



apunts

MEDICINA DE L'ESPORT

www.apunts.org



TREBALL ORIGINAL

Pot modificar-se la cinètica de la cursa amb un programa d'entrenament descalç?

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

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

Rebut el 12 d'agost de 2017; acceptat el 27 de novembre de 2017

PARAULES CLAU

Rendiment esportiu;
Articulacions;
Cursa;
Resistència;
Descalç

Resum

Introducció: Hi ha escassa informació sobre els programes de la transició de córrer calçat a descalç, i aquest estudi vol ajudar a augmentar el coneixement d'aquesta tendència que va en augment. Per tant, l'objectiu d'aquest estudi fou determinar l'efecte d'un programa d'entrenament descalç, de 12 setmanes, sobre les variables cinètiques dels corredors de llarga distància.

Materials i mètode: Un total de 32 corredors de llarga distància, ben entrenats i habitualment calçats, foren distribuïts aleatòriament en un grup control i un grup experimental per dur a terme un programa d'entrenament per córrer descalç. Durant les proves prèvies i posteriors, tots els participants realitzaren les proves a velocitats de cursa, de recuperació i competitiva, autoseleccionades, amb calçat esportiu, en un cinta ergomètrica. Ambdues situacions es registraren amb un sistema de qualificació per vídeo de 240 Hz, i s'analitzaren mitjançant un programa d'edició de vídeo 2D amb tècniques fotogramètriques. Es mesurà el temps de contacte, la durada de la passa i la cadència, mitjançant l'anàlisi de la variància (ANOVA) de mesures repetides.

Resultats: A la prova posterior, només la durada de la fase d'aterratge a alta velocitat reflectí una diferència significativa, aconseguint el grup experimental un temps inferior al del grup control després del programa d'entrenament de córrer descalç ($0,032 \pm 0,007$ s enfront a $0,038 \pm 0,006$ s). En relació a les diferències entre grups, el grup control reflectí un increment en la durada de la fase de recolzament a velocitat baixa ($\Delta = 0,014$ s; $p = 0,024$) i una reducció del temps de vol a velocitat alta ($\Delta = -0,014$ s; $p = 0,034$). A més, el grup experimental assolí una reducció de la durada en la fase d'aterratge a velocitat alta ($\Delta = -0,008$ s; $p = 0,004$).

Conclusions: Un programa de córrer descalç de 12 setmanes modifica la durada de la fase d'aterratge a velocitat alta, que és més curta en els corredors de llarga distància. En canvi, els corredors que no realitzaren l'entrenament reflectiren un increment de la durada en la fase de recolzament a velocitat baixa.

© 2017 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.M. Jiménez).

KEYWORDS

Athletic performance;
Joints;
Running;
Resistance;
Unshod

Can running kinetics be modified using a barefoot training program?**Abstract**

Introduction: There is limited information about barefoot transition programs and this study will help to increase knowledge about this growing trend. The purpose of this study was, therefore, to determine the effect of a twelve-week barefoot training program on kinematic variables in long-distance runners.

Materials and methods: A total of 32 well-trained, habitually shod, long-distance runners, randomized in a control group and an experimental group who undertook a barefoot training program. At pre-test and post-test, all participants, wearing their usual sneakers, performed running tests at self-selected recovery and competitive running speeds on a treadmill. Both conditions were recorded with a 240 Hz video rate system and analyzed using a 2-D video editing program using photogrammetric techniques. Contact time, flight time, step duration and cadence were measured using an analysis of variance (ANOVA) with repeated measures was performed.

Results: In posttest, only the duration of landing phase at high speed showed significant difference, the experimental group achieved a shorter time than the control group after the barefoot training program (0.032 ± 0.007 s vs. 0.038 ± 0.006 s). In relation to within-group differences, the control group showed an increase of duration of stance phase at low speed ($\Delta = 0.014$ s, $P = .024$) and a reduction of flight time at high speed ($\Delta = -0.014$ s, $P = .034$). Moreover, the experimental group achieved a reduction of duration of landing phase at high speed ($\Delta = -0.008$ s, $P = .004$).

