

Sánchez-Ramírez, C.; Alegre, L.M. (2020) Acute Changes in Foot Morphology and Plantar Pressures during Barefoot Running. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte vol. 20 (78) pp. 211-226
[Http://cdeporte.rediris.es/revista/revista78/artcambios1152.htm](http://cdeporte.rediris.es/revista/revista78/artcambios1152.htm)
DOI: <http://doi.org/10.15366/rimcafd2020.78.002>

ORIGINAL

CAMBIOS AGUDOS EN MORFOLOGÍA DEL PIE Y PRESIONES PLANTARES AL CORRER DESCALZO

ACUTE CHANGES IN FOOT MORPHOLOGY AND PLANTAR PRESSURES DURING BAREFOOT RUNNING

Sánchez-Ramírez, C.¹ y Alegre, L.M.²

¹ Académico, Escuela de Ciencias de la Actividad Física, el Deporte y la Salud, Universidad de Santiago de Chile (Chile) celso.sanchez@usach.cl

² Profesor Titular de Universidad, Universidad de Castilla-La Mancha, Grupo de Investigación GENUD Toledo, Toledo. CIBER de Fragilidad y Envejecimiento Saludable (España) luis.alegre@uclm.es

Investigación financiada por proyecto Dicyt Usach n° 021887SR.

Código UNESCO / UNESCO code: 240602, Biomecánica / Biomechanics; 3299 Medicina del Deporte / Sport's Science.

Clasificación Consejo de Europa / Council of Europe classification: 3. Biomecánica del deporte / Sport's Biomechanics

Recibido 29 de junio de 2018 **Received** June 29, 2018

Aceptado 11 de noviembre de 2018 **Accepted** November 11, 2018

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue analizar modificaciones agudas que se producen en la morfología del pie y distribución de presiones plantares luego de la aplicación de un protocolo de carrera a pie descalzo. 42 sujetos de ambos sexos participaron de este estudio, quienes fueron divididos en Grupo Calzado (GC) (n=20) y Grupo Descalzo (GD) (n=22). Se evaluó antropometría del pie, índice del arco (AI) y presiones plantares antes y después de la intervención, que consistió en correr a 3,05 m·s⁻¹ durante 20 min. El pie no dominante del GD disminuyó la altura de su arco plantar (AI pre=0,20, AI post=0,22; p=0,01; ES=0,4), asimismo, la carrera descalza produjo en el pie no dominante menores aumentos en los valores de presión plantar y menores disminuciones en la superficie de apoyo plantar que el correr con calzado.

PALABRAS CLAVE: Arco plantar, huella plantar, presión plantar, pie dominante, carrera, descalzo, biomecánica

ABSTRACT

The acute changes that occur in foot morphology and the distribution of plantar pressures during barefoot running after applying a barefoot running protocol was analyzed. A total of 42 subjects of both sexes participated in the study, and they were divided into shoe-wearing (SH) (n = 20) and barefoot (BF) (n = 22). The feet's anthropometry, arch index (AI), and plantar pressures were evaluated before and after the intervention, which consisted in running at 3.05 m·s⁻¹ during 20 min. The nondominant foot of the BF group decreased the height of its plantar arch (AI pre = 0.20, AI post = 0.22; p = 0.1; SE = 0.4). Furthermore, the barefoot race caused in the nondominant feet smaller decreases of the plantar pressure and smaller decreases of the plantar support surface than running with shoes.

KEY WORD: Plantar arch, plantar footprint, plantar pressure, dominant foot, running, barefoot, biomechanics

INTRODUCCIÓN

El pie se convierte en un interesante foco de estudio cuando se analizan movimientos de traslación tales como la carrera. Puede ser considerado incluso como punto de partida desde un enfoque anatómico funcional y biomecánico, debido a que este segmento se encuentra en contacto con la superficie de apoyo aplicando las fuerzas generadas por el aparato locomotor y recibiendo las fuerzas de reacción del suelo (Salazar Gómez, 2007).

El rol del pie durante la práctica de la carrera deportiva ha sido muy estudiado, y en los últimos años ha habido un creciente interés por estudiar la carrera a pie descalzo (*Barefoot Running* [BFR]) o el empleo de calzado minimalista que entregue una mínima protección y mínima modificación funcional al pie. Bramble y Lieberman (2004) (Lieberman, 2006) teorizan desde un enfoque evolutivo, precisando que el pie humano evolucionó a partir de la adquisición de la posición bípeda, alcanzada por el *australopithecus afarensis* hace alrededor de 2,2 millones de años (Susman, 1983). Bramble y Lieberman (2004) además, abren un interesante debate al aseverar que la carrera de resistencia, fue un factor clave en la evolución del ser humano moderno, y que, durante su práctica con motivos de locomoción y caza, no hubo mediación de calzado para lograr el pie del actual *homo sapiens*.

De lo anterior se desprende que la evolución del pie humano a través de la práctica de carreras de largas distancia a velocidades relativamente baja se produjo sin la utilización de un calzado deportivo especializado, convirtiéndose su uso en un

fenómeno relativamente reciente. A pesar de la masividad que hoy en día tiene el empleo de calzado deportivo, caracterizado por su cada vez más complejo diseño y manufactura que prometen mejorar el rendimiento y disminuir la incidencia de lesiones, se observa aún una elevada incidencia de lesiones que se producen en pie, tobillo y rodilla que oscila entre un 30% y 75% de los corredores cada año (Daoud et al., 2012). Esta realidad llevó a la comunidad científica a cuestionarse y a motivar la realización de una serie de estudios que se han orientado a indagar en las diferencias existentes entre correr a pie descalzo, con calzado minimalista o con calzado deportivo.

