

GRADO DE SIMETRÍA EN LAS PRESIONES PLANTARES DURANTE LA MARCHA

Dres. A. Villarroya Aparicio¹, J.M. Pérez García², S. Nerín Ballabriga¹,
T. Moros García¹, A. Coarasa Lirón de Robles¹

¹Departamento de Fisiatría y Enfermería. Universidad de Zaragoza.

²Servicio de Cirugía Ortopédica y Traumatología. Hospital Universitario Miguel Servet. Zaragoza

Aunque algunos autores asumen la simetría durante la marcha, otros han obtenido diferencias entre ambos lados en diferentes parámetros. En este trabajo hemos analizado las diferencias en las presiones plantares registradas entre ambos pies al caminar. **MATERIAL Y MÉTODOS:** El estudio se realizó en 27 sujetos (edad media: 20 años \pm 3,5), todos diestros, y se registraron las presiones plantares de ambos pies mediante un sistema de baropodometría electrónico (PDM 240). **RESULTADOS Y DISCUSIÓN:** Durante la marcha normal, los máximos picos de presión se producen en el retropié, seguido de las cabezas del segundo y del tercer metatarsiano. En los casos analizados se verifica una tendencia a que el valor medio –tanto de la presión máxima como de la promedio a lo largo del ciclo– sea mayor en el lado derecho, aunque solamente son significativas las diferencias en los valores promedio de presión a lo largo del ciclo bajo la cabeza del primer metatarsiano. La distribución de las presiones entre el retropié y el antepié es semejante en ambos pies; sin embargo, en la distribución de las presiones entre los cinco puntos de apoyo del antepié existe una tendencia, sin significación estadística, a una mayor participación de la cabeza del primer metatarsiano del lado derecho.

PALABRAS CLAVE: Marcha. Baropodometría.

SIMETRY OF PLANTAR PRESSURES DURING GAIT: Although some authors assume the symmetry during gait, others have obtained differences between both sides in different parameters. In this paper, differences in plantar pressures registered during gait between both feet have been examined analyzed. **MATERIAL AND METHODS:** The study was carried out with 27 people (average age: 20 years \pm 3,5) who walked, at a comfortable speed for each of them, on a flat ground while plantar pressures of both feet were registered by means of a pressure insole system. **RESULTS AND CONCLUSIONS:** During normal gait, maximum pressure peaks were observed at the heel, followed by 2nd and 3rd metatarsal heads. In the studied cases, there exists a tendency showing that the average value, of both maximum pressures and the average pressure along the cycle of gait, is higher in the right side, although only differences in average values of pressure throughout the cycle under the 1st metatarsal head are statistically significant. The distribution of pressures between the rearfoot and the forefoot is similar in both feet, however there is a tendency, without statistical significance, in the distribution of pressures among the five support points of the forefoot, showing a higher participation of the 1st metatarsal head of the right side.

KEY WORDS: Gait. Pedobarography.

INTRODUCCIÓN

Durante la marcha, las distintas zonas de la planta del pie están sometidas a determinadas presiones que pueden depender de algunos factores personales y de otros externos, como son el peso⁽¹⁻⁴⁾, la edad⁽⁵⁻⁹⁾, el sexo⁽¹⁰⁻¹²⁾, el calzado⁽¹³⁻¹⁶⁾, la cadencia y velocidad^(1,10,17-21) y el tipo de terreno^(13,22), principalmente. La modificación de la intensidad o del reparto de presiones en la planta del pie puede dar lugar a diversas patologías; y, a la inversa, patologías concretas inducen una modificación de dichas presiones. De ahí que sea impor-

tante el conocimiento de la intensidad y distribución de las presiones y que se hayan ido describiendo distintas herramientas para poder realizar las valoraciones⁽²³⁻²⁶⁾; entre ellas se encuentran las técnicas de baropodometría electrónica, de gran utilidad, ya que permiten registrar el valor exacto de las presiones en cualquier zona de la huella plantar y constituyen un complemento importante en la exploración del pie con el fin de llegar a conocerlo con más precisión⁽²⁷⁾.

