

Distribución de presión plantar en pacientes con amputación transtibial unilateral

Distribution of plantar pressure in patients with unilateral transtibial amputation

Distribution de la pression plantaire chez les patients amputés trans-tibiaux unilatéraux

Lely Adriana Luengas Contreras¹
Miguel Ángel Gutiérrez Ramírez²
Giovanni Sánchez Prieto³

¹ Facultad Tecnológica. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.

² Facultad de Medicina. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

³ Facultad de Ingeniería. Universidad de San Buenaventura. Bogotá, Colombia.

RESUMEN

Introducción: La prótesis es el método más utilizado para la rehabilitación del amputado. La adaptación protésica requiere conocer el comportamiento biomecánico del usuario de prótesis.

Objetivo: Evaluar la distribución de presión plantar en pacientes con amputación transtibial unilateral y usuarios de prótesis.

Métodos: Se realizó la medición de la distribución de presión plantar en bipedestación estática en amputados transtibiales. Se tomó como muestra siete hombres con amputación transtibial unilateral, usuarios de prótesis con suspensión por *liner* y *pin*, y pie en fibra de carbono de alta actividad. Se calculó presión máxima y mínima en las máscaras del pie. Se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) para investigar la variabilidad de la presión en las diferentes regiones del pie.

Resultados: Los datos obtenidos en las mediciones de las presiones de cada máscara presentan confiabilidad ($cr < 10\%$). La distribución de la presión del pie fue significativamente diferente entre máscaras para el lado ipsolateral y el contralateral (presión máxima y media $p < 0,001$). La mayor presión del lado

ipsilateral se presentó en la región 4; y la menor, en la 3, en ambos pies. La región posterior en ambos pies soportó mayor presión media y máxima que la anterior. En el lado ipsilateral hay mayor presión media y máxima en la región medial, en contraste con el lado contralateral que es en la región lateral.

Conclusiones: Se presenta un patrón de distribución de la presión plantar en posición de bipedestación, con diferencias significativas entre ambos lados. La distribución de presión plantar para personas no amputadas propuesta en la literatura se ve alterada en los pacientes amputados.

Palabras clave: amputación; biomecánica; bipedestación; presión plantar; prótesis.

ABSTRACT

Introduction: The prosthesis is the most used method for rehabilitating the amputee. Prosthetic adaptation requires knowing the biomechanical behavior of prosthesis users.

Objective: To evaluate the distribution of plantar pressure in patients with unilateral transtibial amputation and prosthesis users.

Methods: Transtibial amputee plantar pressure distribution was measured in static standing. Seven men with unilateral transtibial amputation, who were prosthesis users with liner and pin suspension, foot in high activity carbon fiber were the sample. Maximum and minimum pressure were calculated in the foot masks. ANOVA analysis of variance was used to investigate the variability of pressure in different regions of the foot.

Result: Data obtained from the pressure measurements of each mask show reliability ($cr < 10\%$). The distribution of foot pressure was significantly different between masks for the ipsilateral side and the contralateral side (maximum and mean pressure $p < 0.001$). The highest pressure on the ipsilateral side occurred in region 4; and the lowest, in 3, on both feet. The posterior region on both feet supported higher mean and maximum pressure than the previous one. On the ipsilateral side, there is higher mean and maximum pressure in the medial region, in contrast to the contralateral side that is in the lateral region.

Conclusion: A distribution pattern of the plantar pressure is present in the standing position, with significant differences between both sides. The distribution of plantar pressure for non-amputees as proposed in the literature is different in amputees.

Keywords: amputation; biomechanics; standing; plantar pressure; prosthesis.

RÉSUMÉ

Introduction: La prothèse est la méthode la plus utilisée dans la réadaptation du patient amputé. L'adaptation prothétique exige la connaissance du comportement biomécanique de l'utilisateur de la prothèse.

Objectif: Le but de cet article est d'évaluer la distribution de la pression plantaire chez des patients amputés trans-tibiaux unilatéraux utilisant des prothèses.

