the second annual congress of the European College of Sport Science. 1997. pp. 790-1.
- Queen RM, Gross MT, Liu H. Repeatability of lower extremity kinetics and kinematics for standardized and self-selected running speeds. *Gait Posture.* 2006;2:282-7.
- Schieb DA. Kinematic accommodation of novice treadmill runners. *Res Q Exerc Sport.* 1986;57:1-7.
- 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.* 2014;13:280.
- Schutte KH, Miles KC, Venter RE, van Niekerk SM. Barefoot running causes acute changes in lower limb kinematics in habitually shod male runners. *S Afr J Res Sport Phys Educ Recreat.* 2013;35:153-64.
- Thompson MA, Gutmann A, Seegmiller J, McGowan CP. The effect of stride length on the dynamics of barefoot and shod running. *J Biomech.* 2014;47:2745-50.
- Giandolini M, Horvais N, Farges Y, Samozino P, Morin JB. Impact reduction through long-term intervention in recreational runners: Midfoot strike pattern versus low-drop/low-heel height footwear. *Eur J Appl Physiol.* 2013;113:2077-90.
- Hall JP, Barton C, Jones PR, Morrissey D. The biomechanical differences between barefoot and shod distance running: A systematic review and preliminary meta-analysis. *Sports Med.* 2013;43:1335-53.
- McNair PJ, Marshall RN. Landing characteristics in subjects with normal and anterior cruciate ligament deficient knee joints. *Arch Phys Med Rehabil.* 1994;75:584-9.
- Hamill J, Russell EM, Gruber AH, Miller R. Impact characteristics in shod and barefoot running. *Footwear Sci.* 2011;3:33-40.
- Lieberman DE. What we can learn about running from barefoot running: An evolutionary medical perspective. *Exerc Sport Sci Rev.* 2012;40:63-72.
- Sinclair J. Effects of barefoot and barefoot inspired footwear on knee and ankle loading during running. *Clin Biomech.* 2014;29:395-9.
- Tam N, Wilson JLA, Noakes TD, Tucker R. Barefoot running: An evaluation of current hypothesis, future research and clinical applications. *Br J Sports Med.* 2014;48:349-55.
- Giuliani J, Masini B, Alitz C, Owens BD. Barefoot-simulating footwear associated with metatarsal stress injury in 2 runners. *Orthopedics.* 2011;34:550.
- Robbins SE, Hanna AM. Running-related injury prevention through barefoot adaptations. *Med Sci Sports Exerc.* 1987;19:148-56.