

Estudio del patrón de presiones plantares en pies con *hallux valgus* mediante un sistema de plantillas instrumentadas

A. Martínez-Nova^a, J.C. Cuevas-García^a, R. Sánchez-Rodríguez^a, J. Pascual-Huerta^b y E. Sánchez-Barrado^c

^aProfesor Colaborador. Departamento de Enfermería. Centro Universitario de Plasencia. Podología. Universidad de Extremadura. Plasencia. Cáceres.

^bProfesor Asociado. Departamento de Podología. Universidad Europea de Madrid. Madrid.

^cProfesor Asociado. Departamento de Enfermería. Centro Universitario de Plasencia. Podología. Universidad de Extremadura. Plasencia. Cáceres.

Introducción. Las presiones que soporta el antepié en una patología como el *hallux valgus* ha sido un tema discutido, con resultados dispares. Este artículo pretende comparar las presiones soportadas por el antepié en un grupo de pies normales y en un grupo de pies con *hallux valgus* leves o moderados.

Material y métodos. Se realiza un estudio en 60 sujetos (30 con *hallux valgus* y 30 con pies sanos), que son analizados con el sistema Biofoot/IBV de plantillas instrumentadas. El sistema emplea unas finas plantillas (0,7 mm de grosor) con 64 sensores piezoeléctricos. Se analiza la presión máxima en siete regiones, las cinco cabezas metatarsales, el *hallux* y los dedos menores.

Resultados. Los picos máximos de presión en el grupo control se localizaron significativamente en segunda y tercera cabeza metatarsal ($p = 0,001$). El grupo de pies con *hallux valgus* registraron picos en la primera cabeza y en el *hallux* ($p = 0,001$). La localización de los picos de presión en el primer radio sugiere la pronación como factor desencadenante del *hallux valgus*.

Conclusiones. Los sistemas de plantillas instrumentadas son excelentes para analizar las presiones normales y patológicas. Son necesarios estudios más amplios para llegar a conclusiones más precisas. Se abren diferentes vías de investigación, como el estudio de las presiones a cadencias y velocidades determinadas y con diferentes calzados.

Palabras clave: *pie, presión, hallux valgus, baropodometría, biofoot.*

Correspondencia:

A. Martínez Nova.
Centro Universitario de Plasencia.
Avda. Virgen del Puerto, 2.
10600 Plasencia. Cáceres.
Correo electrónico: podoalf@unex.es

Recibido: abril de 2006.

Aceptado: enero de 2007.

Study of plantar pressure patterns by means of instrumented insoles in subjects with *hallux valgus*

Introduction. The pressures exerted on the forefoot in a condition like *hallux valgus* have been the subject of much debate, with dissimilar results. This article aims to compare the pressures borne by the forefoot in a group of normal feet with those it bears in a group of feet with mild or moderate *hallux valgus*.

Materials and methods. A study was performed of 60 subjects (30 with *hallux valgus* and 30 with normal feet), who were analyzed with the Biofoot/IBV instrumented insole system. The system uses a series of thin insoles (0.7 mm-thick) with 64 piezoelectric sensors. Maximum pressure was analyzed in seven regions, i.e. the five metatarsal heads, the *hallux* and the lesser rays.

Results. Maximum pressure peaks in the control group were measured significantly in the second and third metatarsal heads ($p = 0.001$). The *hallux valgus* group had its pressure peaks at the first metatarsal head and at the *hallux* ($p = 0.001$). The presence of pressure peaks at the first ray points to pronation as the factor leading to *hallux valgus*.

Conclusions. Instrumented insole systems are an excellent tool to analyze normal and pathological pressures. More detailed studies are necessary to come to more definite conclusions. In future, different research ways could be followed such as the study of pressures at pre-established values of cadence and speed of gait and with different kinds of footwear.

Key words: *foot, pressure, hallux valgus, baropodometry, biofoot.*

El desarrollo tecnológico de los dispositivos de análisis baropodométrico permite avanzar en el estudio del pie sano y patológico. La baropodometría electrónica permite conocer la distribución de presiones en la huella plantar y cuantificar la transmisión de cargas en el pie. Es un método com-

plementario a la exploración clínica, muy útil para ayudar a un mejor conocimiento de la patología del pie. La baropodometría se ha empleado para el análisis de la distribución de presiones en el pie sano, estudio de las presiones con diferentes calzados, prevención de las deformidades del pie, diseño y comprobación de tratamientos ortésicos, prevención y tratamiento de alteraciones en el pie diabético, estudio de las presiones plantares en medicina deportiva y de rehabilitación, diseño de calzado, así como para la evaluación de diversos tratamientos quirúrgicos¹⁻¹³.