Méthodes: Une mesure de la distribution de la pression plantaire en bipédie statique a été effectuée chez des patients amputés trans-tibiaux. On a utilisé un échantillon de 7 hommes ayant subi une amputation trans-tibiale unilatérale, et utilisant des prothèses à gaine et verrou de suspension et pied tout usage en fibre de carbone. La pression maximale et la pression minimale des coquilles de pied ont

été aussi mesurées. On a utilisé l'analyse de variances (ANOVA) pour examiner la variabilité de la pression dans différentes régions du pied.

Résultats: Les données obtenues grâce à la mesure de la pression de chaque coquille sont très fiables ($r < 10\%$). La distribution de la pression du pied a été significativement différente entre les coquilles du côté ipso-latéral et du côté controlatéral (pression maximale et moyenne $p < 0.001$). Dans tous les deux pieds, la pression la plus élevée du côté ipso-latéral a eu lieu dans la région 4, tandis que la moins élevée a eu lieu dans la région 3. La région postérieure de tous les deux pieds a supporté une pression moyenne et maximale plus élevée que la région antérieure. Au côté ipso-latéral, la pression moyenne et maximale a été plus élevée dans la région médiale, tandis qu'au côté controlatéral la pression moyenne et maximale a été plus élevée dans la région latérale.

Conclusions: Le modèle de distribution de la pression plantaire en bipédie a montré des différences significatives dans tous les deux côtés. La distribution de la pression plantaire des personnes non amputées, proposée dans la littérature, est altérée chez les patients amputés.

Mots clés: amputation; biomécanique; bipédie; pression plantaire; prothèse.

INTRODUCCIÓN

Colombia se encuentra entre los países con un alto número de víctimas por mina antipersonal. El Programa Presidencial para la Acción Integral contra Minas, dependencia del Departamento Administrativo de la Presidencia de la República, reporta que entre 1990 y noviembre de 2014 ha habido 10 993 víctimas por minas. Del total de víctimas, 2202 perdieron la vida y 8791 sufrieron heridas que, en algunos casos, ocasionaron la amputación de extremidades inferiores.¹ La amputación transtibial fue la más común (pérdida de una o ambas piernas debajo de la articulación de la rodilla). En el caso de un amputado unilateral, el individuo llega a tener una estructura asimétrica, con alteración en la sensibilidad así como pérdida ósea y de musculatura en el lado amputado.²

La distribución del peso corporal en condiciones estáticas y dinámicas es una de las principales funciones de la extremidad inferior. Provee estabilidad para realizar diferentes tareas, como estar de pie, caminar y correr.³ El desplazamiento del peso sobre las extremidades durante la postura y la marcha es un problema clínico relevante para las personas con amputación de miembros inferiores. Debido a la pérdida de extremidades, el centro de gravedad se desplaza lateralmente hacia el lado de la extremidad no amputada. Este cambio está dado porque la prótesis no compensa totalmente la masa perdida, y ello influye también en el equilibrio.^{3,4} La ausencia de toda o parte de una extremidad inferior reduce la cantidad de información propioceptiva sobre las superficies en las que el pie está en reposo y la ubicación precisa de la extremidad protésica (lo cual influye en la postura).

Varios reportes han identificado aspectos de la presión plantar y la localización del centro de presión.⁵⁻⁷ Se han publicado datos limitados sobre las particularidades que presentan los adultos amputados en cuanto al equilibrio y la estabilidad,⁴ pero hay escasa información sobre la distribución de presión plantar. En Colombia el estudio en el área es casi nulo, no existen evidencias de análisis de parámetros biomecánicos en pacientes amputados transtibiales debido a mina antipersonal y usuarios de prótesis. Por esta razón, es de vital importancia realizar investigaciones en el área e identificar el comportamiento biomecánico al usar una prótesis

transtibial. El propósito de este estudio fue evaluar la presión plantar en pacientes con amputación transtibial unilateral y usuarios de prótesis.