La mayoría de los estudios sobre la marcha se ha realizado en uno de los miembros inferiores, generalmente el derecho, presuponiendo que existe simetría de todos sus parámetros^(6,28,29). Pero, como dicen Gundersen *et al.*⁽³⁰⁾, la literatura muestra que tal simetría de la marcha ha sido asumida a menudo para simplificar la recogida de datos. Existen algunos trabajos que analizan la simetría en algunos aspectos de la marcha: Murray *et al.*⁽³¹⁾ no encontraron diferencias en los valores temporales; Kettelkamp *et al.*⁽³²⁾ analizaron con

Correspondencia:

A. Villarroya

Facultad de Medicina. Aulario B

c/ Domingo Miral s/n (50009 Zaragoza)

E-mail: doritav@unizar.es

electrogoniómetro la movilidad de la articulación de la rodilla, sin encontrar diferencias entre las dos; Pierrotti *et al.*⁽³³⁾ no encontraron diferencias electromiográficas en el cuádriceps entre los dos lados. Sin embargo, Ounpuu y Winter⁽³⁴⁾ estudiaron la actividad electromiográfica en ambos miembros inferiores, y encontraron diferencias significativas en el músculo sóleo, con mayor actividad en el lado dominante, y Herzog *et al.*⁽³⁵⁾, al estudiar las fuerzas de reacción, llegan a la conclusión de que es difícil analizar los datos. Por ello, a falta de estudios que demuestren la simetría de las presiones plantares al caminar, nuestro objetivo ha sido analizar y comparar la intensidad de dichas presiones plantares, así como su distribución, entre ambos pies.

MATERIAL Y MÉTODOS

Sujetos

El estudio ha sido realizado en 27 estudiantes de los cursos 1.º y 2.º de Fisioterapia, de edades entre 18 y 34 años (edad media: 20 años; desviación típica: 3,5), diestros y sin que ninguno de ellos sufriera ninguna anomalía que pudiese afectar a la marcha normal. De los sujetos que participaron en el estudio, 11 de eran varones y 16 mujeres. Todos usaron para la prueba calzado de tipo deportivo.

Material

Se utilizó el sistema de baropodometría electrónica PDM 240, constituido por plantillas, clasificadas por números para que cada sujeto utilice la que más se adapte al tamaño de su pie, que llevan incorporados unos sensores de tecnología piezorresistente capaces de medir tanto presiones estáticas como dinámicas. Los sensores están colocados del siguiente modo: dos debajo del talón, uno en la zona externa y el otro en la interna, y uno debajo de la cabeza de cada metatarsiano; disponen de un área de contacto comprendida entre 0,5 y 1 cm², y de un grosor de no más de 1 mm, lo que evita sensación de incomodidad, ya que el grosor del resto de la plantilla es de 2 mm. El rango de presiones tolerables por dichos sensores está comprendido entre 0 y 12 kg/cm². A través de un pequeño emisor, las plantillas envían las señales por radiofrecuencia a un receptor conectado al ordenador.

Metodología

La prueba consistía en caminar por un terreno llano al mismo tiempo que se recogían los valores de las presiones plantares de ambos pies. Para ello, se colocaron las plantillas en el interior de cada calzado y mediante unas cintas elásticas se fijaron los cables que las conectaban al emisor, colocado en la cintura.

Una vez preparado el dispositivo, todos caminaron sobre suelo llano, registrándose unos 15 pasos aproximadamente, a un ritmo de marcha cómodo para cada sujeto. Con los datos obtenidos se analizaron los valores máximos y promedio a lo largo del ciclo en el retropié y de forma global en el antepié, así como en cada una de las cabezas de los metatarsianos. Asimismo, se obtuvo la distribución porcentual de la presión entre el retropié y el antepié y, por otro lado, entre las cabezas de los cinco metatarsianos respecto al valor global del antepié.

Todos los datos se trataron en el programa estadístico SPSS, mediante el que se elaboró una estadística descriptiva de cada uno de los parámetros estudiados y una comparación de los valores obtenidos en cada uno de los pies, mediante una distribución *t* de Student para series no apareadas, ya que dichos valores presentaban una distribución normal al aplicar la prueba de Kolmogorov-Smirnov.

RESULTADOS

Los resultados los exponemos en dos apartados: uno, con los datos obtenidos en el retropié y, de forma global, en el antepié; y otro, con los datos referentes a las cabezas de los metatarsianos.