Conclusions: A twelve-week program of barefoot running changes the duration of the landing phase at high speed, being shorter in long-distance runners. In contrast, the runners who did not undertake the training showed an increase of duration of stance phase at low speed.

© 2017 FC Barcelona. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Introducció

Diversos autors suggereixen que córrer descalç habitualment pot evitar lesions relacionades amb l'impacte¹⁻³. Alguns estudis assenyalen que els humans han estat fets per córrer descalços, i aquest estil de cursa pot minimitzar els pics d'impacte i proporciona una major propiocepció i força als peus; també es planteja la hipòtesi que pot ajudar a evitar lesions⁴. Per tal de reduir el risc de lesions, el cos del corredor genera canvis en la cinemàtica de les extremitats inferiors. Diversos autors han mesurat el risc de lesió en els peus dels corredors, abans i després d'un període d'entrenament de transició de calçat tradicional a minimalista; els participants del grup d'entrenament mostraren increments significatius de l'edema de medul·la òssia en almenys un os després del període d'entrenament^{5,6}. A més, córrer descalç també s'associa a una gambada més curta, a una cadència de gambada més alta a velocitat de cursa tant alta com baixa^{7,8}, i en reduir la longitud de la gambada disminuí la probabilitat de fractura per estrès d'un 3 a un 6%⁵.

Estudis previs sobre córrer descalç especifiquen encara més els canvis cinemàtics, com ara la longitud de la passa més curta i la freqüència de la passa més àmplia, la fase d'aterratge més curta, el temps de contacte més curt, el temps de vol més curt i el temps de la passa més curt⁷⁻¹¹. Córrer descalç també està relacionat amb una cadència de gambada més alta, tant a velocitat de cursa alta com a ve-

locitat baixa^{7,8}. A més, córrer descalç redueix el temps de vol i causa un pic de força menor i una preactivació major del tríceps sural, que córrer calçat¹².

Un estudi recent assenyalava que una intervenció de sis setmanes de simulació d'entrenament descalç, amb calçat Vibram de cinc dits, s'associa amb una disminució significativa de les taxes de càrrega i les forces d'impacte¹³. Un altre estudi es pregunta sobre el procés en què s'esdevenen les adaptacions biomecàniques i si aquestes adaptacions poden ser apreses per tothom¹⁴. Encara s'ha de veure de quina manera l'entrenament basat en el córrer descalç pot modificar la cinemàtica de la cursa tradicional amb calçat. Hi ha molts aspectes relacionats amb la forma en què els esportistes adapten les variables cinemàtiques per córrer després d'entrenaments específics descalços, però encara no hi ha evidència dels efectes a llarg termini de córrer descalç pel que fa a la biomecànica o a conseqüències per a la salut¹⁵. Aquesta percepció podria millorar amb l'estudi de la diferència cinemàtica després d'un programa d'entrenament descalç (*barefoot training program* [BTP]) controlat i suficientment llarg.

Tenint en compte la informació anterior, vam plantejar la hipòtesi que les adaptacions neuromusculars de BTP podrien ser responsables del canvi en les variables cinemàtiques dels calçats en la postintervenció. Per tant, el propòsit d'aquest estudi és determinar si, després de la intervenció de 12 setmanes descalç, les variables esmentades es modifiquen fins i tot quan s'utilitza calçat per córrer.

Materials i mètode

Aquest estudi experimental es realitzà seguint la normativa de la Declaració d'Hèlsinki (versió de 2013) i les directrius de la Comunitat Europea per a una bona pràctica clínica (111/3976/88 de juliol de 1990), així com el marc jurídic espanyol per a la investigació clínica en humans (Reial Decret 561/1993 sobre assajos clínics). El consentiment informat i l'estudi foren aprovats pel Comitè de Bioètica de la Universitat de Jaén (Espanya).