El análisis y la cuantificación numérica de las presiones plantares permite conocer el comportamiento del pie y comprobar los resultados clínicos y funcionales tras el tratamiento efectuado, quirúrgico, rehabilitador u ortésico. Este artículo tiene como objetivo medir las presiones que soporta el antepié en pies con *hallux valgus* y compararlas con un grupo control de pies no patológicos.

MATERIAL Y MÉTODO

Se realiza un estudio prospectivo con una muestra de 60 personas ($n = 60$), a los que se efectúa una medición baropodométrica, tras la obtención del consentimiento informado. Los procedimientos seguidos están aprobados por la comisión ética del centro de acuerdo con la declaración de Helsinki.

Sesenta pies (30 personas) corresponden al grupo control. Para su inclusión en este grupo no deben existir alteraciones morfológicas, ni desviaciones evidentes entre retropié-antepié ni signos de dolor. Sesenta pies (30 personas) corresponden al grupo *hallux valgus*. Para su inclusión en el grupo de *hallux valgus* éstos deben ser leves o moderados, sin grandes deformidades y con una sintomatología moderada.

Para el estudio se emplea el sistema BioFoot de plantillas instrumentadas (IBV, Valencia, España). Cada plantilla consta de 64 sensores piezoeléctricos distribuidos selectivamente y con un espesor total de 0,7 mm (fig. 1). Las plantillas van unidas a dos amplificadores conectados por un cable al módulo de transmisión que se coloca en la cintura del paciente. Este módulo envía los datos captados por telemetría a un ordenador con tarjeta de recepción de datos y software que permite registrar y analizar los datos recibidos. Este sistema tiene un alcance de 200 m y una autonomía de hasta 3 horas, lo que permite hacer pruebas de campo. El sistema permite captar mapas numéricos de presión con frecuencias entre 50 y 250 mHz (fig. 2). La unidad de medida es el kilopascal ($1 \text{ kpa} = 1/98 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$).

Se hace caminar a todos los sujetos en un pasillo de 40 metros, en el mismo sentido de la marcha y con las mismas condiciones de calor y humedad. Se pide a los sujetos que acudan con calzado confortable, de tacón no superior a 4 cm. Se procede a conectar el equipo al sujeto, adaptando las plantillas de su talla al calzado (fig. 3). Los pacientes te-

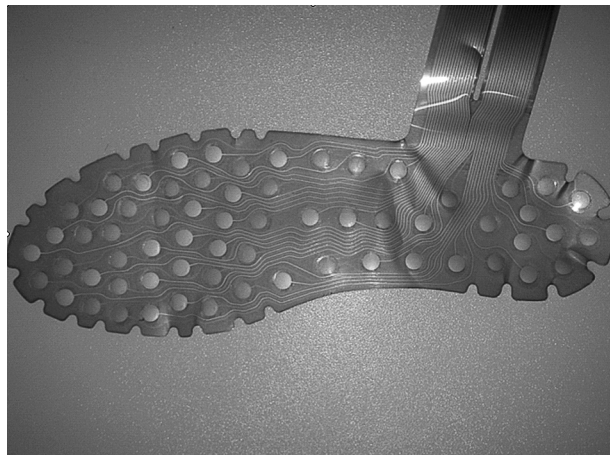


Figura 1. Plantilla con 64 sensores piezoeléctricos de presión.