MÉTODOS

MUESTRA

Para evaluar la presión plantar en posición de bipedestación, en sujetos amputados usuarios de prótesis, se reclutaron siete voluntarios. Las características de los sujetos fueron: edad promedio $33,28 \pm 3,8$ años (media \pm SD), rango de edad (29-40 años). Los sujetos fueron seleccionados a través de la revisión detallada de la historia clínica y se tuvo en cuenta que no hubieran sido tratados por alguna enfermedad sistémica.

Criterio de inclusión: rango de edad 20-40 años, amputado unilateral debido a trauma por mina antipersonal, usuario de prótesis con suspensión por *liner* y *pin* y pie en fibra de carbono de alta actividad, con uso adecuado de prótesis por más de un año y marcha independiente. Se midió la altura y el peso de cada uno de ellos. El tamaño del zapato determinó el de la plantilla para el registro de las mediciones.

Criterio de exclusión: presencia de alteraciones músculo-esqueléticas o neurológicas en las otras extremidades, alteraciones sensoriales o cognitivas, demencia, epilepsia, la historia o evidencia física para la enfermedad de las arterias coronarias, lesiones en la piel, alteraciones en marcha secundarias por dolor, uso de ayudas externas para la marcha, alteraciones articulares en otros segmentos corporales en miembros inferiores.

El estudio se desarrolló en el Servicio de Amputados y Prótesis del Hospital Militar Central de Bogotá, Colombia. Todos los sujetos firmaron el consentimiento informado aprobado por el Comité de Investigación. El estudio contó con la aprobación del Comité de Ética de Investigación del hospital.

INSTRUMENTOS

Se utilizó un sistema de medición de distribución de presión para monitorear cargas locales entre el pie y el zapato (Pedar® system, Novel, Germany). Este sistema tiene plantillas de sensores que cubren toda la superficie plantar del pie y un módulo inalámbrico para la transferencia de datos. Cada plantilla mide la presión plantar en 99 puntos. Para ello posee un arreglo de 99 sensores capacitivos que permiten usar frecuencias de medición de 50 Hz a 350 Hz, y medir presiones de 15 a 1200 kPa. La información registrada por los sensores se envía a través de un módulo de transmisión que opera vía *Bluetooth* o fibra óptica hacia una computadora o puede ser almacenada en una memoria *flash*. Las plantillas se calibran con el dispositivo 'Trublu' (Novel GmbH, Munich, Germany) (Fig. 1).⁸

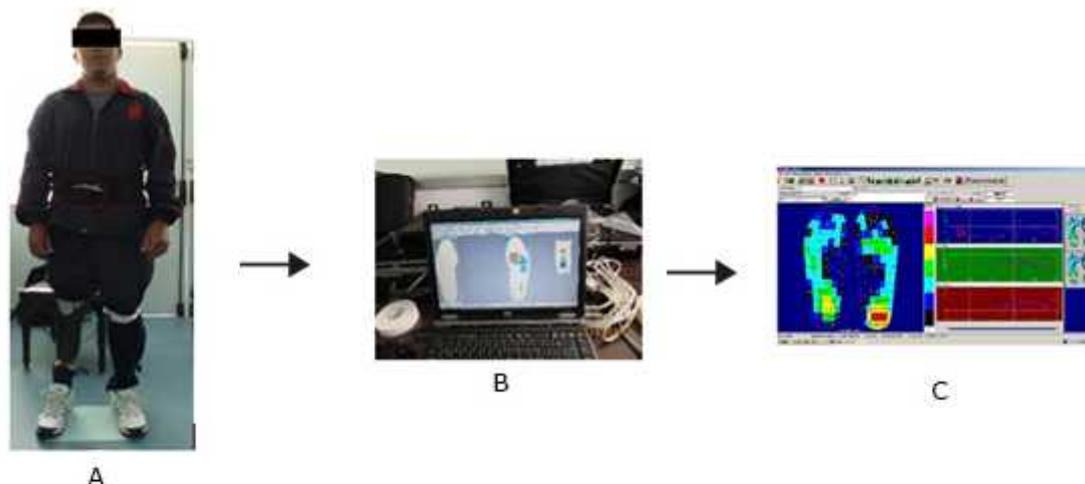


Fig. 1. Procedimiento para la medición de la distribución de la presión plantar. A) Sujeto sobre la guía 2D para la ubicación de los pies. B) Imagen entregada por el software del sistema Pedar® en el momento de la medición. C) Valores de las presiones en cada pie y registrada por cada sensor.