Participants

Trenta-nou corredors entrenats del sud-est d'Espanya van participar voluntàriament en aquest estudi i foren assignats aleatòriament per simple mostreig aleatori al grup experimental (GE) i al grup de control (GC). Les característiques principals dels participants eren edat $35,64 \pm 11,67$ anys (mitjana \pm desviació estàndard); índex de massa corporal $22,93 \pm 2,43$ kg/m²; km per setmana $60,18 \pm 20,41$; sessions per setmana $5,47 \pm 1,29$, i competicions per any $13,08 \pm 10,50$. Només dos atletes del GE van abandonar el programa per malaltia. Sis persones del GC no van acabar, a causa de malaltia durant la intervenció (n = 1), o no van realitzar la prova posterior (n = 3) o les dades eren corrom-

pudes o il·legibles (n = 2). Es van excloure totes les dades dels atletes que van abandonar (fig. 1).

Els criteris d'inclusió foren: a) tots els participants eren corredors habitualment calçats (calçat amb amortiment); b) sense lesions significatives durant els últims tres mesos i sense dany o dolor que pogués interferir correctament el seguiment del protocol d'entrenament descalçat, i c) amb un nivell esportiu verificable mínim (poden haver participat al campionats d'atletisme regionals o nacionals en els últims quatre anys). Cada participant va signar un consentiment informat per participar en aquesta recerca.

Mesuraments

Es demanà als participants que no realitzessin un esforç físic fort les 72 h anteriors a la presa de dades del pretest i del posttest¹⁶. Es demanà als participants que correguessin de forma consistent a una velocitat còmoda de recuperació i de competició, escollida per ells mateixos, els 1.500 m de longitud¹⁷ per simular amb la major fidelitat possible la seva recuperació habitual i el ritme competitiu, i després van començar a córrer en una cinta de córrer (Salter E-Line PT-320, Salter International, Barcelona, Espanya). Quan els participants autoseleccionaren la velocitat de cursa, sembla que els calgueren menys intents abans de completar els

