

INFLUENCIA DEL TACÓN EN EL APOYO ESTÁTICO. ESTUDIO BIOMECÁNICO MEDIANTE LA PLATAFORMA PDS-93

* SERVICIO DE TRAUMATOLOGÍA Y CIRUGÍA
ORTOPÉDICA. HOSPITAL MIGUEL SERVET.
JEFE DE SERVICIO: DR. A. HERRERA RODRÍGUEZ
** ÁREA DE TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA.
CENTRO POLITÉCNICO SUPERIOR
DE INGENIEROS. ZARAGOZA

* J. DOMINGO CEBOLLADA
* A. MARTÍNEZ MARTÍN
** J.E. LÓPEZ SOLER
** C. ORRITE URUÑUELA
* J. M.^a PÉREZ GARCÍA
* J. MARTÍNEZ VILLA
A. HERRERA RODRÍGUEZ

RESUMEN

Con el fin de estudiar la influencia de la altura del tacón del calzado en el apoyo metatarsal, hemos utilizado la plataforma PDS 93 en 50 individuos, sin patología de la marcha, 19 varones y 31 mujeres, con edades comprendidas entre 21 y 42 años.

Se han obtenido registros para cada sujeto en bipedestación: descalzo, con tacón de 2 cm. y de 4 cm., recogiendo la presión ejercida por cada metatarsiano, relacionando la carga obtenida con el peso, configuración mecánica del pie y huella plantar.

La distribución de presiones para cada metatarsiano aumenta en relación directa con la altura del tacón, siendo máxima la carga con 4 cm. Aunque existe un predominio de la carga ejercida por los metatarsianos centrales, se obtiene un desplazamiento en el reparto de presiones hacia la columna interna, estadísticamente sig-

nificativo ($p < 0,001$), en relación directa con la altura del tacón, posiblemente en relación con el comportamiento biomecánico del pie en la marcha.

Palabras clave: Pie, carga, metatarsiano, baropodometría electrónica.

INTRODUCCIÓN

Aunque el uso del calzado fue adoptado muy pronto en Europa (los griegos utilizaban las esparteñas, los romanos adoptaron los coturnos, cuya suela, más gruesa, permitía a los actores parecer más altos), el desequilibrio anteroposterior del calzado no aparece en Europa hasta Luis XIV. En el siglo XVIII es cuando se pusieron de moda (3) los tacones similares a los de aguja posteriores.

La moda puede influir mucho en el tipo de zapato; hoy se busca la comodidad y se tiende a llevar calzado plano, aunque se siguen llevando zapatos de tacón alto.

Algunos estudios se han centrado en analizar las variaciones biomecánicas que se producen cuando se camina con tacón alto (9, 10, 16).

Los avances en baropodometría electrónica permiten conocer la distribución de presiones en la huella plantar y por lo tanto medir más exactamente la transmisión de cargas en el antepié, que los métodos clásicos. Su aplicación en el estudio del apoyo metatarsal en bipedestación supone un avance en la interpretación del comportamiento mecánico de los metatarsianos en carga.

Con este fin, hemos utilizado la plataforma PDS 93, de alta resolución (matriz de 2048 captosres), para estudiar la influencia de la altura del tacón del calzado en el apoyo metatarsal.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para ello, se han realizado registros de ambos pies, en 50 sujetos, sin patología de la marcha, entre el personal sanitario del Centro, 19 varones y 31 mujeres, con edades comprendidas entre 21 y 42 años (edad media de 30,4 años).

En el podoscopio electrónico se obtuvieron registros para cada pie en las siguientes posiciones: colocación normal en bipedestación, similar a la adoptada en el podoscopio convencional; bipedestación con un alza posterior de 2 centímetros y por último apoyo con tacón de 4 centímetros, recogiendo la presión ejercida por cada metatarsiano.

El software creado en entorno Windows, de fácil manejo, proporciona para cada registro: un histograma de los centros de presión; las coordenadas del centro de presión; la carga estimada soportada por el pie, con su distribución en el antepié y en el talón. Así mismo, posibilita la sección del corte seleccionado a ni-

vel de las cabezas de los metatarsianos, con el porcentaje de carga transmitida por cada una de ellas. Además, como aconseja Viladot se ha valorado el apoyo de los dedos.