Los valores de presión máximos y promedio a lo largo del ciclo registrados en el antepié y retropié quedan reflejados en la **Figura 1**, y los referentes a cada una de las cabezas de los metatarsianos, en la **Figura 2**. Se observa que los valores

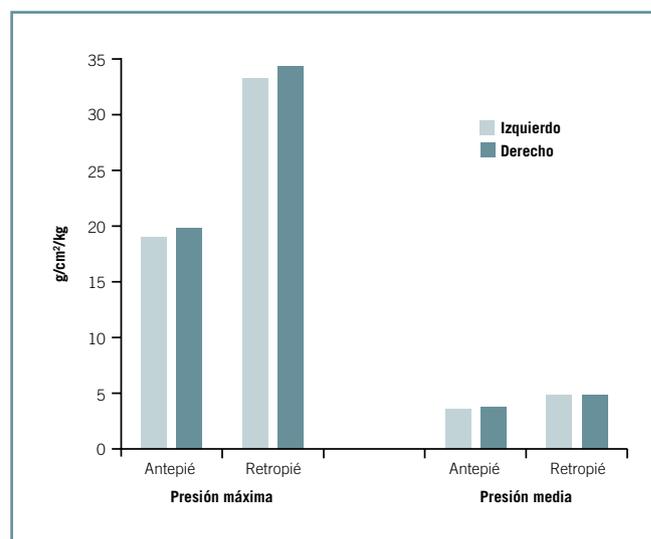


Figura 1. Valores de presión, máximos y promedio a lo largo del ciclo de marcha, en antepié y retropié, en ambos pies.

Figure 1. Mean and average pressures over the marching cycle in the forefoot and hindfoot in both feet.

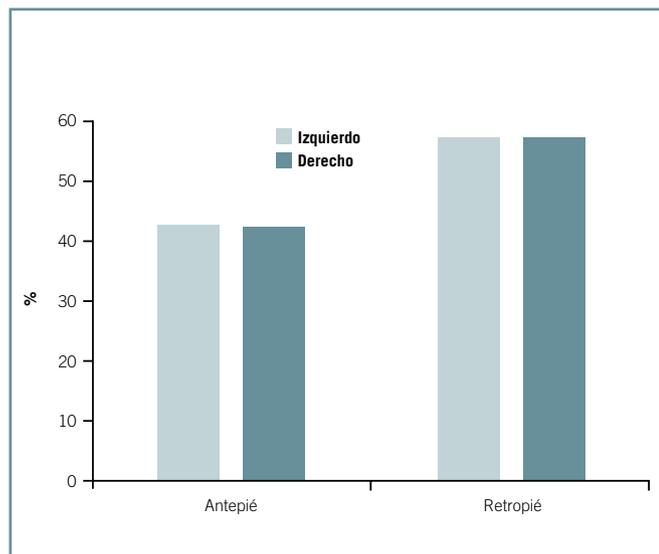


Figura 2. Distribución porcentual de la presión entre antepié y retropié, en ambos pies.

Figure 2. Percentage distribution of pressures between forefoot and hindfoot in both feet.

medios de estos parámetros son ligeramente mayores en el pie derecho que en el izquierdo, pero sin que las diferencias sean significativas, salvo en el caso de la presión promedio a lo largo del ciclo en el primer metatarsiano.

En la **Figura 3** se representa la distribución porcentual de la presión entre el antepié y el retropié, y en la **Figura 4**, la distribución entre las cinco cabezas metatarsianas; no hemos encontrado diferencias significativas entre ambos extremi-

dades, aunque se registra una tendencia hacia una mayor participación del primer radio en el pie derecho.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

El estudio de la marcha se realizó recogiendo 15 pasos ya que, aunque hay autores^(36,37) que indican que las variables cinéticas y cinemáticas se repiten en un mismo sujeto sin que tenga importancia el ciclo elegido, otros^(28,38) observan que sí existe variabilidad entre los pasos. Esta variabilidad es mayor en el inicio y final de la marcha, por lo que se desecharon los ciclos iniciales y los finales.