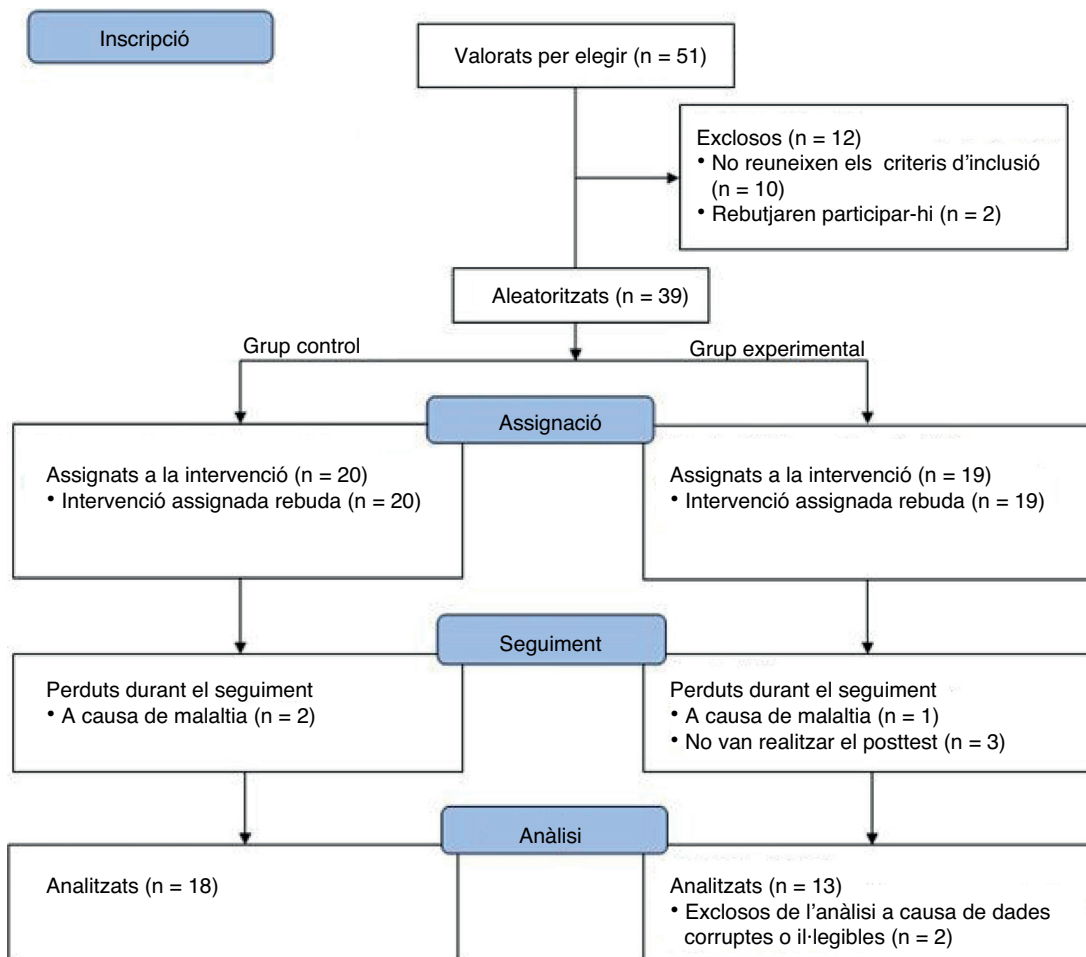


Figura 1 Progrés del diagrama de flux dels participants a l'estudi.

assaigs necessaris per recopilar les dades, en comparació amb quan els subjectes corrien a la velocitat estandarditzada seleccionada pels investigadors¹⁷. Ambdues velocitats de cursa es realitzaren amb el calçat d'entrenament habitual. Les gravacions dels atletes es van realitzar des del plànol sagital i posterior a una velocitat de càmeres de vídeo de 240 Hz (Casio Exilim EX-F1, Shibuya-ku, Tòquio 151-8543, Japó). Les càmeres es van col·locar a dos metres de la cinta a nivell del sòl. Es van col·locar unes marques a terra per indicar el punt exacte de les càmeres. Les dades de vídeo es van examinar mitjançant un programa d'edició de vídeo 2D (VideoSpeed vs. 1.38, ErgoSport, Granada, Espanya). Abans dels enregistraments, els esportistes van escalfar i es van habitar a la cinta i a la velocitat en cada situació durant uns 8 min. Es va escollir un període de 8 min perquè estudis previs sobre la locomoció humana han demostrat que l'habitució a una nova condició es produeix dins d'aquest període^{18,19}. S'informà els participants que havien de continuar corrent en cada prova sense aturades. Es permeté que els participants lliurement ajustessin la velocitat, amunt i avall, fins que trobessin la velocitat que coincidís amb la seva velocitat percebuda a terra, que s'ha demostrat que millora la repetibilitat de les variables cinemàtiques¹⁷. La velocitat s'incrementà de la velocitat de recuperació a la velocitat de competició. Es van mesurar vuit etapes de cada atleta en estat de velocitat alta i baixa. D'acord amb estudis anteriors, les variables estudiades foren: temps de contacte total (temps en què el peu està en contacte amb el sòl) dividit en tres moments diferents (fase d'aterratge, posició de recolzament, fase d'enlairament); temps de vol (temps en què no hi ha contacte amb el sòl); durada de la passa (temps total de moviment de les extremitats inferiors incloent-hi la fase de vol i la de contacte), i cadència (nombre de passes per minut)^{7,10,20}.

Procediments

D'acord amb Lieberman⁴, el BTP consistí en incloure progressivament a l'entrenament setmanal habitual del GE un

augment de temps de córrer descalç sobre una superfície de gespa (taula 1).

Durant les últimes setmanes es van afegir exercicis més intensos, com ara curses progressives. L'investigador principal va revisar la implementació del BTP i controlà el risc de mals i dolors importants. Abans de l'inici del protocol es va celebrar una reunió amb els atletes del GE per assessorar-los sobre l'entrenament i es van donar explicacions i respondre totes les preguntes. El GC només va realitzar l'entrenament diari normal. Es va informar els atletes del possible augment del risc de lesió a causa dels possibles canvis en el patró de la cursa i la gambada. S'aconsellà disminuir la intensitat de l'entrenament o fins i tot abandonar-lo, quan hi hagués dolor o lesió. Durant el BTP als participants no se'ls va permetre canviar de sabatilles.