PROTOCOLO EXPERIMENTAL Y ADQUISICIÓN DE DATOS

Se midió la distribución de presión plantar durante la bipedestación. Se diseñó una guía 2D en el piso, teniendo en cuenta la posición anatómica del paciente, para usarla como control de los pies y la posición del cuerpo.⁹ El sistema Pedar® se ubicó en una sala del Servicio de Amputados y Prótesis del Hospital Militar Central. Hubo acceso a la configuración experimental: una computadora y las guías.

Al inicio de cada sesión se realizó el procedimiento de calibración para registrar los puntos de referencia. Las guías colocan los pies del paciente separados con punto medio de los talones a 150 mm, y en un ángulo de progresión de 8°. Los sujetos recibieron instrucciones sobre cómo estar en la guía de control y la posición de los pies con la guía 2D. A todos los sujetos se les dio tiempo para familiarizarse con el proceso de posicionar adecuadamente sus pies sobre la guía.

Antes de las mediciones de presión, un médico del Hospital Militar examinó los sujetos, fundamentalmente, sus extremidades inferiores. Se realizó la medición del tamaño del pie. Se utilizó solamente un tamaño de plantilla (tamaño VW520 = número de calzado europeo 38/39).

Dentro de las actividades se destinó una sesión para la realización de tres mediciones. Cada medición fue realizada durante un lapso de tiempo de 15 segundos y, entre cada una de ellas, los sujetos tuvieron un descanso de 10 minutos. Todos los pacientes permanecieron en silencio, con mirada al frente y de pie sobre la guía (Fig. 1A).

ANÁLISIS DE LOS DATOS

Todos los datos se inspeccionaron visualmente antes del análisis para asegurar una alta calidad. Las mediciones de la presión en el tiempo para todos los sensores se agruparon en 10 máscaras anatómicas (Fig. 2).^{10,11}

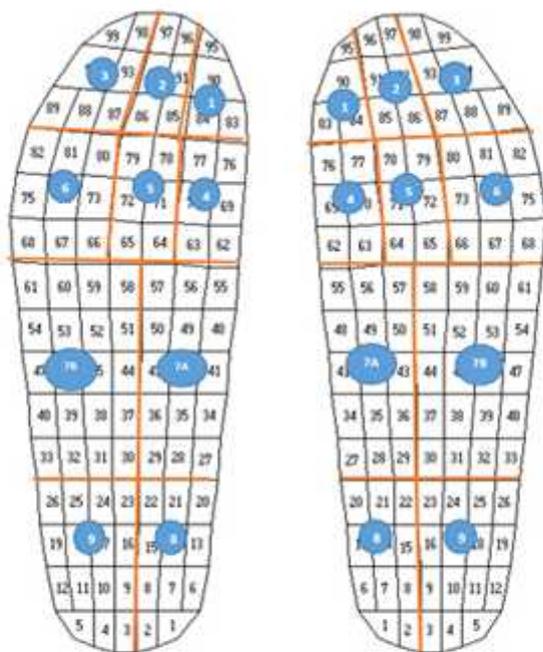


Fig. 2. Las diez máscaras anatómicas superpuestas sobre la plantilla. Las máscaras son: 1) *Hallux*, 2) dedos dos y tres, 3) dedos cuatro y cinco, 4) primer metatarsiano, 5) metatarsianos dos y tres, 6) Metatarsianos cuatro y cinco, 7- Arcos (7A- arco medial, 7B- arco lateral), 8- Calcáneo medial, 9- Calcáneo lateral.