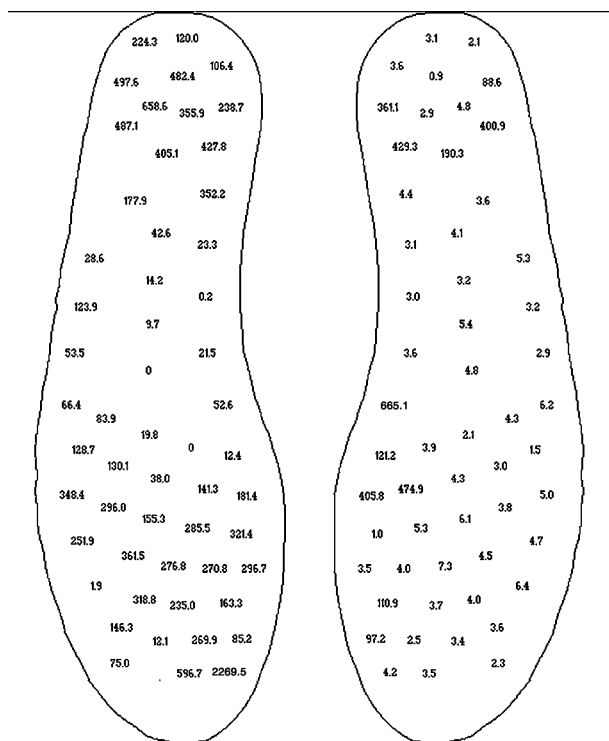


Figura 2. Gráfica numérica en la que se representa la presión obtenida en cada sensor.

nían las plantillas instrumentadas en el zapato durante unos minutos antes del registro. El sistema era entonces calibrado según las instrucciones del fabricante. La grabación fue tomada mientras el paciente estaba caminando, y se continuaba en 6 segundos a 100 mHz, frecuencia que permite grabar suficientes mapas de datos para su análisis. Esta medición permite adquirir entre 5 y 6 pasos de cada pie.

Se recogen los siguientes datos, edad, sexo, altura y peso. De las mediciones adquiridas se selecciona un paso central para cada pie. Se descartan los pasos con gráficas abe-



Figura 3. Sistema de plantillas instrumentadas adaptadas al calzado del sujeto.

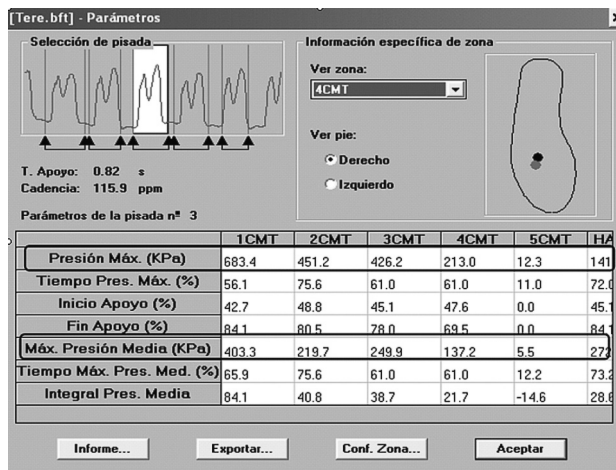


Figura 4. Parámetros empleados para el estudio. Pico de presión máxima para cada zona seleccionada.

rantes o con signos evidentes de datos truncados o erróneos. El antepié se divide en siete zonas: primera, segunda, tercera, cuarta y quinta cabeza metatarsal, *hallux* y dedos de segundo a quinto. Se analizan el pico de presión máxima de cada zona (fig. 4). Los datos son tratados mediante el software SPSS v. 13.0 para Windows. Con el objeto de estudiar valores independientes en las diferentes cabezas metatarsales, *hallux* y dedos, se realiza un análisis de la varianza (ANOVA). Se establece un nivel de confianza del 95%, por lo tanto, se considerará que las diferencias son estadísticamente significativas cuando la *p* asociada sea menor a 0,05 ($p < 0,05$).

RESULTADOS

La edad media de la población es de 29 ± 11 años. La media de presión de cada zona se expone en la tabla 1. Las presiones en el grupo control resultaban mayores que en el

grupo de *hallux valgus*, ya que el peso en el grupo control era significativamente mayor ($p = 0,007$) que en el grupo de *hallux valgus*.

Las presiones en el grupo control se localizaban en este orden: tercera cabeza metatarsal (CMT) ($p = 0,001$), segunda cabeza metatarsal ($p = 0,001$), *hallux*, primera cabeza metatarsal, cuarta CMT, quinta CMT y dedos. Los picos de presión en el grupo *hallux valgus* se localizaban en este orden: *hallux* ($p = 0,001$), primera CMT ($p = 0,001$), tercera CMT, segunda CMT, cuarta CMT, quinta CMT y dedos.