Desde 1999 a 2013, el foco de estudio se centró en el análisis de variables cinemáticas, cinéticas y de actividad eléctrica muscular -a través del uso de la electromiografía (EMG)- que se producían de manera aguda luego de una sesión de entrenamiento a pie descalzo. Debido a que ya se han comprobado varias hipótesis relacionadas con los cambios crónicos de quienes comienzan a practicar BFR, es que se han empezado a estudiar otras variables tales como el control de la estabilidad en el plano frontal (Ekizos, Santuz, & Arampatzis, 2017), cargas sobre el tendón de Aquiles (Rice & Patel, 2017), equilibrio estático en posturografía (Smith et al., 2015), rotación tibial y su influencia en la aducción del calcáneo (Fischer, Willwacher, Hamill, & Bruggemann, 2017), uso de calzado minimalista para la recuperación luego de correr un maratón (Nakagawa et al., 2017), rol que cumple la fatiga en la absorción de fuerzas del tobillo (Hashish, Samarawickrame, Baker, & Salem, 2016), mejora de capacidades cognitivas que se producen por correr descalzos (Alloway, Alloway, Magyari, & Floyd, 2016), rigidez muscular (Tam, Astephen Wilson, Coetzee, van Pletsen, & Tucker, 2016), economía de carrera en mujeres (Berrones et al., 2016), cambio en la tipología del arco plantar longitudinal medial (APLM) (Dolenec, Radi, & Strojnik, 2015), y la inclinación del terreno por donde se corre (An, Rainbow & Cheung, 2015), entre otras.

A pesar del aumento en el número de investigaciones que se han desarrollado en este campo, hay algunos aspectos que casi no se han explorado, tales como las adaptaciones morfológicas que se producen en el pie que permiten a un sujeto adoptar un entrenamiento de BFR. Al respecto, un solo estudio indagó adaptaciones óseas luego de 10 semanas de uso de zapatillas minimalistas FiveFingers© (Ridge et al., 2013) encontrando que en 10 de 19 sujetos se produjo un aumento en el grado de edema de médula ósea, advirtiendo de los riesgos que tiene la adopción de este estilo de entrenamiento. Otro de los escasos estudios en esta línea es el de Johnson y cols. (Johnson, Myrer, Mitchell, Hunter, & Ridge, 2015) quienes describieron cambios en el tamaño de los músculos intrínsecos del pie luego de un entrenamiento de 10 semanas de BFR.

Fuera de los dos trabajos mencionados en el párrafo precedente, a la fecha no se han publicado artículos que indaguen en los cambios morfológicos que se producen en el pie luego de practicar la carrera descalza, como tampoco en el comportamiento de las presiones plantares, enfocada esta hacia el balance postural en situación estática. Por esto, es comprensible que aún queden vacíos de

conocimiento que, de dilucidarse, nos aportarán en la comprensión del comportamiento del pie de un sujeto que inicia en el BRF.

Por lo anterior, el objetivo de este estudio es analizar modificaciones agudas que se producen en la morfología del pie y de la distribución de presiones plantares luego de la aplicación de un protocolo de carrera a pie descalzo, estableciendo como hipótesis que se producen modificaciones agudas, tanto en las variables morfológicas como en presiones plantares, en los sujetos que corren a pie descalzo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Sujetos

Cuarenta y dos sujetos (36 hombres y 6 mujeres) estudiantes de ciencias de la actividad física ($20,74 \pm 2,73$ años, $71,47 \pm 8,78$ kg, $1,72 \pm 0,07$ m y $24,23 \pm 2,42$ Kg·m² de IMC) participaron voluntariamente de este estudio, acreditando esto por medio de la firma del consentimiento informado redactado y aprobado acorde a los lineamientos del Comité de Ética Institucional de la Universidad de Santiago de Chile (Informe ético n°184-2018). Junto con la firma del consentimiento, los sujetos contestaron un cuestionario en donde se consultó por sus hábitos de práctica deportiva y existencia de lesiones en tobillo y/o pie.

Se escogieron a los participantes que tenían entre 18 y 35 años de edad, corrían entre 5 y 10 km por semana, en al menos 2 sesiones semanales, y que no corrían a pie descalzo durante su práctica. No se incluyó a sujetos que durante los últimos seis meses habían sufrido una lesión de pie y/o tobillo.

El total de la muestra se dividió formando un grupo descalzo (GD) de n=22 y un grupo calzado (GC) de n=20. Se caracterizó según edad, masa corporal, estatura, índice de masa corporal (IMC) y longitud de pie normalizada a la estatura (LPN). Ambos grupos demostraron no tener diferencias estadísticamente significativas en las variables de caracterización (tabla 1).

	GRUPO DESCALZO N=22	GRUPO CALZADO N=20	p
Edad	20,18 ±1,84	21,35 ±3,41	0,25
Peso (kg)	69,23 ±9,70	73,93 ±7,09	0,08
Estatura (m)	1,71 ±0,08	1,73 ±0,06	0,33
IMC (kg·m⁻²)	23,72 ±2,59	24,79 ±2,13	0,06
LPN Izquierdo	0,15 ±0,01	0,15 ±0,00	0,74
LPN Derecho	0,15 ±0,01	0,15 ±0,00	0,79

Tabla 1. Caracterización de los grupos. LPN: Longitud de pie normalizada.

Los participantes fueron medidos y pesados con un antropómetro marca Seca® modelo 220 (Alemania) con balanza digital incorporada. Con estos datos se calculó IMC.