En el estudio realizado, tanto los picos como los valores medios de presión a lo largo del ciclo de marcha son superiores en el retropié que en el antepié (**Figura 1**), de forma que el reparto de presiones entre estas dos zonas es, respectivamente, de 57% y 43% (**Figura 2**). Hay estudios que describen menores picos de presión en el retropié que en el antepié durante la marcha^(29,39); sin embargo, la mayoría indica que la presión es mayor en aquella zona⁽⁴⁰⁻⁴³⁾, aunque con diferencias importantes según se camine descalzo o calzado, y, en este caso, según el tipo de calzado. Así, Perry *et al.*⁽¹⁵⁾ indican que con calzado duro tienden a igualarse las presiones entre antepié y retropié, mientras que con blando llegan a ser menores en este último. De todas formas, hay gran variabilidad en los datos aportados por los distintos autores, discrepancia debida principalmente a las diferentes metodologías.

En nuestro estudio, como hemos indicado, el mayor pico de presión se produce en el retropié, como también describe Comín⁽⁴⁴⁾ en su trabajo basado en la misma metodología que nosotros; ahora bien –como también indica este autor–, el

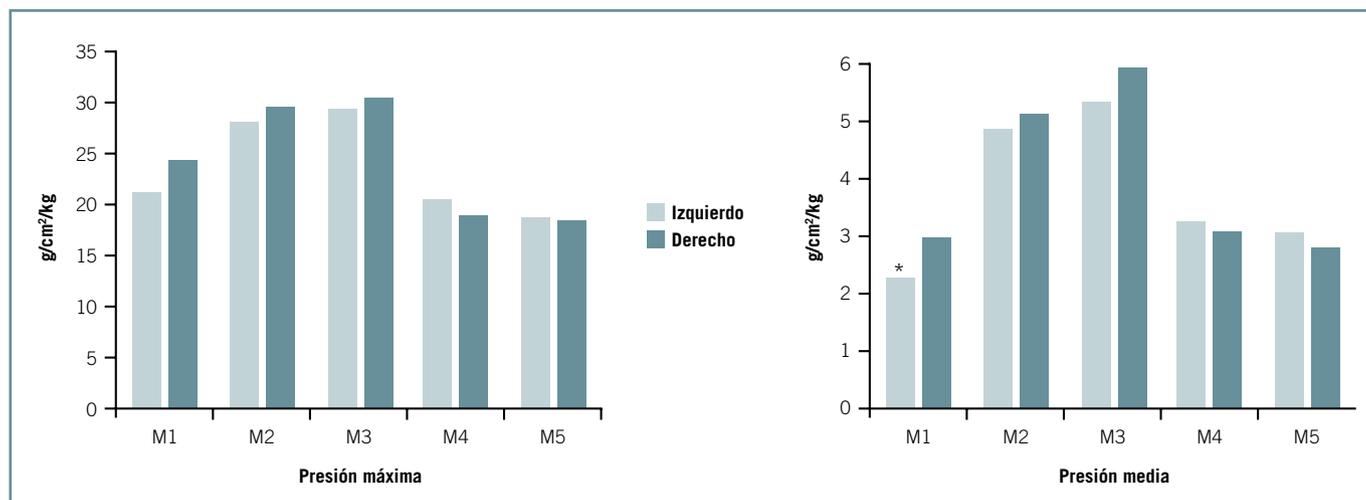


Figura 3. Valores de presión, máximos y promedio a lo largo del ciclo, en cada una de las cabezas metatarsianas, en ambos pies. * p < 0,05.

Figure 3. Maximum and average pressure through the marching cycle on each of the metatarsal heads in both feet.

mayor pico de presión en el retropié se produce si consideramos el antepié de forma global. Y debemos tener en cuenta que en el antepié la presión que soporta cada cabeza metatarsiana es diferente, de forma que en los metatarsianos laterales (4.º y 5.º) es menor que en el resto, mientras que las mayores presiones se registran en la 2.ª y en la 3.ª cabeza, puntos donde la presión máxima se aproxima mucho a la del talón y la presión media a lo largo del ciclo llega a ser igual que en éste o, incluso, a superarla.

En el reparto de presiones en el antepié entre las 5 cabezas metatarsianas también hay discrepancias entre unos estudios y otros, aunque casi todos^(6,10,18,29,43,45) coinciden, igual que hemos obtenido nosotros, en que la mayor participación corresponde a las del 2.º y del 3.º (Figura 3). Observamos (Figura 4) cómo a estos dos puntos les corresponde algo más del 50% de la presión soportada por el antepié. Esta mayor participación de la paleta central puede deberse a que, como describe Hendrix⁽⁴⁶⁾, esta zona actúa como barra de torsión que, en su parte anterior, está formada por el eje del 2.º y del 3.º metatarsianos, con mucha menor movilidad, mientras que las paletas laterales (interna, 1.º metatarsiano, y externa, 4.º y 5.º) son mucho más móviles y actúan adaptándose al terreno.