Anàlisi estadística

Les dades van ser analitzades amb el programa estadístic SPSS de Windows, v.19.0 (SPSS Inc., Chicago, EUA) i el nivell de significació s'establí en $p < 0,05$. Les dades es mostren en estadístiques descriptives de mitjana i desviació estàndard (DE). Abans de les anàlisis es realitzaren els tests de distribució normal i homogeneïtat (Kolmogorov-Smirnov i Levene, respectivament) sobre totes les dades. Es realitzà una anàlisi de la variància (ANOVA) de mesures repetides entre pretest i posttest, en GE i GC, prenent com a variable dependent la condició experimental, i els paràmetres cinemàtics com a variables independents. Es realitzà el test t d'Student per determinar les diferències de velocitat.

Resultats

No hi ha diferències significatives entre grups en relació a la velocitat confortable (GE = $11,21 \pm 1,28$ km/h vs. GC = $10,97 \pm 1,20$ km/h, $p = 0,611$) i velocitat de competició (GE = $15,56 \pm 2,08$ km/h vs. GC = $15,45 \pm 1,67$ km/h, $p = 0,873$).

Taula 1 Protocol d'entrenament setmanal utilitzat durant l'estudi

Setmanes	Rutina d'exercicis setmanals del grup experimental
1-2	Entrenament diari normal +10' córrer descalç en el 50% de les sessions setmanals durant la tornada a la calma
3-4	Entrenament diari normal +10' córrer descalç en el 75% de les sessions setmanals durant la tornada a la calma
5-6	Entrenament diari normal +15' en 75% de les sessions setmanals durant la tornada a la calma
7-8	Entrenament diari normal +20' en 50% de les sessions setmanals durant la tornada a la calma +4 curses progressives 80 m al 90-95% esforç esprint
9-10	Entrenament diari normal +20' en 75% de les sessions setmanals durant la tornada a la calma +4 curses progressives de 80 m al 90-95% esforç esprint
11-12	Entrenament diari normal +40' cursa descalç una vegada per setmana a ritme de recuperació +20' en altres sessions setmanals durant la tornada a la calma

