

ORIGINAL

¿Puede modificarse la cinética de la carrera con un programa de entrenamiento descalzista?

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, España

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

Recibido el 12 de agosto de 2017; aceptado el 27 de noviembre de 2017

PALABRAS CLAVE

Rendimiento deportivo;
Articulaciones;
Carrera;
Resistencia;
Descalzo

Resumen

Introducción: Existe escasa información sobre los programas de transición de correr calzado a descalzo, y este estudio quiere ayudar a aumentar el conocimiento sobre esta tendencia creciente. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue determinar el efecto de un programa de entrenamiento descalzista de 12 semanas sobre las variables cinéticas en corredores de larga distancia.

Material y método: Un total de 32 corredores de larga distancia, bien entrenados y habitualmente calzados, fueron distribuidos aleatoriamente en un grupo control y un grupo experimental para realizar un programa de entrenamiento para correr descalzo. Durante los pretest y postest todos los participantes realizaron las pruebas a una velocidad de carrera de recuperación y de competición autoseleccionadas, calzando zapatillas de deporte, en una cinta ergométrica. Ambas situaciones se registraron con un sistema de vídeo de 240 Hz, y se analizaron mediante un programa de edición de vídeo 2D con técnicas fotogramétricas. Se midió el tiempo de contacto, el tiempo de vuelo, la duración del paso y la cadencia, mediante el análisis de variancia (ANOVA) de medidas repetidas.

Resultados: En el postest, solo la duración de la fase de aterrizaje a alta velocidad reflejó una diferencia significativa tras el programa de entrenamiento descalzista ($0,032 \pm 0,007$ s versus $0,038 \pm 0,006$ s). En relación con las diferencias entre grupos, el grupo control mostró un incremento de la duración en la fase de apoyo a baja velocidad ($\Delta = 0,014$ s, $p = 0,024$) y una reducción del tiempo de vuelo a alta velocidad ($\Delta = -0,014$ s, $p = 0,034$). Además, el grupo experimental logró una reducción de la duración en la fase de aterrizaje a alta velocidad ($\Delta = -0,008$ s, $p = 0,004$).

Conclusiones: Un programa descalzista de 12 semanas modifica la duración de la fase de aterrizaje a alta velocidad, siendo más corta en los corredores de larga distancia. En cambio, los corredores que no realizaron el entrenamiento mostraron un incremento de la duración en la fase de apoyo a baja velocidad.

© 2017 FC Barcelona. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: 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.

Introducción

Algunos autores sugieren que correr descalzo habitualmente puede evitar lesiones relacionadas con el impacto¹⁻³. Algunos estudios señalan que los humanos han sido hechos para correr descalzos, y este estilo de carrera puede minimizar los picos de impacto y proporcionar una mejor propiocepción y fuerza en los pies; también se plantea la hipótesis que puede ayudar a evitar lesiones⁴. Para reducir el riesgo de lesiones, el cuerpo del corredor genera cambios en la cinemática de las extremidades inferiores. Distintos autores han cuantificado el riesgo de lesión de los pies de los corredores antes y después de un período de entrenamiento de transición, de calzado tradicional a minimalista; los participantes del grupo de entrenamiento mostraron incrementos significativos del edema de médula ósea en al menos un hueso tras un período de entrenamiento^{5,6}. Además, correr descalzo también se asocia a una zancada más corta, a una cadencia de zancada más alta, a una velocidad de carrera alta y baja^{7,8}, y al reducir la longitud de la zancada disminuyó la probabilidad de fractura por estrés de un 3 a un 6%⁵.

Estudios previos sobre correr descalzo especifican aún más los cambios cinemáticos, tales como longitud de la zancada más corta y mayor frecuencia de la zancada, una fase de aterrizaje más corta, tiempo de contacto más corto, tiempo de vuelo más corto y tiempo de paso más corto⁷⁻¹¹. Correr descalzo también está relacionado con una cadencia de zancada más alta, tanto a velocidad de carrera alta

como baja^{7,8}. Además, correr descalzo reduce el tiempo de vuelo y causa un pico de fuerza menor y una preactivación mayor del tríceps sural que correr calzado¹².