Con el objetivo de verificar que los sujetos cumplan con los criterios de selección de la muestra, se aplicó un cuestionario de elaboración propia de salud podálica y postural e historial deportivo (Sánchez et al., 2017). Además, se les consultó cuál era su pie dominante, definido este como aquel que usan para patear un balón y el que emplean en el primer paso al aproximarse a un tramo de escalera (Lake, Lauder, & Smith, 2011).

Procedimiento

Con el objetivo de no alterar los resultados por actividades que los sujetos realizaron antes de su llegada al laboratorio, cada sujeto guardó reposo durante 10 minutos en posición decúbito supino (Jimenez-Ormeño, Aguado, Delgado-Abellan, Mecerreyes, & Alegre, 2011). Posteriormente, se procedió a realizar la medición antropométrica del pie y obtención de presiones plantares. Luego, cada participante corrió en una cinta rodante (Technogym, mod. Excite Run 500, Italia) durante 20 minutos a $3,05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ($11 \text{ k}\cdot\text{h}^{-1}$) con una pendiente de 5%. Se escogió esta velocidad debido a que ha sido la velocidad de carrera más frecuente en los estudios de cinemática de carrera y de evaluación de presiones plantares relacionados con BFR (Warne et al., 2017). Los sujetos del GC corrieron con su calzado deportivo convencional y los sujetos del GD corrieron a pies descalzos. Una vez finalizado este intento, volvieron a ser evaluados en medición antropométrica y presiones plantares.

A fin de obtener los datos que indican el tamaño y forma de los pies de los sujetos, se efectuó la medición antropométrica, consistente en la obtención de la longitud del pie (LP), ancho del antepié (AA), ancho del retropié (AR) y altura navicular (AN).

Los participantes fueron ubicados sobre una mesa nivelada, en bipedestación erguida y relajada. La separación de los pies fue de 10 cm. Se controló la ubicación de los pies por medio de líneas dibujadas sobre la mesa de evaluación. En esa posición, el evaluador procedió a marcar el punto anatómico dado por la cara inferior de la tuberosidad del hueso navicular (Fig. 1).



Figura 1. Evaluación antropométrica.

Para las mediciones se empleó un antropómetro con precisión de 0,1 mm. LP, AA, AR y AN se obtuvieron siguiendo el protocolo indicado por Sánchez (2017). Con el objetivo de comparar las dimensiones entre sujetos, se procedió a normalizar las variables dividiéndolas por la estatura de los sujetos, obteniendo así longitud del pie normalizada (LPN), ancho de antepié normalizada (AAN), ancho de retropié normalizado (ARN) y altura navicular normalizada (ANN).

Con el objetivo de evaluar la distribución de presiones plantares, los sujetos se ubicaron en bipedestación, con el peso de su cuerpo repartido de manera homogénea en ambos pies descalzos sobre baropodoscopio Presscam V4 (Sidas®, Francia), con 1600 sensores de captación. Una vez estabilizada la posición, se obtuvo la impresión de las presiones plantares, adquirida del promedio de 10 s a una frecuencia de 100 hz. La aplicación del equipo proporciona la presión máxima, entendida como el valor obtenido por el sensor que registró la mayor presión y expresada en $\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ y superficie de apoyo plantar en cada uno de los pies, expresada en cm^2 . La presión máxima se normalizó al peso corporal del sujeto ($P^{\circ}\text{MN}$), y la superficie de apoyo plantar se normalizó a la estatura del sujeto (SMN). Asimismo, se definió la ubicación del punto de máxima presión del apoyo plantar en bipedestación (PMP°), el cual puede estar ubicado en el pie dominante o no dominante, tanto en un cuadrante anterior o posterior, dependiendo de la variación que experimenta la proyección del centro de gravedad.

De la impresión obtenida desde el baropodoscopio, y mediante análisis en software AreaCalc (Elvira, Vera-García, & Meana, 2008), se procedió a calcular el Índice del Arco de Cavanagh y Rodgers (1987) (AI) (Cavanagh, Rodgers, & Virginia, 1986), que determina el tipo de pie (cavo, plano o normal).

Análisis estadístico

Para todas las variables continuas se empleó estadística descriptiva. Se utilizó test de Shapiro Wilk para determinar normalidad de las variables.

Para la comparación inicial de ambos grupos en las variables de caracterización se empleó t test para muestras independientes cuando las variables presentaran distribución normal y test de Mann Whitney cuando no se presentó esta condición.

Se compararon resultados entre el pre y post test de cada grupo empleando pruebas t para muestras relacionadas. En el caso de las variables que no se distribuyeron de forma normal, se empleó el test estadístico Wilcoxon.

Además de lo anterior, se calculó el tamaño del efecto para cada uno de los análisis comparativos, a partir del cálculo de d de Cohen.

Se determinó $p < 0,05$ como valor de significancia estadística. Todos los análisis se realizaron empleando el programa estadístico GraphPad Prism (versión 7.0).

RESULTADOS

La tabla 2 corresponde a un cuadro comparativo entre GC y GD en las dos instancias de evaluación, para todas las variables estudiadas. En el lado izquierdo, es posible observar que, al momento de la evaluación diagnóstica, en el pie dominante, ambos grupos presentaron igualdad de condiciones en todas las variables, excepto en ANN, que en el GD su valor fue de 0,021 y en el GC de 0,019; presentando diferencias estadísticamente significativas. Respecto al pie no dominante, se observaron diferencias significativas entre ambos grupos en P°MN y SMN. El GD mostraba mayores valores de presión que el GC con valores de 12,18 contra 10,53 y menores valores de SMN con valores de 52,52 contra 57,68, ambas con significancia estadística.