En el grupo control había diferencias significativas en tercera y segunda cabeza metatarsal. En el resto de las cabezas metatarsales no existían diferencias significativas. En el grupo *hallux valgus*, las diferencias significativas se situaban en el *hallux* (primer dedo) y en la primera cabeza metatarsal.

DISCUSIÓN

Existen 2 grupos de dispositivos para la valoración baropodométrica, las plataformas de presiones y las plantillas instrumentadas. Las plataformas de presiones son superficies fijas con un determinado número de sensores de presión. Esta superficie, que puede ser una plataforma o un pasillo de marcha, está conectada a un ordenador que muestra el mapa de presiones obtenido. Es un sistema clínico útil para la medición en estática y dinámica, aunque la medición se realiza con el pie descalzo. Para la medición en dinámica, este sistema es menos preciso, pues se debe «acertar» el paso en dicha plataforma y se realiza con el pie descalzo. Las plantillas instrumentadas son dispositivos de un material flexible que se introducen dentro del calzado. El sistema incorpora un módulo transmisor que envía los datos a un ordenador por telemetría. El número de sensores es variable, siendo la medición más fiable cuanto más elevado sea el número. Nos parece más interesante el sistema de plantillas, ya que reproduce las presiones plantares de la manera más fisiológica, con el paciente calzado y andando libremente. No han sido muchos los estudios que valoren esta deformidad con el sistema de plantillas instrumentadas. El sistema más utilizado, hasta ahora, para la evaluación del *hallux valgus* ha sido la plataforma de presiones EMED.

En la literatura se han encontrado resultados dispares en cuanto a la distribución de las cargas en el *hallux valgus*. Así, autores como Bryant et al¹⁴ y Nyska et al¹⁵ encuentran que en los pies con *hallux valgus* existía un aumento de presión en la zona medial del antepié. Ambos estudios fueron realizados con el sistema EMED.

Yamamoto et al encontraron el primer pico de presión en el *hallux valgus* en la primera cabeza metatarsal y el segundo en la segunda o tercera cabeza. Observaron que los picos de presión eran mayores en los pies con *hallux valgus* que en los normales¹⁴. En este estudio se empleó un film sensible a la presión, sistema menos fiable para la cuantifi-

Tabla 1. Presión localizada en cada cabeza metatarsal, *hallux* y dedos

	Tipo	N	Media	Desviación típica	Error típico (media)
Presión 1	Normal	60	529,166	272,5844	50,6177
	<i>Hallux valgus</i>	60	651,874	503,4173	90,4164
Presión 2	Normal	60	617,979	406,7727	75,5358
	<i>Hallux valgus</i>	60	429,055	241,3868	43,3543
Presión 3	Normal	60	959,528	479,9142	89,1178
	<i>Hallux valgus</i>	60	557,126	401,6190	72,1329
Presión 4	Normal	60	519,055	388,4641	72,1360
	<i>Hallux valgus</i>	60	414,045	308,2967	55,3717
Presión 5	Normal	60	459,017	334,3268	62,0829
	<i>Hallux valgus</i>	60	239,832	179,9038	32,3117
Presión H	Normal	60	653,597	450,4984	83,6554
	<i>Hallux valgus</i>	60	691,068	512,4130	92,0321
Presión D	Normal	60	244,076	128,4824	23,8586
	<i>Hallux valgus</i>	60	212,458	145,9723	26,2174

Presión 1. Presión máxima obtenida en la primera cabeza metatarsal.

Presión 2. Presión máxima obtenida en la segunda cabeza metatarsal.

Presión 3. Presión máxima obtenida en la tercera cabeza metatarsal.

Presión 4. Presión máxima obtenida en la cuarta cabeza metatarsal.

Presión 5. Presión máxima obtenida en la quinta cabeza metatarsal.

Presión H. Presión máxima obtenida en el *hallux* (primer dedo).