Un estudio reciente señala que una intervención de seis semanas de simulación de entrenamiento descalzo con calzado Vibram de cinco dedos se asocia a una disminución significativa de los índices de carga y las fuerzas de impacto¹³. Otro estudio cuestiona el proceso sobre el que acontecen las adaptaciones biomecánicas y si estas adaptaciones biomecánicas pueden ser aprendidas por todos¹⁴. Todavía está por ver de qué manera el entrenamiento basado en la carrera descalzista puede modificar la cinemática de la carrera tradicional con calzado. Existen muchos aspectos relacionados con la forma en que los deportistas adaptan las variables cinemáticas para correr después de entrenamientos específicos descalzos, pero todavía no existe evidencia de los efectos a largo plazo de correr descalzo por lo que se refiere a la biomecánica o a consecuencias para la salud¹⁵. Esta percepción podría mejorar con el estudio de la diferencia cinemática después de un programa de entrenamiento descalzista (*barefoot training program* [BTP]) controlado y suficientemente largo.

Teniendo en cuenta la información anterior, planteamos la hipótesis que las adaptaciones neuromusculares de BTP podrían ser responsables del cambio de las variables cinemáticas en situación de calzado en la postintervención. En consecuencia, el propósito de este estudio es determinar si, tras una intervención de 12 semanas descalzo, las variables

citadas se modifican incluso cuando se utiliza calzado para correr.

Material y métodos

Este estudio experimental se realizó siguiendo la normativa de la Declaración de Helsinki (versión de 2013) y las directrices de la Comunidad Europea para Buena Práctica Clínica (111/3976/88 de julio de 1990), así como el marco jurídico español para la investigación clínica en humanos (Real Decreto 561/1993 sobre ensayos clínicos). El consentimiento informado y el estudio fueron aprobados por el Comité de Bioética de la Universidad de Jaén (España).

Participantes

Treinta y nueve corredores calzados entrenados del sureste de España participaron voluntariamente en este estudio y se les asignó aleatoriamente por muestreo simple al grupo experimental (GE) y al grupo control (GC). Las principales características de los participantes fueron edad $35,64 \pm 11,67$ años (media \pm desviación estándar); índice de masa corporal $22,93 \pm 2,43$ kg/m²; km por semana $60,18 \pm 20,41$; sesiones por semana $5,47 \pm 1,29$, y compe-

ticiones por año $13,08 \pm 10,50$. Solo dos atletas del GE abandonaron el programa por enfermedad. En el GC seis personas no terminaron, a causa de enfermedad durante la intervención (n = 1), o no realizaron el postest (n = 3), o los datos se corrompieron o fueron ilegibles (n = 2). Todos los datos de los atletas que abandonaron se excluyeron (fig. 1).

Los criterios de inclusión fueron: a) todos los participantes eran corredores habitualmente calzados (calzado con amortiguación); a) sin lesiones significativas durante los últimos tres meses y sin daño o dolor que pudiera interferir el correcto seguimiento del protocolo de entrenamiento descalzista, y 3) con un nivel deportivo verificable mínimo (haber podido participar en campeonatos de atletismo regionales o nacionales en los últimos cuatro años). Cada participante firmó un consentimiento informado para participar en esta investigación.