Los resultados obtenidos en el post test se pueden apreciar en el lado derecho de la misma tabla. Allí, es posible observar en pie dominante, que desaparecía la diferencia entre grupos apreciada en la variable ANN, pero aparecen dos nuevas diferencias significativas en las variables P°MN y SMN. En P°MN, GD obtiene 12,36 contra 10,53 del GC. Por el contrario, GC presentó un valor de 58,38 en SMN, el cual es mayor en un 12,8% que lo registrado por el GD. Esta condición también se registró en el pre test, pero a diferencia del post test, no se demostró diferencia estadísticamente significativa.

Respecto al pie no dominante, se aprecia que se mantenían las diferencias estadísticamente significativas entre grupos en las variables P°MN y SMN, y con el mismo patrón observado en el pre test.

	PRE TEST			POST TEST		
	Grupo Calzado	Grupo Descalzo	p	Grupo Calzado	Grupo Descalzo	p
PIE DOMINANTE						
LPN	0,15 ±0,00	0,15 ±0,01	0,93	0,15 ±0,00	0,15 ±0,01	0,70
AAN	0,06 ±0,00	0,06 ±0,00	0,49	0,06 ±0,00	0,06 ±0,00	0,51
ARN	0,04 ±0,00	0,04 ±0,00	0,36	0,04 ±0,00	0,04 ±0,00	0,49
ANN	0,019 ±0,00	0,021 ±0,00	<0,0001***	0,02 ±0,00	0,02 ±0,00	0,19

P°MN	10,90 ±2,25	12,22 ±2,67	0,92	10,53 ±1,74	12,36 ±3,17	0,03*
SMN	55,95 ±9,25	48,46 ±11,57	0,05	58,38 ±8,94	51,75 ±7,92	0,01*
AI	0,21 ±0,09	0,20 ±0,09	0,91	0,22 ±0,08	0,22 ±0,08	0,98
PIE NO DOMINANTE						
LPN	0,15 ±0,00	0,15 ±0,01	0,94	0,15 ± 0,00	0,15 ±0,01	0,96
AAN	0,06 ± 0,00	0,06 ±0,00	0,75	0,06 ±0,00	0,06 ±0,00	0,47
ARN	0,04 ±0,00	0,04 ±0,00	0,69	0,04 ±0,00	0,04 ±0,00	0,78
ANN	0,02 ± 0,00	0,02 ±0,00	0,35	0,02 ±0,00	0,02 ±0,00	0,72
P°MN	10,53 ±2,09	12,18 ±3,11	0,04*	9,74 ±1,97	11,65 ±2,74	0,01*
SMN	57,68 ±8,93	52,52 ±8,74	0,03*	60,40 ±6,22	54,33 ±8,17	0,03*
AI	0,23 ±0,08	0,20 ±0,09	0,17	0,24 ±0,07	0,22 ±0,07	0,35

Tabla 2. Comparación entre grupos en el pre test y post test. LPN: Longitud de pie normalizada, AAN: Ancho de antepié normalizado, ARN: Ancho retropié normalizado, ANN: Altura navicular normalizada, P°MN: Presión máxima normalizada, SMN: Superficie máxima normalizada, AI: Arch index.

Respecto a las comparaciones entre el pre y post test en un mismo grupo, la parte izquierda de la tabla 3 muestra la comparación en el GC. Allí es posible ver que, en pie dominante, sólo se registró diferencia estadísticamente significativa en la variable LPN orientada hacia un aumento de esta variable de 0,1506 en el pre test, hacia 0,1512 en el post test, lo cual representa un aumento del 0,01%. Si bien este cambio era estadísticamente significativo ($p=0,02$), tenía un pequeño tamaño del efecto ($ES=0,13$). Respecto al pie no dominante, se puede apreciar que se registraron diferencias estadísticamente significativas entre el pre y post test en las variables de P°MN y SMN. P°MN experimentó una disminución del 7,5% pasando desde 10,53 a 9,74 en el post test, con un tamaño de efecto medio ($ES=0,4$). Por el contrario, SMN aumentó sus valores en un 4,71% desde el pre al post test, pasando de 57,68 a 60,40 también con un tamaño del efecto medio ($ES=0,4$).

El lado derecho de la misma tabla muestra la comparación de los resultados obtenidos entre el pre y post test en el GD. En el pie dominante se observaron modificaciones entre el pre y post test en las variables ARN y ANN con diferencias estadísticamente significativas. En el caso de la primera, se apreció un cambio de 0,0366 a 0,0371 con pequeño tamaño del efecto ($ES=0,17$). ANN por su parte, experimentó una disminución registrándose en el pre test un valor de 0,0213 y de 0,0204 en post test con pequeño tamaño del efecto ($ES=0,18$). En el pie no dominante, en tanto, sólo se registró diferencia estadísticamente significativa en AI. Allí, se observa un aumento del 10%, con pequeño tamaño del efecto ($ES=0,3$).