Se analizaron dos variables para cada máscara: la presión máxima y la presión media. Se definió la presión máxima como la mayor presión de cualquier sensor individual en cada máscara medido en una única lectura. Se definió la presión media en una máscara como el promedio de todos los sensores activados en esa máscara. Ya que se realizaron tres lecturas por cada paciente, al final de cada sesión se tenían tres mediciones de presión en cada máscara. Se determinó la máxima presión de cada lectura. Luego, los valores de presión por máscara se promediaron sobre las tres mediciones para obtener la presión media.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos se exploraron por los valores intrasujeto con el software estadístico SPSS®. Las variables independientes fueron cada medición y cada pie; la variable dependiente fue distribución de la presión en cada planta del pie. Los datos se resumieron mediante la media y la desviación estándar. Se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) para determinar la variabilidad de la presión en las diferentes regiones del pie en cada uno de los sujetos analizados. Las desviaciones estándar de las diferencias entre las medidas identificadas en el ANOVA se utilizaron para determinar el coeficiente de repetibilidad (CR) en cada máscara. Se estudió la repetibilidad en el lado amputado y en el no amputado por separado.

Se comparó la presión máxima y la media entre los sujetos en todas las máscaras. Además, se comparó la presión media y la máxima en las máscaras medial (calcáneo medial, arco medial, primer metatarsiano, y *Hallux*), las máscaras laterales (calcáneo lateral, arco lateral, segundo y tercer metatarsiano, y dedos) y entre los sujetos. También se comparó la presión de las máscaras anteriores (*Hallux*, dedos, primer metatarsiano, metatarsianos segundo y tercero, y

metatarsianos cuarto y quinto) con las máscaras posteriores (arco medial, arco lateral, calcáneo medial y calcáneo lateral).

RESULTADOS

El coeficiente de repetibilidad (expresado como un porcentaje de la media) fue de menos de 10 % en las presiones de cada máscara en todos los pacientes, por lo que los datos obtenidos en las mediciones fueron fiables. La tabla 1 muestra los valores de presión promedio para cada región anatómica del pie (máscara), el porcentaje de presión media que soporta cada región con respecto al total soportado por el pie y la presión máxima en cada región. La distribución de la presión del pie fue significativamente diferente entre las máscaras del lado ipsilateral y el lado contralateral (presión máxima y media $p < 0,001$). Las diferencias entre la presión máxima y la presión media en la distribución de la presión para ambos pies están concentradas en la región de los dedos cuatro y cinco. Se presenta mayor presión media y presión máxima en la región posterior que en la anterior en los dos pies. La comparación entre la región medial y la lateral indicó que para el lado ipsilateral se tiene mayor presión media y máxima en la región medial, y en el lado contralateral se obtuvo mayor presión media y máxima en la región lateral. La figura 3 muestra la distribución de la presión en la planta de los pies de los amputados.

Tabla 1. Presión media y máxima en cada una de las regiones anatómicas del pie

Región	Ipsilateral			Contralateral		
	Media (kpa)	%	Máxima (kpa)	Media (kpa)	%	Máxima (kpa)
1	7,43	3,28	8,93	2,6	1,4	5,07
2	4,75	2,09	6,17	1,15	0,62	3,17
3	0,88	0,39	1,00	0,85	0,46	1,75
4	65,7	29,0	64,3	8,97	4,82	12,8
5	26,4	11,6	34,3	14,3	7,71	19,3
6	14,7	6,49	24,1	20,8	11,2	25,7
7A	21,9	9,67	23,4	14,5	7,8	17,0
7B	4,55	2,0	5,23	28,8	15,5	31,3
8	50,4	22,2	46,0	34,5	18,6	37,6
9	18,8	8,27	20,5	36,5	19,6	37,1