Mediciones

Se pidió a los participantes que no realizaran un esfuerzo físico intenso las 72 h anteriores a la toma de datos del pretest y postest¹⁶. Se pidió a los participantes que corrieran, de forma regular, 1.500 m de longitud a una velocidad cómoda de recuperación y de competición seleccionada por

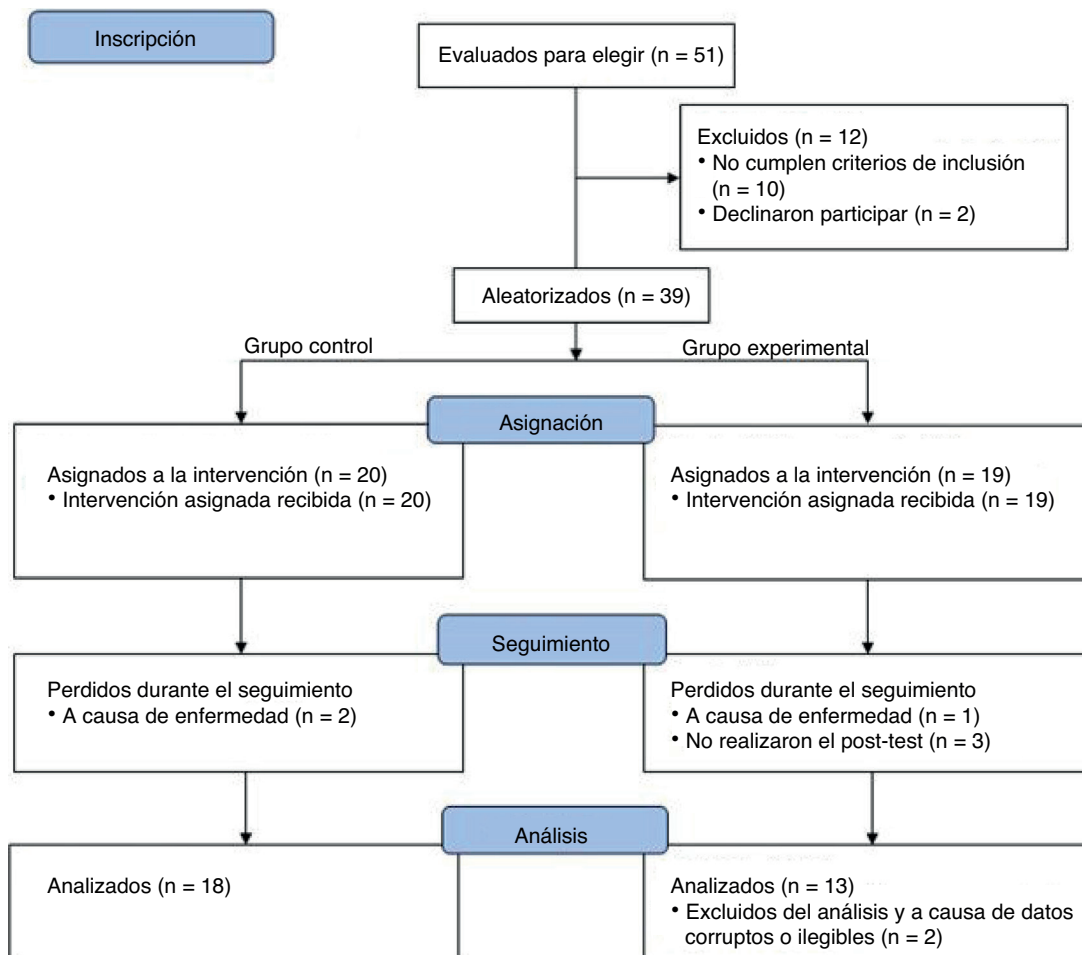


Figura 1 Progreso del diagrama de flujo de los participantes en el estudio.