Al analizar los parámetros estudiados en ambos pies, llama la atención que los valores promedio, tanto de las presiones máximas como de las medias a lo largo del ciclo de la marcha, son mayores en el lado derecho (dominante en todos los casos) que en el izquierdo –menos en los dos metatarsianos externos–, aunque las diferencias no son significativas salvo en la presión media del primer metatarsiano. El dato parece indicar una tendencia a asumir un mayor control de la marcha con el lado dominante. Por otra parte, se observa una tendencia hacia un mayor apoyo del pie derecho respecto al izquierdo en el radio interno, es decir, hacia una mayor pronación de antepié en el lado derecho; este hecho parece relacionarse con el intento de estabilizar la marcha, ya que la mayor pronación durante ésta se ha descrito en aquellos casos en que se necesita más estabilidad, como en la marcha con tacón alto o sobre tapiz rodante, responsable de cierta inestabilidad⁽⁴⁷⁻⁴⁹⁾.

CONCLUSIONES

1. Durante la marcha normal los máximos picos de presión se producen en el retropié, seguidos de los de las cabezas del segundo y del tercer metatarsiano; sin embargo, los máximos valores de presión promedio a lo largo del ciclo se producen en la cabeza del tercer metatarsiano, seguidos, con valores semejantes, por los de la cabeza del segundo y por los del retropié.
2. Durante la marcha normal, en los casos analizados, se verifica una tendencia a que el valor medio, tanto de la pre-

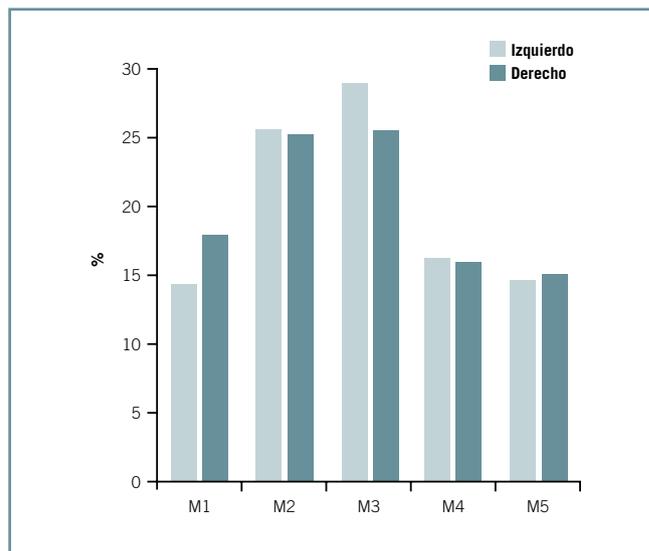


Figura 4. Distribución porcentual de la presión en cada una de las cabezas metatarsianas, en ambos pies.

Figure 4. Percentage distribution of pressures on each of the metatarsal heads in both feet.

sión máxima como de la promedio a lo largo del ciclo, sea mayor en el lado derecho, aunque sólo son significativas las diferencias en los valores promedio de presión a lo largo del ciclo bajo la cabeza del primer metatarsiano.

3. En la muestra que hemos estudiado, la distribución de las presiones entre el retropié y el antepié al caminar es semejante en ambos pies; sin embargo, en la distribución de las presiones entre los cinco puntos de apoyo del antepié existe una tendencia, sin significación estadística, hacia una mayor participación de la cabeza del primer metatarsiano del lado derecho.

BIBLIOGRAFÍA

1. Soames RW, Richardson RPS. Stride length and cadences: their influence on ground reaction forces during gait. En: Winter DA, Norman RW, Wells RP, Hayes KC, Patla AE, editores. Biomechanics IX. Champaign, IL: Human Kinetics Publishers; 1978. p. 406-10.
2. Sarnow MR, Veves A, Giurini JM, et al. In shoe foot pressure measurements in diabetic patients with at risk feet and in healthy subjects. Diabetes Care 1994; 17(9): 1002-6.
3. Pink M, Jobe FW. The foot shoe interface. En: Guten GN, editor. Running Injuries. Philadelphia: WB Saunders; 1997. p. 20-9.
4. Hills AP, Henning EM, McDonald M, et al. Plantar pressure differences between obese and non-obese adults: a biomechanical analysis. Int J Obes Relat Metab Disord 2001; 25(11): 1674-9.