	GRUPO CALZADO				GRUPO DESCALZO			
	Pre Test	Post Test	p	ES	Pre Test	Post Test	p	ES
PIE DOMINANTE								
LPN	0,15 ±0,00	0,15 ±0,00	0,02*	0,13	0,15 ±0,01	0,15 ±0,01	0,61	0,02
AAN	0,06 ±0,00	0,06 ±0,00	0,88	0,05	0,06 ±0,00	0,06 ±0,00	0,79	0,04
ARN	0,04 ±0,00	0,04 ±0,00	0,25	0,14	0,04 ±0,00	0,04 ±0,00	0,02*	0,17
ANN	0,02 ±0,00	0,02 ±0,00	0,88	0,03	0,02 ±0,00	0,02 ±0,00	0,04*	0,18
P°MN	10,90 ±2,25	10,53 ±1,74	0,26	0,18	12,22 ±2,67	12,36 ±3,17	0,84	0,05
SMN	55,95 ±9,25	58,38 ±8,94	0,07	0,27	48,46 ±11,57	51,75 ±7,92	0,11	0,33
AI	0,21 ±0,09	0,22 ±0,08	0,39	0,10	0,20 ±0,09	0,22 ±0,08	0,23	0,22
PIE NO DOMINANTE								
LPN	0,15 ±0,00	0,15 ± 0,00	>0,999	0	0,15 ±0,01	0,15 ±0,01	0,68	0,06
AAN	0,06 ± 0,00	0,06 ±0,00	0,73	0,09	0,06 ±0,00	0,06 ±0,00	0,78	0,04
ARN	0,04 ±0,00	0,04 ±0,00	0,12	0,16	0,04 ±0,00	0,04 ±0,00	0,30	0,13
ANN	0,02 ± 0,00	0,02 ±0,00	0,86	0,03	0,02 ±0,00	0,02 ±0,00	0,11	0,17
P°MN	10,53 ±2,09	9,74 ±1,97	0,03*	0,39	12,18 ±3,11	11,65 ±2,74	0,36	0,18
SMN	57,68 ±8,93	60,40 ±6,22	0,01*	0,35	52,52 ±8,74	54,33 ±8,17	0,16	0,21
AI	0,23 ±0,08	0,24 ±0,07	0,47	0,17	0,20 ±0,09	0,22 ±0,07	0,01*	0,26

Tabla 3. Comparación intra grupo en el pre test y post test. LPN: Longitud de pie normalizada, AAN: Ancho de antepié normalizado, ARN: Ancho retropié normalizado, ANN: Altura navicular normalizada, P°MN: Presión máxima normalizada, SMN: Superficie máxima normalizada, AI: Arch index.

La tabla 4 especifica el comportamiento que mostró PMP°, respecto a la ubicación de este antes y después de la intervención. Allí se puede observar que el 35% de los sujetos del GC cambiaron la ubicación de su PMP° luego de correr por 20 minutos a 3,05 m·s⁻¹ con calzado deportivo convencional, en contraste con el 63,64% de los sujetos del GD. Otro dato que posible de ver en la tabla es el porcentaje de sujetos que no sólo cambiaron de lugar su PMP° sino que también cambiaron de pie. Así, el 25% de la muestra del GC presentó esta condición, contra el 50% de los sujetos del GD. Los resultados de la tabla se pueden ver ilustrados en la Fig. 2.

	GRUPO CALZADO		GRUPO DESCALZO	
	n	%	n	%
Sujetos que cambiaron la ubicación del PMP°	7	35,00	14	63,64
Sujetos en los que cambió de pie el PMP°	5	25,00	11	50,00

Tabla 4. Resumen descriptivo de las modificaciones observadas en la ubicación del Punto de Máxima Presión del apoyo plantar en bipedestación (PMP°).

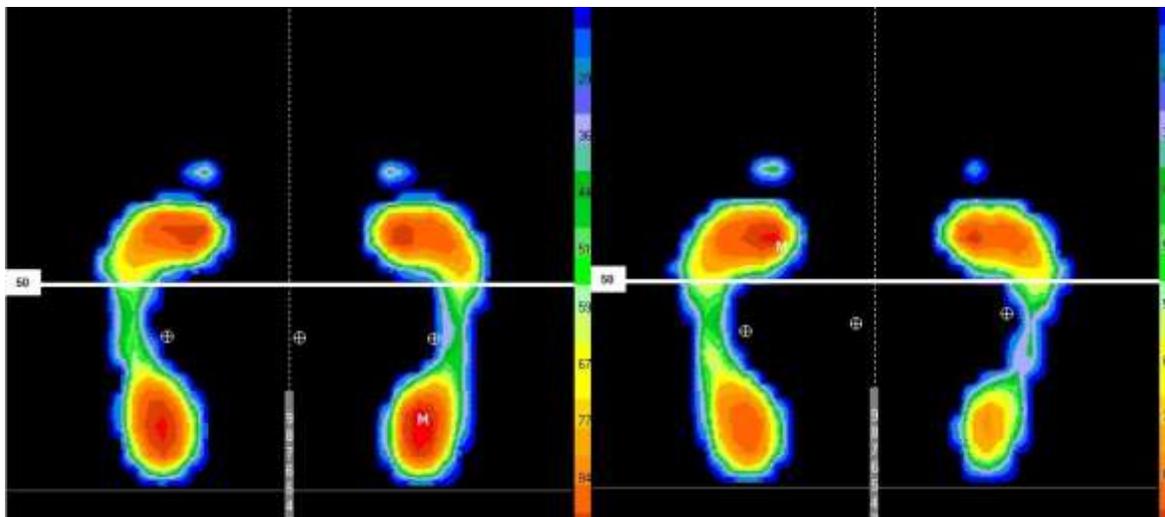


Figura 2. Ejemplo de presiones plantares obtenidas antes (izquierda) y después (derecha) de la intervención. Es posible observar una modificación en la ubicación del Punto de Máxima Presión del apoyo plantar en bipedestación (letra M), desde retropié derecho a antepié izquierdo luego de la intervención.

DISCUSIÓN

En este estudio se planteó como hipótesis que se producirían modificaciones agudas, tanto en las variables morfológicas como en presiones plantares, en los sujetos que corrieron con el pie descalzo, hipótesis que se comprobó de manera parcial, debido a que anatómicamente sólo se produjeron modificaciones significativas en la altura del APLM y en presiones plantares sólo se demostró disminución de valores de P^oMN y disminución de SMN.