ellos mismos¹⁷ para simular con la mayor fidelidad posible su recuperación habitual y el ritmo competitivo, y luego procedieron a correr en una cinta (Salter E-Line PT-320, Salter International, Barcelona, España). Cuando los participantes autoseleccionaron la velocidad para correr, parece que precisaron menos intentos antes de completar los ensayos necesarios para recopilar los datos, en comparación a cuando los sujetos corrían a la velocidad estandarizada seleccionada por los investigadores¹⁷. Ambas carreras de velocidad se llevaron a cabo con el calzado de entrenamiento habitual. Las grabaciones de los atletas se realizaron desde el plano sagital y posterior a una velocidad de cámara de vídeo 240 Hz (Casio Exilim EX-F1, Shibuya-ku, Tokio, 151-8543, Japón). Las cámaras se colocaron a dos metros de la cinta a nivel del suelo. Se colocaron unas marcas en el suelo para indicar el punto exacto de las cámaras. Los datos de vídeo se examinaron con un programa de edición de vídeo 2D (VideoSpeed vs. 1.38, ErgoSport, Granada, España). Antes de los registros los deportistas hicieron un calentamiento y se habituaron a la cinta y a la velocidad en cada situación durante unos 8 min. Se escogió un período de 8 min porque estudios previos sobre la locomoción humana han demostrado que la adaptación a una nueva situación se produce dentro de este período^{18,19}. Se informó a los participantes que debían seguir corriendo en cada prueba sin parar. Se permitió a los participantes que ajustaran libremente la velocidad mayor y menor hasta encontrar la velocidad que coincidiera con su velocidad percibida en el suelo, que se ha demostrado que mejora la repetibilidad de las variables cinemáticas¹⁷. La velocidad se incrementó desde la velocidad de recuperación a la velocidad de competición. Se midieron ocho pasos de cada atleta en estado de velocidad alta y baja.

En base a estudios anteriores, las variables estudiadas fueron: tiempo de contacto total (tiempo en que el pie está en contacto con el suelo) dividido en tres momentos diferentes (fase de aterrizaje, fase de apoyo, fase de despegue); tiempo de vuelo (tiempo en que no hay contacto con el suelo); duración de la zancada (tiempo total de movi-

miento de las extremidades inferiores, incluyendo la fase de vuelo y la fase de contacto), y cadencia (número de zancadas por minuto)^{7,10,20}.

Procedimientos

De acuerdo con Lieberman⁴, el BTP consistió en incluir progresivamente al entrenamiento semanal habitual del GE una cantidad en aumento de carrera descalza sobre una superficie de hierba (tabla 1). Durante las últimas semanas se añadieron ejercicios más intensos, como carreras progresivas. El investigador principal revisó la implementación del BTP y controló el riesgo de dolores y molestias importantes. Antes de iniciar el protocolo tuvo lugar una reunión de los atletas del GE para asesorarles sobre el entrenamiento, se les dieron explicaciones y se respondió a sus preguntas. El GC solo realizó el entrenamiento diario normal. Los atletas fueron informados del posible aumento del riesgo de lesión, debido a los posibles cambios del patrón de carrera y de pisada. Se les advirtió que disminuyeran la intensidad del entrenamiento o incluso que lo abandonaran cuando tuvieran dolor o lesión. Durante el BTP no se permitió a los participantes que cambiaran de zapatillas.

Análisis estadístico

Los datos fueron analizados con el programa estadístico SPSS de Windows, v.19.0 (SPSS Inc., Chicago, EE.UU.) y el nivel de significación se estableció en $p < 0,05$. Los datos se muestran en estadísticas descriptivas de media y desviación estándar (DE). Antes de los análisis se realizaron los tests de distribución normal y homogeneidad (Kolmogorov-Smirnov y Levene, respectivamente) sobre todos los datos analizados anteriormente. Se realizó un análisis de variancia (ANOVA) de medidas repetidas entre el pretest y el posttest en GE y GC, tomando como variable dependiente la condición experimental y los parámetros cinemáticos como variables independientes. Se realizó la prueba t de Student para determinar las diferencias de velocidad.