5. Caranasos GJ, Israel R. Trastornos de la marcha en el anciano. *Hosp Pract* 1991; 6(10): 15-26.
6. Henning E M, Staats A, Rosenbaum D. Plantar pressure distribution patterns of young school children in comparison to adults. *Foot Ankle* 1994; 15(1): 35-40.
7. Woodburn J, Helliwell PS. Observations on the F-Scan in shoe pressure measuring system. *Clin Biomech*, 1996; 11(5): 301-4.
8. Damiano DL, Abel MF, Fontaine J, et al. Age related changes in plantar pressure during gait in normally developing children. *Gait Posture* 1998; 7(2): 175-6.
9. Bertsch C, Unger H, Winkelmann W, et al. Evaluation of early walking patterns from plantar pressure distribution measurements. First year results of 42 children. *Gait Posture* 2004; 19(3): 235-42.
10. Soames RW. Foot pressure patters during gait. *J Biomed Eng* 1985; 7: 120-6.
11. Nyska M, McCabe C, Linge K, et al. Plantar foot pressure during treadmill walking with hig-heel and low heel shoes. *Foot Ankle Int* 1996; 17 (11): 662-6.
12. Nyska M, Sofer D, Porat A, et al. Plantar foot pressures in pregnant women. *Isr J Med Sci* 1997; 33: 139-46.
13. Koning JJ, Nigg BN, Gerritsen KG. Assessment of the mechanical properties of area-elastic spot surfaces with video analysis. *Med Sci Sports Med* 1997; 29(12): 1664-68.
14. Nyska M, McCabe C, Linge K, et al. Effect of the shoe on plantar foot pressures. *Acta Orthop Scand* 1995; 66(1): 53-6.
15. Perry JE, Ulbrecht JS, Derr JA, et al. The use of running shoes to reduce plantar pressures in patients who have diabetes. *J Bone Joint Surg* 1995;77A(12): 1819-28.
16. Kastenbauer T, Sokol G, Auinger M, et al. Running shoes for relief of plantar pressure in diabetic patiens. *Diabetic Med* 1998; 15(6): 518-22.
17. Zhu H, Werstch J, Harris GF, et al. Walking cadence effect on plantar pressures. *Arch Phys Med Rehabil* 1995; 76: 1000-5.
18. Flynn T, Canavan P, Cavanagh P, et al. Plantar pressure reduction in an incremental weight-bearing system. *Phys Ther* 1997; 77(4): 410-6.
19. Kernozek TW, Zimmer KA. Reliability and running speed effects of in-shoe loading measuremet during slow treadmill running. *Foot Ankle Int* 2000; 21(9): 749-52.
20. Burnfield JM, Few CD, Mohamed OS, et al. The influence of walking speed and footwear on plantar pressures in older adults. *Clin Biomech* 2004; 19: 78-84.
21. Segal A, Rohr E, Orendurff M, et al. The effect of walking speed on peak plantar pressure. *Foot Ankle Int* 2004; 25(12): 926-33.
22. Nigg BN, Anton M. Energy aspects for elastic and viscous shoes soles and playing surfaces. *Med Sci Sports Med* 1995; 27(1): 92-7.
23. Hughes J, Pratt L, Linge K, et al. Reliability of pressure measurements: The EMED F-System. *Clin Biomech* 1991; 6: 14-8.
24. Sánchez-Lacuesta J. Biomecánica de la marcha humana normal. En: Sánchez-Lacuesta J, Prat J, Hoyos J, Viosca, Soler-García C, Comín M et al., editores. *Biomecánica de la marcha humana normal y patológica*. Valencia: Generalitat Valenciana; 1993. p. 19-112.
25. Pérez García JM, Herrera A, Domingo J, et al. Sistema electrónico portátil PDM 240 para el análisis estático y dinámico del apoyo plantar. *Revista de Medicina y Cirugía del Pie* 1997; XI(1): 55-9.
26. Tsung BY, Zhang M, Mak AF, et al. Effectiveness of insole on plantar pressure redistribution. *J Rehabil Research Dev* 2004; 41(6A): 767-74.
27. Rozema A, Ulbrech JS, Pammer SE, et al. In-shoe plantar pressure during activities of daily living: Implications for therapeutic footwear desing. *Foot Ankle Int* 1996; 17(6): 352-9.
28. Bennett PJ, Duplonk L R. Pressure distribution beneath the human foot. *J Am Podiatr Med Assoc* 1993; 83(12): 674-8.
29. Ashry HR, Lavery LA, Murdoch DO, et al. Effectiveness of diabetic insoles to reduce foot pressures. *J Foot Ankle Surg* 1997; 36(4): 268-71.
30. Gundersen LA, Valle DR, Barr AE, et al. Bilateral analysis of the knee and ankle during agit: an examination of the relationship between lateral dominance and symmetry. *Phys Ther* 1989; 69(8): 640-50.
31. Murray MP, Drought AB, Kory RC. Walking patterns of normal men. *J Bone Joint Surg* 1964; 46-A: 335-60.
32. Kettelkamp D, Johnson RJ, Smidt GL, et al. An electrogoniometric study of knee motion in normal gait. *J Bone Joint Surg* 1970; 52(A): 775-90.
33. Pierotti SE, Brand RA, Gabel RH, et al. Are leg electromyogram profiles symmetrical? *J Orthop Res* 1991; 9: 720-9.
34. Ounpuu S, Winter DA. Bilateral electromyographical analysis of the lower limbs during walking in normal adults. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1989; 72: 429-38.
35. Herzog W, Nigg BM, Read LJ, et al. Asymmetries in ground reaction force patterns in normal human gait. *Med Sci Sports Exerc* 1989; 21(1): 110-4.
36. Kadaba MP, Ramakrishnan HK, Wootten ME, et al. Repeatability of kinematic, kinetic and electromyographic data in normal adult gait. *J Orthop Res* 1989; 7: 849-60.
37. Kadaba MP, Ramakrishnan HK, Wootten ME. Measurement of lower extremity kinematics during level walking. *J Orthop Res* 1990; 8: 383-92.
38. Bransby-Zachary MAP, Stother IG, Wilkinson RW. Peak pressures in the forefoot. *J Bone Joint Surg (Br)* 1990; 72-B: 718-21.