De esta forma con los datos obtenidos se ha creado una base de datos, procesando los resultados por medio del paquete estadístico SPSS. Para la comparación de los valores de carga metatarsal obtenidos en las diferentes posturas de apoyo, se ha utilizado el test de Friedman, que es un test no paramétrico (ya que la distribución no es normal o paramétrica) y para especificar más, se ha aplicado un test de Wilcoxon entre cada dos grupos (posiciones de registro). Para ver si las diferencias entre los valores de carga a nivel de los metatarsianos eran significativas en relación con el sexo, se ha utilizado el test de Mann Whitney. También se ha analizado la posible relación entre carga del antepié, anchura del mismo y los valores de apoyo metatarsal, utilizando el parámetro denominado coeficiente de correlación.

RESULTADOS

En 39 personas la huella era normal, 9 presentaban un pie cavo y 2 un pie plano. El peso medio ha sido de 62,41, con un mínimo de 43 y un máximo de 95 kilos. El valor medio del índice de Chippaux ha sido de 28,57 y 0,38 para el de Staheli.

La carga transmitida al antepié fue de 43,9, 65,7 y 74,2 en cada grupo y el resto complementario. 56,1, 34,3 y 25,8 la carga ejercida a través del retropié (Fig. 1).

En el grupo primero, la media de apoyo de los dedos con cifras valorables de presión fue de 1,8, en el segundo con alza de 2 cm. fue de 3,1 y 3,9 cuando se colocó un tacón de 4 cm. El histograma de los puntos de presión muestra una media de 288,14 puntos con un mínimo de 133 y un máximo de 409 puntos.

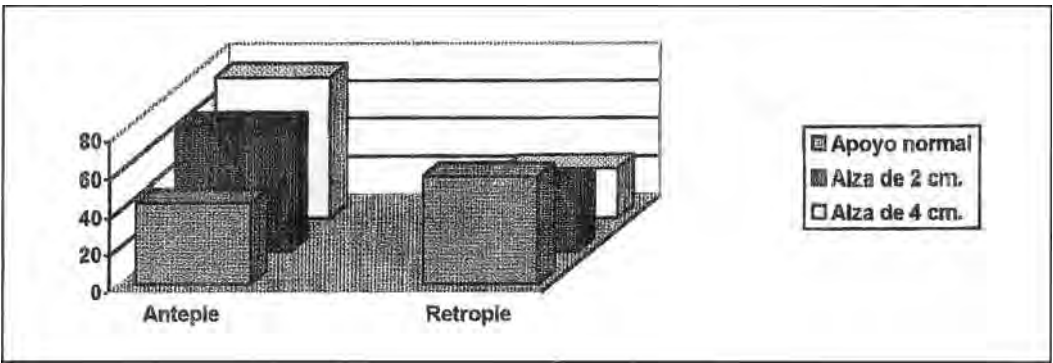


Fig. 1. Porcentaje medio de carga transmitida al anteplé y retroplé.

La carga puntual de la cabeza de los metatarsianos cifrada en porcentaje relativo a la carga total ejercida en el anteplé, se muestra en la figura 2, pudiéndose ver un predominio de la carga central en todos los grupos del presente estudio, obteniéndose un desplazamiento en el reparto de presiones hacia la columna interna, con la colocación de las alzas, aumentando para el primer y segundo metatarsianos, y disminuyendo para el tercer, cuarto y quinto, en relación directa con su altura (Figs. 3, 4 y 5).

La tabla 1 muestra los valores medios de carga de cada uno de los metatarsianos, en relación con la posición de registro.

El análisis estadístico de los resultados obtenidos muestra las diferencias más significativas, $p < 0,001$, entre la bipedestación normal y el apoyo con mayor tacón (4 cm.), para todos los metatarsianos a excepción del tercero. Cuando el apoyo se realizó con tacón de 2 cm., las diferencias más significativas, $p < 0,001$, son para el segundo y quinto. En menor grado, $p < 0,05$, para el primero y el cuarto. Si comparamos los resultados de los grupos de apoyo con alza entre sí, las diferencias son significativas para el 1 y IV metatarsianos, $p < 0,01$; en menor grado, $p < 0,05$, para el II y máximas, $p < 0,001$, para el V. No hay diferencias significativas entre los diferentes grupos de apoyo para el tercer metatarsiano.