Tabla 1 Protocolo de entrenamiento semanal utilizado durante el estudio

Semanas	Rutina de ejercicios semanales del grupo experimental
1-2	Entrenamiento diario normal +10' carrera descalza en el 50% de las sesiones semanales durante la vuelta a la calma
3-4	Entrenamiento diario normal +10' carrera descalza en el 75% de las sesiones semanales durante la vuelta a la calma
5-6	Entrenamiento diario normal +15' en 75% de las sesiones semanales durante la vuelta a la calma
7-8	Entrenamiento diario normal +20' en 50% de las sesiones semanales durante la vuelta a la calma +4 carreras progresivas 80 m al 90-95% esfuerzo sprint
9-10	Entrenamiento diario normal +20' en 75% de las sesiones semanales durante la vuelta a la calma +4 carreras progresivas 80 m al 90-95% esfuerzo sprint
11-12	Entrenamiento diario normal +40' carrera descalza una vez por semana a ritmo de recuperación +20' en otras dos sesiones semanales durante la vuelta a la calma

Tabla 2 Resultado de las variables temporales

	Pretest. Media (DE)	Postest. Media (DE)	Diferencia post-pre	p	Intervalo de confianza del 95%
<i>Tiempo de la fase de aterrizaje a baja velocidad (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>Tiempo de la fase de apoyo a baja velocidad (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>Tiempo de la fase de despegue a baja velocidad (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>Tiempo de vuelo a baja velocidad (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>Duración de la zancada a baja velocidad (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>Tiempo de la fase de aterrizaje a alta velocidad (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>Tiempo de la fase de apoyo a alta velocidad (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>Tiempo de la fase de despegue a alta velocidad (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>Tiempo de vuelo a alta velocidad (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>Duración de la zancada a alta velocidad (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>Tiempo de contacto a baja velocidad (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>Tiempo de contacto a alta velocidad (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>Cadencia de pasos/min a baja velocidad</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>Cadencia de pasos/min a alta velocidad</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

* Diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre GE y GC.

DE: desviación estándar; GC: grupo control; GE: grupo experimental.

Resultados

No existen diferencias significativas entre grupos en relación con la velocidad confortable (GE = $11,21 \pm 1,28$ km/h vs. GC = $10,97 \pm 1,20$ km/h, $p = 0,611$) y velocidad de competición (GE = $15,56 \pm 2,08$ km/h vs. GC = $15,45 \pm 1,67$ km/h, $p = 0,873$).

En la tabla 2 se presentan los resultados del BTP. En el pretest no se encontraron diferencias significativas en ninguna variable. En el postest, solo la duración de la fase de aterrizaje a alta velocidad mostró diferencias significativas, el GE alcanzó un tiempo más corto que el GC después del BTP ($0,032 \pm 0,007$ s vs. $0,038 \pm 0,006$ s). En relación con las diferencias dentro del grupo, el GC mostró un incremen-

to en la fase de apoyo a baja velocidad ($\Delta = 0,014$ s, $p = 0,024$) y una reducción del tiempo de vuelo a alta velocidad ($\Delta = -0,014$ s, $p = 0,034$). Además, el GE alcanzó una reducción en la fase de aterrizaje a alta velocidad ($\Delta = -0,008$ s, $p = 0,004$). No se mostraron otras diferencias significativas tras BPT.

Discusión

El propósito de este estudio fue determinar los efectos de 12 semanas de BTP en las variables cinemáticas de corredores de larga distancia. El principal hallazgo de este estudio mostró que 12 semanas de BTP no alteran significativamente las variables cinemáticas de corredores de larga distancia. Solo el GE alcanzó una reducción en la fase de aterrizaje a alta velocidad; no se hallaron otras diferencias significativas después de BTP. Otros estudios tampoco hallaron cambios significativos en la fuerza ni en la propiocepción después de 8 semanas de un BTP progresivo sobre superficie de hierba²¹ o cambios biomecánicos después de 8 semanas, introduciendo progresivamente un programa de carrera descalzista²². Del mismo modo, otros estudios mostraron que no se encontraron cambios biomecánicos en el grupo de intervención tras 8 semanas de un BTP progresivo¹⁴. Sin embargo, se ha demostrado que una intervención de 12 semanas de un entrenamiento simulado controlado de carrera descalzista fue suficiente para provocar cambios significativos en la cinemática de las extremidades inferiores, no solo durante la carrera descalza, sino también durante la carrera habitual usando calzado con amortiguación²³. Estos controvertidos resultados indican que futuros estudios se deberían plantear resolver dudas sobre el efecto del BTP sobre las variables cinemáticas.