Presión D. Presión máxima obtenida en el resto de los dedos.

cación de las presiones plantares. Planck, con el sistema Musgrave localizó los picos de presión en el *hallux valgus* en tercera cabeza metatarsal, después en la segunda y por último en la primera¹⁵. Bryant et al, en un estudio realizado con 90 sujetos, encontró que los pies con *hallux valgus* tenían más presión en la primera, segunda y tercera cabeza metatarsal, aunque únicamente resultó significativamente mayor en la segunda cabeza al compararlo con los pies sanos¹⁶. Waldecker en 2002 realizó un estudio con 100 pacientes, 50 con *hallux valgus* sintomáticos y 50 con *hallux valgus* no sintomáticos. En el grupo de pacientes sintomáticos, los patrones de carga en la parte lateral del antepié eran significativamente mayores que en el grupo de los no sintomáticos. Posteriormente, en otro estudio similar con *hallux valgus* moderados o severos reveló que las cargas se trasladan de medial a lateral. Aumentaba la presión en la zona lateral del antepié (29%), reduciéndose en el primer dedo (5,6%)^{17,18}. Resch et al utilizando el sistema FSCAN de plantillas instrumentadas encontraron que las presiones que soportaban la primera, segunda y tercera cabeza metatarsal y el primer dedo fueron del 15, 20, 20 y 13% respectivamente. Tras la cirugía, el porcentaje de presión se reducía en la primera cabeza metatarsal y en el primer dedo, mientras que aumentaba en segunda y tercera cabeza metatarsal¹¹. Nyska et al, en un estudio realizado con 29 sujetos encontraron que en los pies con *hallux valgus* había un aumento de las cargas en la parte medial del antepié¹⁹.

En nuestro estudio, el grupo control registraba mayores presiones en la tercera y segunda cabeza metatarsal. Estos resultados se podrían explicar según la teoría de Doncker y Kovalsky. El pie estaría compuesto por una paleta central (segundo-tercer metatarsiano), y dos paletas laterales (pri-

mer metatarsiano y cuarto-quinto metatarsiano). La paleta central estaría relativamente fija, debido a la estructura anatómica, en la que el segundo y tercer metatarsiano se encuentran encajados entre las cuñas²⁰. Las paletas laterales tendrían la función de estabilización, con un movimiento más amplio que los metatarsianos segundo y tercero. Los resultados obtenidos en el grupo control coinciden con los de Bryant et al¹⁶ y Resch et al¹¹.

Llanos Alcázar et al²¹ revelan que en la marcha normal se puede apreciar que la carga soportada por el primer y segundo metatarsiano es más elevada con respecto al resto. El segundo metatarsiano soporta más presión, debido a que generalmente es más largo y rígido que el resto. Evaluando los cambios obtenidos tras las osteotomías del primer metatarsiano, mediante podobarografía, encuentran que un 50% de los pacientes presentaban una disminución de la presión en el primer radio. En la fase de despegue del pie, en el apoyo metatarsal medio, las presiones se situaban en la segunda y tercera cabeza metatarsal. Estos cambios conseguidos tras la intervención quirúrgica, acerca el pie a los valores de normalidad encontrados en el presente estudio.

En este estudio en el grupo *hallux valgus*, los picos de presión se situaban en el primer dedo y en la primera cabeza metatarsal. En la patología el *hallux valgus*, el primer metatarsiano rota en varo y dorsiflexiona. El primer dedo, rota en valgo y en flexión plantar. Esta flexión plantar del *hallux* podría conllevar un aumento de la presión en dicha zona. Estos resultados, con aumento de presión en la columna interna del pie (primer radio), sugieren la pronación como un importante factor en el desarrollo de esta deformidad de causa multifactorial. En este grupo de pacientes, la presión plantar no explicaría la teoría de la sobrecarga de las cabe-

zas metatarsales centrales que se produce en la patología del *hallux valgus*.

Los resultados obtenidos en los pies con *hallux valgus* coinciden con los de Kernozek et al^{12,13} y Waldecker^{17,18}. Waldecker, en un estudio realizado con pacientes con *hallux valgus* sintomáticos y no sintomáticos, encontró que los patrones de carga en la parte lateral del antepié eran significativamente mayores que en los pacientes sintomáticos. Mientras, los no sintomáticos mantenían los patrones de presión en la parte medial.

Los pies con *hallux valgus* analizados en este estudio correspondían a estadios leve o moderado, por lo que al igual que Waldecker las presiones todavía se mantienen en el primer radio. Probablemente, si el grupo de pacientes presentara *hallux valgus* severo, las cargas se habrían transferido a los metatarsianos centrales.