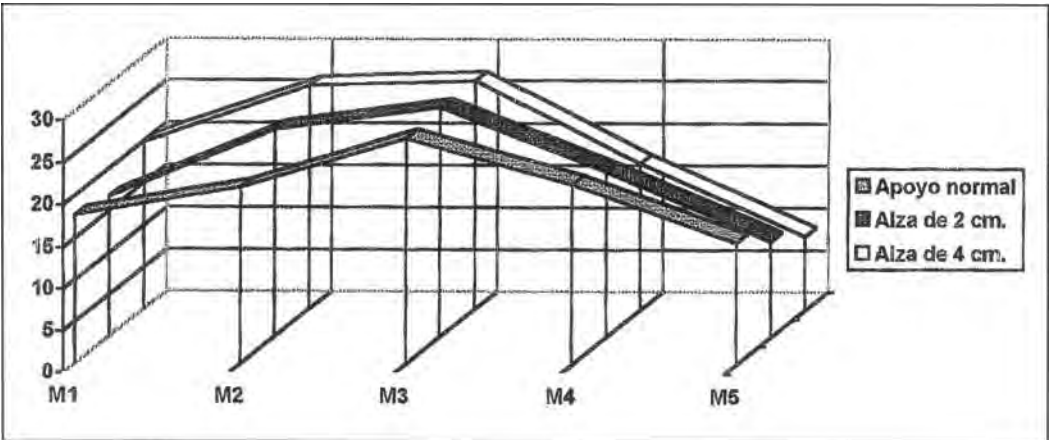


Fig. 2. Porcentaje medio de la carga a nivel de la cabeza de los metatarsianos.

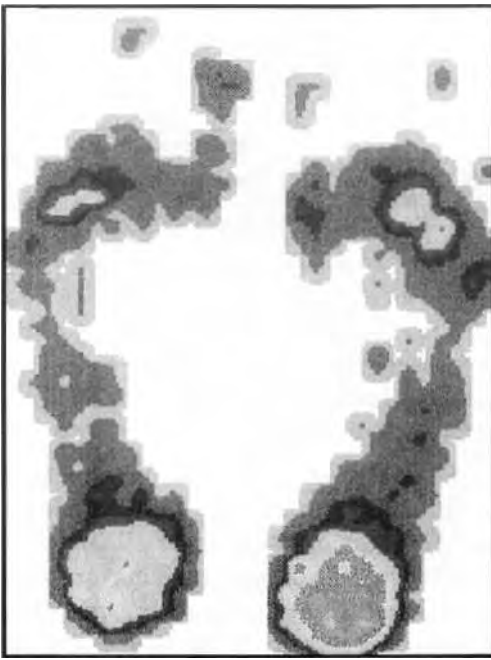


Fig. 3. Registro de ambos pies, en bipedestación sin alzas.

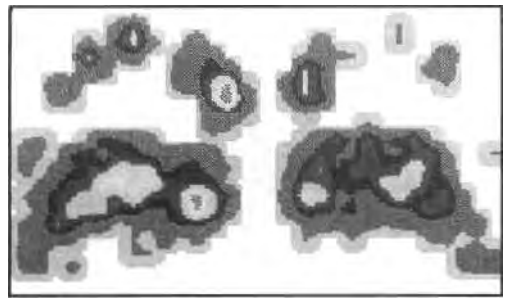


Fig. 4. Podograma con tacón de 2 cm.

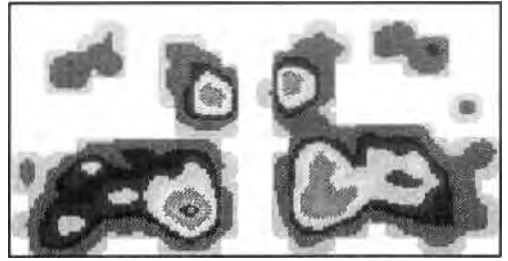


Fig. 5. Desplazamiento de la carga a la columna interna, con tacón de 4 cm.