Los autores sugieren que la falta de resultados significativos en este estudio puede ser debida a distintos puntos: a) el calzado anula este efecto; b) insuficiencia de la duración del BTP; c) insuficiencia de la carga del programa de entrenamiento, d) efecto de la superficie de entrenamiento. Cuando los atletas corren descalzos, la dureza de la superficie por donde corren descalzos causa una alteración del patrón de pisada. En estudios previos, solo el 20% de los participantes corrieron con un modelo de mediopié o antepié sobre una superficie blanda, mientras que el 65% de los participantes corrían con patrones de mediopié o antepié sobre superficie dura²⁴. La superficie usada en este estudio fue el césped, que puede que sea un factor significativo para no causar ninguna alteración del patrón de la cinemática del corredor. Un área inexplorada de la teoría de la carrera descalzista es el proceso por el cual se producen adaptaciones biomecánicas y si estas son universalmente aprendidas¹⁴. En consecuencia, la carrera cinemática asociada a la carrera descalza puede ser una habilidad entrenable y requiere un entrenamiento adaptado con cambios de la activación neuromuscular de los músculos de la pantorrilla para facilitar la flexión plantar antes de impactar en el suelo. En este sentido, cuando se dieron suficientes pasos descalzo en relación con los pasos calzado se produjo una mayor activación previa de los músculos del tríceps sural, que puede comportar una reducción del pico del impacto y la disminución subsiguiente del estrés mecánico durante la carrera^{12,13}.

A diferencia de estudios recientes en los que se relacionan numerosos problemas con una incidencia mayor de edema de médula ósea debido a protocolos de entrenamiento descalzo y cargas incontroladas, un hallazgo positivo de este estudio puede ser la no detección de problemas físicos o lesiones en atletas asociados a un programa de entrenamiento descalzista⁶. A fin de cuentas, se requiere una carga de trabajo suficiente para provocar cambios en la cinemática de las extremidades inferiores y el diseño de un protocolo de entrenamiento que no cause daños. Respecto a la progresión correcta de la situación de calzado a descalzo, un paso previo para la adaptación a la carrera descalza podría ser un calzado minimalista.

Finalmente, hay que tener en cuenta algunas limitaciones, como las técnicas de análisis de vídeo en 2D. Además, es muy difícil conocer la cantidad de entrenamiento descalzo y a qué intensidad la ha realizado cada sujeto. Sería necesario normalizar el entrenamiento con cautela para controlar el progreso y los problemas de cada atleta, ya que cada corredor progresa de manera diferente. Además, se han incluido medidas de fuerza que también sería interesante evaluar, dada su relación con el riesgo de lesión. Sin embargo, los puntos fuertes de nuestro estudio son los que proporcionan una nueva información sobre los protocolos de transición de calzado a descalzo y confieren una nueva visión sobre el debate ya abierto sobre correr descalzo sin otras intervenciones, como el entrenamiento pliométrico o neuromuscular. Hasta donde sepamos existe escasa información sobre los programas de transición a descalzo, y este estudio puede ayudar a incrementar el conocimiento sobre esta creciente tendencia.

Conclusión

A pesar de que ningún deportista sufrió daño alguno durante la intervención del estudio de 12 semanas de BTP, basado en añadir un tiempo de correr descalzo al final del entrenamiento diario, no fue suficiente para provocar cambios crónicos en la cinemática de las extremidades inferiores, solo en la fase de aterrizaje a alta velocidad (que fue inferior). Los autores sugieren que el calzado deportivo puede reducir los resultados crónicos de correr descalzo. Por otra parte, es preciso aumentar el volumen de la carga de trabajo o puede ser necesario correr en superficies más duras para producir más cambios crónicos.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

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.