Taula 2 Resultat de les variables temporals

	Pretest. Mitjana (DE)	Posttest. Mitjana (DE)	Diferència post-pre	p	Interval de confiança del 95%
<i>Temps de la fase d'aterratge a velocitat baixa (s)</i>					
GC	0,046 (0,010)	0,040 (0,010)	-0,006	0,069	-0,013/0,001
GE	0,044 (0,014)	0,039 (0,011)	-0,005	0,065	-0,011/0,000
<i>Temps de la fase de recolzament a velocitat baixa (s)</i>					
GC	0,094 (0,022)	0,108 (0,010)	0,014	0,024	0,002/0,026
GE	0,098 (0,017)	0,104 (0,014)	0,007	0,212	-0,004/0,017
<i>Temps de la fase d'enlairament a velocitat baixa (s)</i>					
GC	0,129 (0,014)	0,131 (0,016)	0,002	0,772	-0,010/0,013
GE	0,130 (0,015)	0,129 (0,018)	-0,001	0,833	-0,011/0,009
<i>Temps de vol a velocitat baixa (s)</i>					
GC	0,085 (0,025)	0,072 (0,032)	-0,013	0,111	-0,029/0,003
GE	0,084 (0,027)	0,080 (0,028)	-0,004	0,548	-0,018/0,010
<i>Durada de la gambada a velocitat baixa (s)</i>					
GC	0,709 (0,046)	0,716 (0,039)	0,007	0,385	-0,010/0,025
GE	0,706 (0,034)	0,699 (0,037)	-0,007	0,373	-0,022/0,009
<i>Temps de la fase d'aterratge a velocitat alta (s)</i>					
GC	0,038 (0,007)	0,038 (0,006)	0,000	0,916	-0,006/0,005
GE	0,040 (0,009)	0,032 (0,007)*	-0,008	0,004	-0,012/-0,002
<i>Temps de la fase de recolzament a velocitat alta (s)</i>					
GC	0,080 (0,013)	0,084 (0,019)	0,004	0,389	-0,006/0,015
GE	0,080 (0,013)	0,080 (0,016)	0,000	0,923	-0,010/0,009
<i>Temps de la fase d'enlairament a velocitat alta (s)</i>					
GC	0,108 (0,010)	0,111 (0,011)	0,003	0,547	-0,007/0,012
GE	0,109 (0,013)	0,014 (0,017)	0,005	0,231	-0,003/0,013
<i>Temps de la fase de vol a velocitat alta (s)</i>					
GC	0,103 (0,026)	0,089 (0,029)	-0,014	0,034	-0,028/-0,001
GE	0,106 (0,022)	0,098 (0,028)	-0,008	0,194	-0,019/0,004
<i>Durada de la gambada a velocitat alta (s)</i>					
GC	0,681 (0,042)	0,663 (0,048)	-0,018	0,140	-0,042/0,006
GE	0,670 (0,033)	0,662 (0,045)	-0,008	0,478	-0,029/0,014
<i>Temps de contacte a velocitat baixa (s)</i>					
GC	0,271 (0,035)	0,262 (0,025)	-0,009	0,332	-0,027/0,009
GE	0,270 (0,025)	0,264 (0,029)	-0,006	0,477	-0,022/0,010
<i>Temps de contacte a velocitat alta (s)</i>					
GC	0,215 (0,023)	0,218 (0,029)	0,003	0,625	-0,011/0,017
GE	0,214 (0,020)	0,220 (0,034)	0,006	0,348	-0,007/0,018
<i>Cadència de passes/min a velocitat baixa</i>					
GC	85,047 (5,942)	84,051 (4,949)	-0,996	0,338	-3,084/1,092
GE	85,178 (4,215)	86,043 (4,576)	0,865	0,345	-0,977/2,706
<i>Cadència de passes/min a velocitat alta</i>					
GC	88,369 (5,707)	90,863 (6,530)	2,494	0,124	-0,723/5,711
GE	89,709 (4,419)	90,902 (6,008)	1,193	0,397	-1,644/4,031

* Diferències significatives ($p \leq 0,05$) entre GE i GC.

DE: desviació estàndard; GC: grup control; GE: grup experimental.

A la taula 2 es presenten els resultats del BTP. En el pretest no es van trobar diferències significatives en cap variable. En el posttest, només la durada de la fase d'aterratge a l'alta velocitat mostrà diferències significatives, GE assolí un temps més breu que GC després del BTP ($0,032 \pm 0,007$ s vs. $0,038 \pm 0,006$ s). En relació a les diferències dins el

grup, GC mostrà un increment en la fase de recolzament a baixa velocitat ($\Delta = 0,014$ s, $p = 0,024$) i una reducció del temps de vol a alta velocitat ($\Delta = -0,014$ s, $p = 0,034$). A més, GE assolí una reducció de la fase d'aterratge a alta velocitat ($\Delta = -0,008$ s, $p = 0,004$). No es presentaren altres diferències significatives després del BTP.

Discussió

El propòsit d'aquest estudi fou determinar els efectes de 12 setmanes de BTP en les variables cinemàtiques dels corredors de llarga distància. La principal troballa d'aquest estudi mostrà que 12 setmanes de BTP no alteren significativament les variables cinemàtiques dels corredors de llarga distància. Només GE assolí una reducció de la fase d'ateratge en la velocitat alta; no es trobaren altres diferències significatives després de BTP. Altres estudis tampoc no trobaren canvis en la força i la propiocepció després de 8 setmanes de BTP progressiu sobre superfície de gespa²¹ o canvis biomecànics, després d'un programa de vuit setmanes de córrer descalç introduït de manera progressiva²². De la mateixa manera, altres estudis mostraren que no es van trobar canvis biomecànics en el grup d'intervenció després de 8 setmanes de BTP progressiu¹⁴. Tanmateix, s'ha demostrat que una intervenció de 12 setmanes d'entrenament simulat i controlat de cursa descalç fou suficient per provocar canvis significatius en la cinemàtica de les extremitats inferiors, no només durant la cursa descalç, sinó també durant la cursa amb calçat normal amortidor²³. Aquests resultats controvertits indiquen que els futurs estudis s'haurien de plantejar l'aclariment dels dubtes sobre l'efecte del BTP sobre les variables cinemàtiques.