	A		B		C	
	Media	D.S	Media	D.S	Media	D.S
M1	15,75	5,7	16,7	8'5	19,93	10,2
	_____ *		_____ **		_____ ***	
M2	21'11	6,7	24,71	6,1	26,6	6,2
	_____ ***		_____ *		_____ ***	
M3	26,96	5,8	27,3	4,9	27,18	5,3
M4	21,54	6,7	19,73	5,5	17,46	4,5
	_____ *		_____ **		_____ ***	
M5	14,62	7,9	11,54	4,7	8,81	3,7
	_____ ***		_____ ***		_____ ***	

Tabla 1. Medias de los porcentajes de carga a nivel de las cabezas de los metatarsianos en los diferentes apoyos: A. Apoyo normal. B. Apoyo con alza de 2 cm. C. Apoyo con tacón de 4 cm., indicando si las diferencias entre los diferentes grupos son significativas: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$ y *** $p < 0,001$.

Los registros correspondientes de la presión de carga metatarsal según el sexo, muestran un predominio central con valores mayores del apoyo del tercer y segundo metatarsianos en las mujeres (tabla 2). A nivel de la primera cabeza la carga resulta mayor en los varones. Estadísticamente las diferencias son significativas para el segundo y cuarto metatarsianos en el apoyo con alza de 2 cm. Cuando el apoyo se realiza con el alza de 4 cm. los valores medios del apoyo metatarsal son similares en varones y mujeres.

Por último, la relación entre la carga transmitida al antepié, el apoyo de los metatarsianos y la anchura del registro se muestra en la tabla 3, considerando significativa la relación si $p < 0,05$. Existe una correlación significativa para los cuatro últimos metatarsianos, con signo negati-

vo para el tercero, cuarto y quinto, es decir, al aumentar la carga disminuye la presión de la cabeza. No existe correlación entre la carga y la anchura del registro en el antepié.

DISCUSIÓN

Existe un predominio de la carga central en todos los grupos del presente estudio, obteniéndose un desplazamiento en el reparto de presiones hacia la columna interna, con la colocación de los tacones, aumentando para el primer y segundo metatarsianos, y disminuyendo para el tercer, cuarto y quinto, en relación directa con su altura, sin diferencias significativas para el tercero. Este comportamiento corrobora el concepto actual biomecánico del pie y su adaptación a la sobrecarga.

	M1		M2		M3		M4		M5	
	Media	D.S	Media	D.S	Media	D.S	Media	D.S	Media	D.S
Varones	16'63		21'73		26'98		20'16		14,48	
Mujeres	15'57		22'58		27'34		20'12		14,37	
A										
Varones	16'65		22'78		26'96		21'11		12'48	
Mujeres	16'46		25'67		27'27		18'71		11'87	
B	*									
Varones	20'98		26'46		26'23		17'56		8'75	
Mujeres	20'13		26'86		27'12		17'23		8'64	
C										

Tabla 2. Valores medios del apoyo metatarsal: A. Apoyo normal. B. Apoyo con alza de 2 cm. C. Apoyo con tacón de 4 cm., en varones y mujeres (* $p < 0,001$).

CARGA	Coefficiente de correlación
I	0'0481
II	0'3572 *
III	-0'1318 *
IV	-0'1711 *
V	-0'3894 *
Anchura antepie	0'0749

Tabla 3. Correlación entre la carga transmitida al antepié, apoyo metatarsal y anchura del mismo (* $p < 0,05$).

En su porción media, según Hendrix (6), el pie actuaría como una barra de torsión, que en su porción o barra anterior estaría formada por el eje del 2.º y 3.º metatarsianos. Como hicieron notar De Doncker y Kowalski (2), esta paleta media metatarsal coincide con el eje geométrico, anatómico, estático y dinámico del antepié.

En su conjunto, pues, el antepié se encontraría formado por una paleta central relativamente fija y por dos paletas laterales estabilizadoras, cada una con su musculatura independiente. Durante el balanceo normal del cuerpo humano y en la adaptación al terreno, el pie se acomoda a través de la movilidad de los elementos laterales. En estudios EMG (1, 4, 14), es la sobrecarga o el cambio de posición, el simple balanceo fisiológico del cuerpo, lo que fuerza la contracción muscular.

Existe una correlación significativa entre la carga que se transmite con el tacón y el apoyo metatarsal, con un desplazamiento de la carga metatarsal hacia la columna o paleta interna, que estaría relacionada con el comportamiento biomecánico descrito del pie en sobrecarga o en la marcha (8, 12, 13, 15).