39. Holmes GB, Timmerman L, Willitis N. Practical considerations for the use of the pedobarograph. *Foot Ankle* 1991; 12(2): 105-8.
40. Hutton WC, Dhanendran M. A study of the distribution of load under the normal foot during walking. *Int Orthop* 1979; 3: 153-7.
41. Cavanagh PR, Michiyoshi A. A technique for the display of pressure distributions beneath the foot. *J Biomech* 1980; 13: 69-75.
42. Viladot A. Estudio de la marcha normal y patológica. En: Viladot R, Cohí O, y Clavell S, editores. *Ortesis y prótesis del aparato locomotor. Extremidad inferior*. Barcelona: Masson; 1987. p. 39-52.
43. Baumhauer JF, Wervey R, Mcwilliams J, et al. A comparison study of plantar pressure in standardized shoe, total cast and prefabricated pneumatic walking brace. *Foot Ankle Int* 1997; 18(1): 26-33.
44. Comín M. Influencia sobre las presiones plantares del calzado blando y duro. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza. 1999.
45. Hsi WL, Kang JH, Lai JS. Distribution of plantar pressure on the second metatarsal head during walking. *J Formos Med Assoc* 2004; 103(7): 540-5.
46. Hendrix G. Pathogenie des déformations statiques des voutes du pied. *Bull Soc Belg Orthop* 1934; VI (3).
47. Schwartz RP, Heath AL, Misiak WJ. The influence of the shoe in gait. *J Bone Joint Surg* 1985; 17: 406-18.
48. Soames RW, Clark C. Heel height-induced changes in metatarsal loading patterns during gait. *Biomechanics IX-A*, 1985; 446-50.
49. Villarroya A, Alebesque S, Pérez JM. Modificación de las presiones plantares al caminar en tapiz rodante. *Revista de Medicina y Cirugía del pie* 2000; XIV (2): 25-30.