Tal como otros autores han mostrado (Jimenez-Ormeño et al., 2011), en este estudio fue posible encontrar cambios morfológicos en algunas de estas variables luego de la aplicación del protocolo de intervención, las que se pueden resumir en cambios entre grupos y en cambios intra grupo. En el presente estudio, la única variable morfológica que registró cambios entre grupos fue ANN del pie dominante, que en el pre test presentó diferencia significativa a favor del GD, pero que luego de la intervención esta diferencia desapareció. Este resultado puede entregar ciertas luces acerca del comportamiento de la altura del APLM, el cual, según Tsung y colaboradores, luego de un ejercicio que supone carga -como lo es correr- el APLM puede disminuir su altura hasta en un 15% (Tsung, Zhang, Fan, & Boone, 2003). En este caso particular, se igualaron las condiciones de ambos grupos luego de la intervención, siendo la disminución de ANN en el GD el factor que hizo desaparecer la diferencia hallada en el pre test.

Respecto a las diferencias dentro del mismo grupo, fue posible demostrar que entre el pre y post test, el GC aumentó la longitud del pie dominante y el GD aumentó el ancho del talón, resultados que coinciden con lo expuesto por Coughley y Mawsley respecto al aumento del volumen total del pie y tobillo luego de correr durante 20 minutos (Cloughley & Mawdsley, 1995). Por el contrario, el GD luego de la

intervención disminuyó la altura del APLM, resultado que viene a comprobar lo planteado en el párrafo anterior, en donde el cambio registrado en el GD fue el responsable de la desaparición de las diferencias entre grupos observadas en el post test.

A pesar de que los cambios reseñados en las variables morfológicas de LPN, ANN y ARN debidos a la intervención, nos permitirían decir que el correr a pie descalzo durante 20 minutos a $3,05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ produjo un aumento del ancho del talón y disminución en la altura del APLM, es preciso indicar que, al analizar los valores sin normalizar, las diferencias son producto de cambios reales en las dimensiones del pie del orden de 1 mm. A nuestro parecer, si consideramos lo que esta modificación puede influenciar en la estabilidad postural o en la comodidad del uso de calzado - que considera al menos diferencias de entre 5 y 8 mm en las dimensiones del calzado respecto a las dimensiones del pie-, el cambio puede resultar despreciable (Miller, Nigg, Liu, Stefanyshyn, & Nurse, 2000). Esta reflexión se sustenta, además, en los pequeños tamaños de efecto registrados en cada una de las variables en cuestión, que no superaron el valor de 0,2. Por esta razón los hallazgos planteados debieran ser tomados con mesura.

Respecto a la comparación entre grupos de las variables relacionadas con la presión plantar y la huella plantar, es preciso indicar que varios estudios han descrito que luego de correr, se produce aumento de los valores de presión plantar, corriendo sobre tapiz rodante o sobre el suelo (Kyung, Ali, & Fernandez, 2017). La diferencia observada entre grupos en el pie no dominante en P^oMN y SMN, antes y después de la intervención nos indica que esta no produjo cambios entre grupos. Sin embargo, el protocolo de intervención empleado produjo disminución de las presiones plantares y aumento de la superficie de apoyo plantar en el pie no dominante dentro del GC, resultado que se puede relacionar en alguna medida con el trabajo de Hohmann y colaboradores en corredores de maratón en donde se observó que los cambios de presión plantar se producían en mayor grado en el pie dominante (Hohmann, Reaburn, Tetsworth, & Imhoff, 2016). Estos mismos cambios se pudieron observar en GD pero sin significancia estadística, lo cual nos podría dar pistas acerca de que la carrera a pies descalzos modifica en menor medida estas variables que cuando se utiliza calzado deportivo convencional. Este resultado se puede contrastar con lo que han encontrado otros autores, respecto a que la carrera a pie descalzo tiene a aumentar los valores de presión y a disminuir los valores de superficie (Bergstra et al., 2015) (Fernández-Torres et al., 2018). En el pie dominante en cambio, se registró diferencia en el post test, dada por un aumento de la P^oMN en el GD y una disminución en el GC. Asimismo, se registró diferencia en la variable SMN donde ambos grupos aumentaron sus valores, siendo mayor este aumento en el GD respecto al GC tomando en consideración el tamaño del efecto ($d = 0,27$ para GC y $d = 0,33$ para GD). Debido a que esta diferencia apareció después de la aplicación del protocolo de carrera, podría considerarse una consecuencia de este. Nuevamente estos valores son concordantes con los estudios previos, pero debido a que no presentan consistencia, estos cambios se deben tomar con cautela.

Dentro de las limitaciones de este estudio, se encuentra el hecho que el baropodoscopio empleado no diferenciaba entre las presiones plantares registradas en las distintas zonas del pie, lo cual no permite evaluar estos resultados en comparación con otros autores que encuentran aumento de los valores de presión plantar en zonas específicas, tales como la región del antepié (Szulc et al., 2017). Asimismo, se observa que una buena cantidad de estudios han utilizado plantillas instrumentadas, equipamiento que puede diferir en los resultados que se obtienen en una plataforma (Chevalier, Hodgins, & Chockalingam, 2010)

La variable AI, que a través del análisis de las áreas de apoyo plantar permite determinar la constitución del APLM y a su vez clasificar los pies en planos, normales y cavos, sólo mostró diferencias significativas entre el pre y post test dentro del pie no dominante en GD, con tendencia hacia el aplanamiento de la bóveda plantar, tal como lo planteado por Tsung y colaboradores (Tsung et al., 2003) y Jiménez y colaboradores (Jimenez-Ormeño et al., 2011). Un estudio similar realizado en carrera, es el hecho por Maslon y colaboradores (Maslon, Golec, Szczygiel, Czechowska, & Golec, 2016), quienes encontraron que los corredores aplanan más la bóveda plantar, como un mecanismo de amortiguación activa de fuerzas.