En conclusión, podemos decir que las máximas presiones plantares en el grupo control se localizan en la tercera y segunda cabeza metatarsal, mientras que en grupo *hallux valgus* se sitúan en el *hallux* (primer dedo) y en la primera cabeza metatarsal. En este grupo de pacientes, la presión plantar no explicaría la teoría de la sobrecarga de las cabezas metatarsales centrales. Los sistemas de baropodometría son excelentes métodos para el análisis del pie sano y el pie patológico. Es necesario realizar estudios más amplios para llegar a conclusiones más firmes.

BIBLIOGRAFÍA

1. Weijers RE, Walenkamp GH, Kessels AG, Kemerink GJ, van Mameren H. Plantar pressure and sole thickness of the forefoot. *Foot Ankle Int.* 2005;26(10):1049-54.
2. Stebbins JA, Harrington ME, Giacomozzi C, Thompson N, Zavatsky A, Theologis TN. Assessment of sub-division of plantar pressure measurement in children. *Gait Posture.* 2005;22:372-6.
3. Hessert MJ, Vyas M, Leach J, Hu K, Lipsitz LA, Novak V. Foot pressure distribution during walking in young and old adults. *BMC Geriatr.* 2005;5:8.
4. Nyska M, McCabe C, Linge K, Lennerman L. Plantar foot pressure during treadmill walking with high-heel and low heel shoes. *Foot Ankle Int.* 1996;17:662-6.
5. Perry J, Ulbrecht J, Derr J, Cavanagh P. The use of running shoes to reduce plantar pressures in patients who have diabetes. *J Bone Joint Surg Am.* 1995;77-A:1819-28.
6. Branthwaite HR, Payton CJ, Chockalingam N. The effect of simple insoles on three-dimensional foot motion during normal walking. *Clin Biomech.* 2004;19:972-7.
7. Shrader J, Siegel KJ. Postsurgical hindfoot deformity of a patient with rheumatoid arthritis treated with custom-made foot orthoses and shoe modifications. *Phys Ther.* 1997;77:299-305.
8. Booya F, Bandarian F, Larijani B, Pajouhi M, Nooraei M, Lotfi J. Potential risk factors for diabetic neuropathy: a case control study. *BMC Neurol.* 2005;5:24.
9. 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.
10. Rozema A, Ulbrecht J, Pammer S, Cavanagh P. In shoe plantar pressures during activities of daily living: Implications for therapeutic footwear design. *Foot Ankle Int.* 1996;17:352-9.
11. Resch S, Stenström A. Evaluation of hallux valgus surgery with dynamic foot pressure registration with the Fscan system. *Foot.* 1995;5(3):115-21.
12. Kernozek T, Roehrs T, McGarvey S. Analysis of plantar loading parameters pre and post surgical intervention for hallux valgus. *Clin Biomech.* 1997;12(3):S18-9.
13. Kernozek TW, Sterriker SA. Chevron (Austin) distal metatarsal osteotomy for hallux valgus: comparison of pre- and post-surgical characteristics. *Foot Ankle Int.* 2002;23:503-8.
14. Yamamoto H, Muneta T, Asahina S, Furuya K. Forefoot pressures during walking in feet afflicted with hallux valgus. *Clin Orthop.* 1996;(323):247-53.
15. Planck MJ. The pattern of forefoot pressure distribution in hallux valgus. *Foot.* 1995;5:8-14.
16. Bryant A, Tinley P, Singer K. Plantar pressure distribution in normal, hallux valgus and hallux limitus feet. *Foot.* 1999;9:115-9.
17. Waldecker U. Metatarsalgia in hallux valgus deformity: a pedographic analysis. *J Foot Ankle Surg.* 2002;41:300-8.
18. Waldecker U. Pedographic analysis of hallux valgus deformity. *Foot Ank Surg.* 2004;10:121-4.
19. Nyska M, Liberson A, McCabe C, Linge K, Lennerman L. Plantar foot pressure distribution in patients with Hallux valgus treated by distal soft tissue procedure and proximal metatarsal osteotomy. *Foot Ankle Surg.* 1998;4:35-41.
20. Viladot A. Patología del pie. Barcelona: Springer-Verlag; 2001. p. 42.
21. Llanos Alcázar LF, Angulo Carrere MT, Núñez-Samper Pizarroso M. Osteotomía del primer metatarsiano. Modificaciones biomecánicas. *Rev Med Cir Pie.* 1996;10:51-7.

Declaración de conflicto de intereses

Los autores han declarado no tener ningún conflicto de intereses.