El valor medio del índice de Chippaux se aproxima a la media 27,1 de Laclériga y Cara (7) que a la media 34,15 de Gómez Pellico y cols. (5). El índice del arco de Staheli obtenido es similar. Los valores de carga transmitida al antepié, no coinciden con los descritos por Padovani con alza de 2 cm. (11), posiblemente porque al cargar todo el peso sobre un solo pie las condiciones biomecánicas difieren.

Aunque existe un predominio de la carga central en las mujeres, sólo se aprecian diferencias significativas para el II y el IV con tacón de 2 cm. Es decir, no se producen diferencias, en relación con el sexo, en el comportamiento mecánico del antepié sometido a sobrecarga por la altura del tacón. Hay que reseñar, que ningun-

na de las mujeres estaba acostumbrada a llevar zapato de tacón alto.

CONCLUSIONES

- Existe un predominio de la carga central.

- La altura del tacón en el calzado influye de una forma directa en el apoyo metatarsal, con un desplazamiento de la carga hacia la columna interna.

- El sexo no implica un comportamiento estático mecánico diferente del pie con la colocación de las alzas.

BIBLIOGRAFÍA

(1) BASMAJIAN, J.V.; STEKO, G.: «The role of muscles in arch support of the foot. An electromyographic study». *J. Bone Jt. Surg.*, 45A: 1184. 1963.

(2) DE DONCKER, E.; KOWALSKY, C.: «Le pied normal et pathologique». *Acta Med. Belg.*, 36,4-5,1970.

(3) DUCROQUET, R.I. y P : «Marcha normal y patológica». Ed. Toray Masson, Barcelona, 1982.

(4) GIANNISTRAS, N.J.: «Transtornos del pie». *Salvat*: 15-18. Barcelona, 1979.

(5) GÓMEZ PELLICO, L.; LLANOS ALCAZAR, L.F; RUBIO, J.M.: «Análisis estadístico de la anatomía de la bóveda plantar mediante el fotopodograma». *Rev. Ortop. Traum.*, 17 IB, 3:561-574,1973.

(6) HENDRIX, G.: «Pathogénie des déformations statiques des oûtres du pied». *Bull. Soc. Belg. d'Orthop.*, VI, 3, 1934.

(7) LACLERIGA, A.F.; CARA, J.A.: «Estudio comparativo de parámetros morfológicos, radiológicos y de la huella plantar, en el pie no patológico». *Rev. Med. Cir. Pie*, IV, 2: 5-10, 1990.

(8) LLANOS ALCÁZAR, L.F.; FERNÁNDEZ BAIRÉN, M.; NÚÑEZ SAMPER, M.: «Anatomía funcional del pie (Biomorfología y Biomecánica)». Rev. Med. Cir. Pie, II, 2:17-23,1988.

(9) OPILA-CORREIRA, K.A.: «Kinematics of high-heeled gait». Arch. Phys. Med. Rehabil. Vol 71: 304-310, 1990.

(10) OPILA-CORREIRA, K.A.: «Kinematics of high-heeled gait with consideration for age and experience of wearers». Arch. Phys. Med. Rehabil. Vol. 71: 905-909,1990.

(11) PADOVANI: «Physiologie du pied, pied plat, valgus douloureux». Traité Chir. Orthop., tomo V. Masson. París, 1937.

(12) SAN GIL, A.; FORRIOL CAMPOS, F.; GÓMEZ PELLICO, L.: «Análisis de la distribución de los centros de pre-

Sión sobre la huella plantar». Rev. Med. Cir. Pie, III, 1: 7-12,1989.

(13) SAN GIL, A.; GÓMEZ PELLICO, L.; FORRIOL, F.; DIEZ ULLOA, A.: «Análisis dinámico de la marcha: estado de la influencia del calzado en los centros de presión sobre la huella plantar». Rehabilitación, 27, 3. 192-199, 1993.

(14) VALENTI, V.; VILADOT, A.: «Principios de biomecánica del antepié». Rev. Med. Cir. Pie: IV, 1: 9-12,1990.

(15) VILADOT, A.: «Biomecánica: estática y exploración». En *Patología del antepié*. Ed. Toray, S.A.: 29-54, Barcelona, 1984.

(16) VILLARROYA, A.; COLOMA, S.; LOITI, Y.: «Influencia de las diferentes alturas de tacón en la marcha. Estudio goniométrico». Biomecánica, II: 66-73, 1993.