Los cambios observados en la ubicación de PMP° entregan luces acerca del comportamiento que el control postural tiene luego de la práctica descalza. El GD fue el que presentó mayor frecuencia de cambios en la ubicación del PMP°, algo que otros autores han estudiado (Hohmann et al., 2016), pero que sin embargo no se ha analizado en situación estática como en este estudio. Lo que se sabe es que los corredores, luego de terminar el protocolo, tienden a cargar más su peso corporal sobre el pie dominante, hecho que se demostró aquí en el grupo de sujetos que corrió sin calzado.

CONCLUSIÓN

En conclusión, es posible aseverar que el correr a pie descalzo por 20 minutos a $3,05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ no produjo modificaciones importantes en las dimensiones del pie, salvo por las registradas en el pie no dominante dirigidas hacia el aplanamiento del APLM. Asimismo, la carrera descalza produjo en el pie no dominante menores aumentos en los valores de presión plantar y menores disminuciones en la superficie de apoyo plantar que el correr con calzado.

El presente estudio proporciona información que permite comprender con mayor profundidad el comportamiento que muestra la morfología del pie y la distribución de presiones plantares al desproveerlo de calzado deportivo, abriendo nuevas interrogantes en torno al balance postural de los deportistas, el que se propone seguir estudiando.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alloway, R. G., Alloway, T. P., Magyari, P. M., & Floyd, S. (2016). An Exploratory Study Investigating the Effects of Barefoot Running on Working Memory. *Perceptual and Motor Skills*, 122(2), 432–443. <https://doi.org/10.1177/0031512516640391>
- An, W.; Rainbow, MJ.; Cheung, R. (2015). Effects of Surface Inclination on the Vertical Loading Rates and Landing Pattern during the First Attempt of Barefoot Running in Habitual Shod Runners. *Biomed Res Int., Article ID.* <https://doi.org/10.1155/2015/240153>
- Bergstra, S. A., Kluitenberg, B., Dekker, R., Bredeweg, S. W., Postema, K., Van den Heuvel, E. R., ... Sobhani, S. (2015). Running with a minimalist shoe increases plantar pressure in the forefoot region of healthy female runners. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 18(4), 463–468. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2014.06.007>
- Berrones, A. J., Kurti, S. P., Kilsdonk, K. M., Cortez, D. J., Melo, F. F., & Whitehurst, M. (2016). Barefoot Running Reduces the Submaximal Oxygen Cost in Female Distance Runners. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(8), 2348–2353. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001330>
- Bramble, D. M., & Lieberman, D. E. (2004). Endurance running and the evolution of Homo. *Nature*, 432(7015), 345–352. <https://doi.org/10.1038/nature03052>
- Cavanagh, P. R., Rodgers, M., & Virginia, W. (1986). Technical Note the Arch Index: a Useful Measure. *J Biomech*, 20, 547–551. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(87\)90255-7](https://doi.org/10.1016/0021-9290(87)90255-7)
- Chevalier, T. L., Hodgins, H., & Chockalingam, N. (2010). Plantar pressure measurements using an in-shoe system and a pressure platform: A comparison. *Gait and Posture*, 31(3), 397–399. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2009.11.016>
- Cloughley, W. B., & Mawdsley, R. H. (1995). Effect of running on volume of the foot and ankle. *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, 22(4), 151–4. <https://doi.org/10.2519/jospt.1995.22.4.151>
- Daoud, A. I., Geissler, G. J., Wang, F., Saretsky, J., Daoud, Y. A., & Lieberman, D. E. (2012). Foot strike and injury rates in endurance runners. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 44(7), 1325–1334. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3182465115>
- Dolenec, A., Radi, P., & Strojnik, V. (2015). An Explanation of the Influence on Deciding which Type of Foot Strike to Use when Running Barefoot or in Minimalistic Shoes. *Collegium antropologicum*, 39 Suppl 1(suppl 1), 147–51. <https://doi.org/10.2307/1268751>
- Ekizos, A., Santuz, A., & Arampatzis, A. (2017). Transition from shod to barefoot alters dynamic stability during running. *Gait & Posture*, 56(April), 31–36. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2017.04.035>
- Elvira, J. L. L., Vera-García, F. J., & Meana, M. (2008). Subtalar joint kinematic correlations with footprint arch index in race walkers. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 48(2), 225–34. Recuperado a partir de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18427419>