Els autors suggereixen que la manca d'efectes significatius en aquest estudi pot ser deguda a diversos punts: a) el calçat anul·la aquest efecte; b) insuficiència de la durada del BTP; c) insuficiència de la càrrega del programa d'entrenament; d) efecte de la superfície d'entrenament. Quan els atletes corren descalços, la duresa de la superfície per on corren causa una alteració del patró de trepitjada. En estudis previs, només el 20% dels participants corregueren amb un model de mediopeu o avantpeu sobre superfície tova, mentre que el 65% dels participants corrien amb patrons de mediopeu o d'avantpeu sobre superfície dura²⁴. La superfície emprada en aquest estudi fou la gespa, que pot ser un factor significatiu per no causar cap alteració en el patró de la cinemàtica del corredor.

Una àrea inexplorada de la teoria de córrer descalç és el procés pel qual es produeixen adaptacions biomecàniques i si aquestes són universalment conegudes¹⁴. Així, la cursa cinemàtica associada a la cursa descalça pot ser una habilitat que es pot entrenar i requereix un entrenament adaptatiu amb canvis en l'activació neuromuscular dels músculs del panxell per facilitar la flexió plantar abans d'impactar en el sòl. En aquest sentit, quan es produeixen suficients passes descalç en relació amb les passes calçat, es produeix una major activació prèvia dels músculs del tríceps sural, la qual cosa pot comportar una reducció del pic d'impacte i la disminució subsegüent de l'estrès mecànic durant la cursa^{12,13}.

A diferència d'estudis recents en què es relacionen nombrosos problemes amb una incidència major d'edema de medul·la òssia degut a protocols d'entrenament descalç i càrregues incontrolades, una troballa positiva d'aquest estudi pot ser la no detecció de problemes físics o lesions en atletes associats amb el disseny d'un programa d'entrenament descalç⁶. En general, cal una càrrega de treball suficient per provocar canvis en la cinemàtica de les extremitats inferiors i el disseny d'un protocol d'entrenament que no

causi danys. Respecte a la progressió correcta de la condició de calçat a descalç, un pas previ per a l'adaptació a la cursa descalça podria ser un calçat minimalista.

Finalment, cal tenir en compte algunes limitacions, com ara les tècniques 2D en l'anàlisi del vídeo. A més, és molt difícil saber quina quantitat d'entrenament descalç i quina intensitat ha executat cada subjecte. Caldria estandaritzar l'entrenament amb cautela per controlar el progrés i els problemes de cada atleta, ja que cada corredor progressa de manera diferent. A més, no s'han inclòs mesures de força que també seria interessant d'avaluar, atesa la seva relació amb el risc de lesió. Tanmateix, els punts forts del nostre estudi són que proporciona una nova informació sobre els protocols de transició de calçat a descalç i proporciona una nova visió sobre el debat ja obert sobre córrer descalç sense altres intervencions, com ara entrenament pliomètric o neuromuscular. Pel que sabem, hi ha informació limitada sobre els programes de transició a descalç i aquest estudi ajudarà a augmentar el coneixement sobre aquesta tendència en augment.

Conclusió

Tot i que cap esportista no va sofrir cap dany durant la intervenció de l'estudi de 12 setmanes de BTP, basat en l'adició d'un temps de córrer descalç al final de l'entrenament diari, no va ser suficient per provocar canvis crònics en la cinemàtica de les extremitats inferiors, només en la fase d'ateratge a alta velocitat (que fou més baixa). Els autors suggereixen que el calçat esportiu pot reduir els efectes crònics de córrer descalç. D'altra banda, és necessari augmentar el volum de càrrega de treball o córrer en superfícies més dures per produir canvis més crònics.

Conflicte d'interessos

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

Bibliografia

1. 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*. 2009;463:531-5.
2. Nigg B, Enders H. Barefoot running – some critical considerations. *Footwear Sci*. 2013;5:1-7.
3. 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.
4. Lieberman DE. What we can learn about running from barefoot running. *Exerc Sport Sci Rev*. 2012;40:63-72.
5. Brent Edwards W, Taylor D, Rudolphi TJ, Gillette JC, Derrick TR. Effects of running speed on a probabilistic stress fracture model. *Clin Biomech*. 2010;25:372-7.
6. Ridge ST, Johnson AW, Mitchell UH, Hunter I, Robinson E, Rich BSBS. Foot bone marrow edema after 10-week transition to minimalist running shoes. *Med Sci Sport Exerc*. 2013;45:1363-8.
7. 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.

8. Muñoz M, García F, Soto VM, Latorre-Román P. Effects of barefoot running and running requirement on lower-limb kinematics in habitually shod endurance runners. *Apunts Med Esport*. 2017;195:85-91.
9. 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.
10. Squadrone R, Gallozzi C. Biomechanical and physiological comparison of barefoot and two shod conditions in experienced barefoot runners. *J Sports Med Phys Fitness*. 2009;49:6-13.
11. Thompson M, Gutmann A, Seegmiller J. The effect of stride length on the dynamics of barefoot and shod running. *Gait Posture*. 2015;41:957-9.
12. 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.
13. Khowailed IA, Petrofsky J, Lohman E, Daher N. Six weeks habituation of simulated barefoot running induces neuromuscular adaptations and changes in foot strike patterns in female runners. *Med Sci Monit*. 2015;21:2021-30.
14. Tam N, Wilson J, Noakes T. Barefoot running: An evaluation of current hypothesis, future research and clinical applications. *Brit J Sports Med*. 2014;48:349-55.
15. Hollander K, Heidt C, van der Zwaard B, Braumann KM, Zech A. Long-term effects of habitual barefoot running and walking: A systematic review. *Med Sci Sports Exerc*. 2017;49:752-62.
16. García-Pinillos F, Soto-Hermoso VM, Latorre-Román PA. Acute effects of extended interval training on countermovement jump and handgrip strength performance in endurance athletes: Postactivation potentiation. *J Strength Cond Res*. 2015;29:11-21.
17. Queen RM, Gross MT, Liu HY. Repeatability of lower extremity kinetics and kinematics for standardized and self-selected running speeds. *Gait Posture*. 2006;23:282-7.
18. Lavcanska V, Taylor NF, Schache A. Familiarization to treadmill running in young unimpaired adults. *Hum Mov Sci*. 2005;24:544-57.
19. Schieb DA. Kinematic accommodation of novice treadmill runners. *Res Quart Exerc Sport*. 1986;57:1-7.
20. Latorre-Román PA, García Pinillos F, Bujalance-Moreno P, Soto-Hermoso VM. Acute effects of high-intensity intermittent training on kinematics and foot strike patterns in endurance runners. *J Sports Sci*. 2017;35:1247-54.
21. Mullen S, Cotton J, Bechtold M, Toby EB. Barefoot running: The effects of an 8-week barefoot training program. *Orthop J Sport Med*. 2014;2, 2325967114525582.
22. Tucker R, Wilson J. Individual responses to a barefoot running program insight into risk of injury. *Am J Sport Med*. 2016;44:777-84.
23. McCarthy C, Fleming N, Donne B. 12 weeks of simulated barefoot running changes foot-strike patterns in female runners. *Int J Sport Med*. 2014;35:443-50.
24. Gruber AH, Silvernail JF, Brueggemann P, Rohr E, Hamill J. Footfall patterns during barefoot running on harder and softer surfaces. *Footwear Sci*. 2013;5:39-44.