- Fernández-Torres, V., Robles-Rodríguez, C., De Castro-Maqueda, G., Candelario-poteleschenko, V., Gutiérrez-Manzanedo, V., & Ponce-González, J. (2018). Diferencias de la pisada en estático después de una maratón. *Retos. Nuevas tendencias en Educación Física, Deporte y Recreación*, (33), 134–137. Recuperado a partir de <http://0-eds.b.ebscohost.com.fama.us.es/eds/detail/detail?vid=0&sid=579183cf-65aa-493a-bcde-38f5efab3d89%40sessionmgr103&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZSZyZ29wZT1zaXRI#AN=126604332&db=edb>
- Fischer, K. M., Willwacher, S., Hamill, J., & Bruggemann, G. P. (2017). Tibial rotation in running: Does rearfoot adduction matter? *Gait and Posture*, 51, 188–193. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.10.015>
- Hashish, R., Samarawickrame, S. D., Baker, L., & Salem, G. J. (2016). The influence of a bout of exertion on novice barefoot running dynamics. *Journal of Sports Science and Medicine*, 15(2), 327–334.
- Hohmann, E., Reaburn, P., Tetsworth, K., & Imhoff, A. (2016). Plantar Pressures during Long Distance Running: An Investigation of 10 Marathon Runners. *Journal of sports science & medicine*, 15(November 2015), 254–262. Recuperado a partir de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27274662%5Cnhttp://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC4879438>
- Jimenez-Ormeño, E., Aguado, X., Delgado-Abellan, L., Mecerreyes, L., & Alegre, L. M. (2011). Changes in footprint with resistance exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 32(8), 623–628. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1275354>
- Johnson, A., Myrer, J., Mitchell, U., Hunter, I., & Ridge, S. (2015). The effects of a transition to minimalist shoe running on intrinsic foot muscle size. *International Journal of Sports Medicine*, 37(2), 154–158. <https://doi.org/10.1177/0363546514553779>
- Kyung, H., Ali, S., & Fernandez, J. (2017). Human Movement Science Gait kinetics , kinematics , spatiotemporal and foot plantar pressure alteration in response to long-distance running: Systematic review. *Human Movement Science*, (February), 0–1. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2017.09.012>
- Lake, J., Lauder, M., & Smith, N. (2011). Does side dominance affect the symmetry of barbell end kinematics during lower body resistance exercise? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(3), 872–878. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181cc2397>
- Lieberman, D. E. (2006). The human gluteus maximus and its role in running. *Journal of Experimental Biology*, 209(11), 2143–2155. <https://doi.org/10.1242/jeb.02255>
- Maslon, A., Golec, J., Szczygiel, E., Czechowska, D., & Golec, B. (2016). Assessment of the influence of jogging on the shape of female foot arches. *Annals of agricultural and environmental medicine*. <https://doi.org/10.5604/12321966.1230672>
- Miller, J. E., Nigg, B. M., Liu, W., Stefanyshyn, D. J., & Nurse, M. A. (2000). Influence of foot, leg and shoe characteristics on subjective comfort. *Foot and Ankle International*, 21(9), 759–767. <https://doi.org/10.1177/107110070002100908>

- Nakagawa, K., Inami, T., Yonezu, T., Kenmotsu, Y., Narita, T., Kawakami, Y., & Kanosue, K. (2017). Unstable rocker shoes promote recovery from marathon-induced muscle damage in novice runners. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, (May), 1–9. <https://doi.org/10.1111/sms.12911>
- Rice, H., & Patel, M. (2017). Manipulation of Foot Strike and Footwear Increases Achilles Tendon Loading During Running. *The American Journal of Sports Medicine*, 36354651770442. <https://doi.org/10.1177/0363546517704429>
- Ridge, S. T., Johnson, A. W., Mitchell, U. H., Hunter, I., Robinson, E., Rich, B. S. E., & Brown, S. D. (2013). Foot bone marrow edema after a 10-wk transition to minimalist running shoes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45(7), 1363–1368. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3182874769>
- Salazar Gómez, C. (2007). Pie plano, como origen de alteraciones biomecánicas en cadena ascendente. *Fisioterapia*, 29(2), 80–89. [https://doi.org/10.1016/S0211-5638\(07\)74418-8](https://doi.org/10.1016/S0211-5638(07)74418-8)
- Sánchez, C. (2017). Caracterización Morfológica del Arco Plantar Longitudinal Medial del Pie en una Población Chilena. *International Journal of Morphology*, 35(1), 85–91. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022017000100015>
- Sánchez, C., Alarcón, E. & Morales, H. (2017). Características Morfofuncionales del Pie de Deportistas Universitarios Chilenos en Diez Disciplinas Deportivas Morphofunctional Foot Characteristics of Chilean University Athletes in Ten Sports Disciplines. *Int. J. Morphol*, 35(4), 1403–1408. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022017000401403>
- Smith, B. S., Burton, B., Johnson, D., Kendrick, S., Meyer, E., & Yuan, W. (2015). Effects of wearing athletic shoes, five-toed shoes, and standing barefoot on balance performance in young adults. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 10(1), 69–74. Recuperado a partir de <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=4325290&tool=pmc> <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25709865> <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC4325290>
- Susman, R. L. (1983). Evolution of the Human Foot: Evidence from Plio-Pleistocene Hominids. *Foot & Ankle*, 3(6), 365–376. <https://doi.org/10.1177/107110078300300605>
- Szulc, P., Waszak, M., Bartkowiak, M., Bartkowiak, P., Tomczak, M., Boch-Kmieciak, J., & Cieslik, K. (2017). Distribution of plantar pressure during jogging barefoot or in minimalistic shoes in people who used to run in cushioned shoes. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 57(5), 565–571.
- Tam, N., Astephen Wilson, J. L., Coetzee, D. R., van Pletzen, L., & Tucker, R. (2016). Loading rate increases during barefoot running in habitually shod runners: Individual responses to an unfamiliar condition. *Gait and Posture*, 46, 47–52. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.02.013>
- Tsung, B. Y. S., Zhang, M., Fan, Y. B., & Boone, D. A. (2003). Quantitative comparison of plantar foot shapes under different weight-bearing conditions. *Journal of rehabilitation research and development*, 40(6), 517–526. <https://doi.org/10.1682/JRRD.2003.11.0517>
- Warne, J. P., Smyth, B. P., Fagan, J. O. C., Hone, M. E., Richter, C., Nevill, A. M.,

... Warrington, G. D. (2017). Kinetic changes during a six-week minimal footwear and gait-retraining intervention in runners. *Journal of Sports Sciences*, 35(15), 1538–1546. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1224916>

Número de citas totales / Total references: 33 (100%)

Número de citas propias de la revista / Journal's own references: 0 (0%)