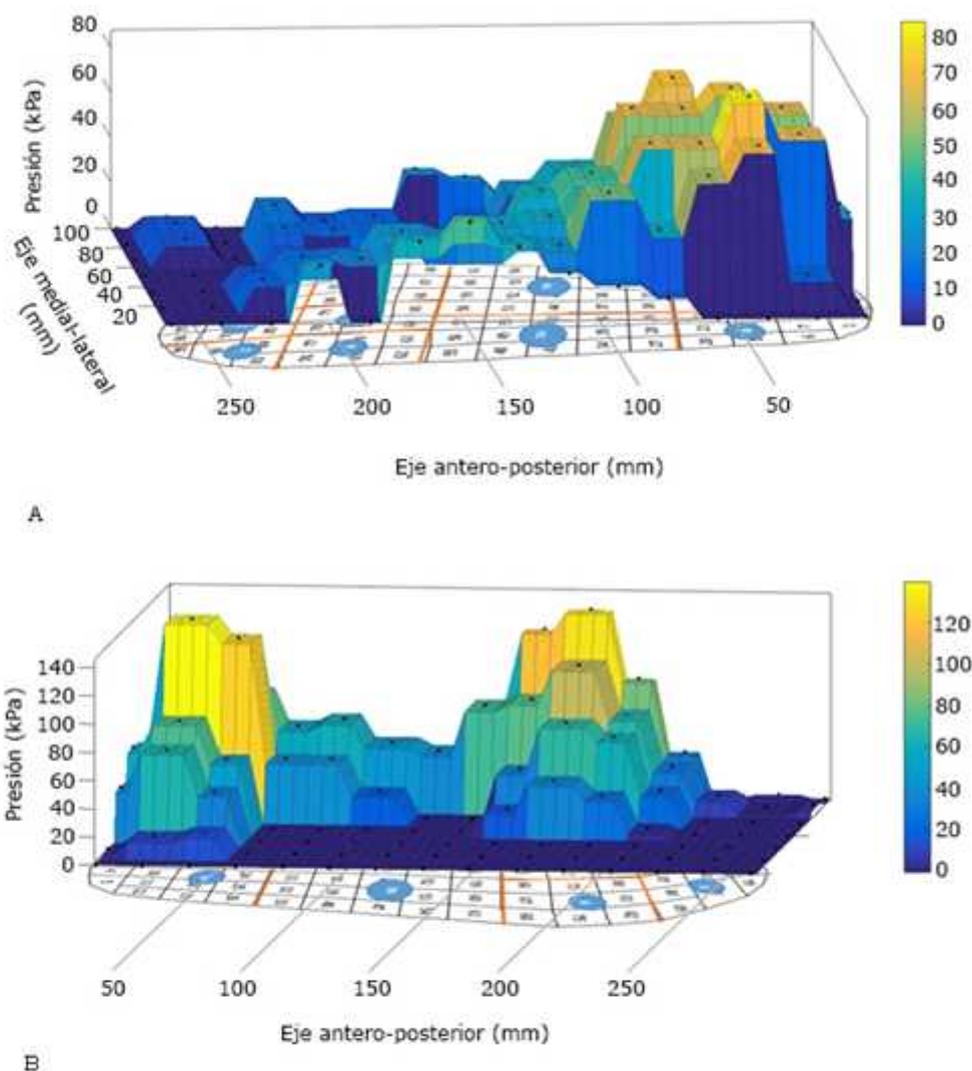


Fig. 3. Distribución de la presión plantar. Presión registrada por cada uno de los 99 sensores de la plantilla en cada pie. A) Lado contralateral, las mayores presiones se registran en la zona posterior del pie, correspondiente a las máscaras de las zonas anatómicas de calcáneo medial y lateral. B) Lado ipsilateral, presión alta en las zonas 4- primer metatarsiano y 8- calcáneo medial.

La figura 4 muestra la comparación entre el lado ipsilateral y el contralateral. La presión media más alta en ambos pies se presentó en la región 4 (primer metatarsiano), en el lado amputado. El lado ipsilateral presentó presión media más alta en seis de las diez regiones anatómicas (1- *Hallux*, 2- dedos dos y tres, 4- primer metatarsiano, 5- metatarsianos dos y tres, 7A- arco medial y 8- calcáneo medial) con respecto al lado contralateral. Las menores presiones se ubican en los dedos cuatro y cinco, en ambos pies. En el contralateral, la presión de la región lateral fue mayor que la región medial, en contraste con el lado ipsilateral. La presión en la región calcáneo medial y en lateral anterior (dedos cuarto y quinto, metatarsianos cuatro y cinco) no fue significativamente diferente entre el lado amputado y el lado no amputado.

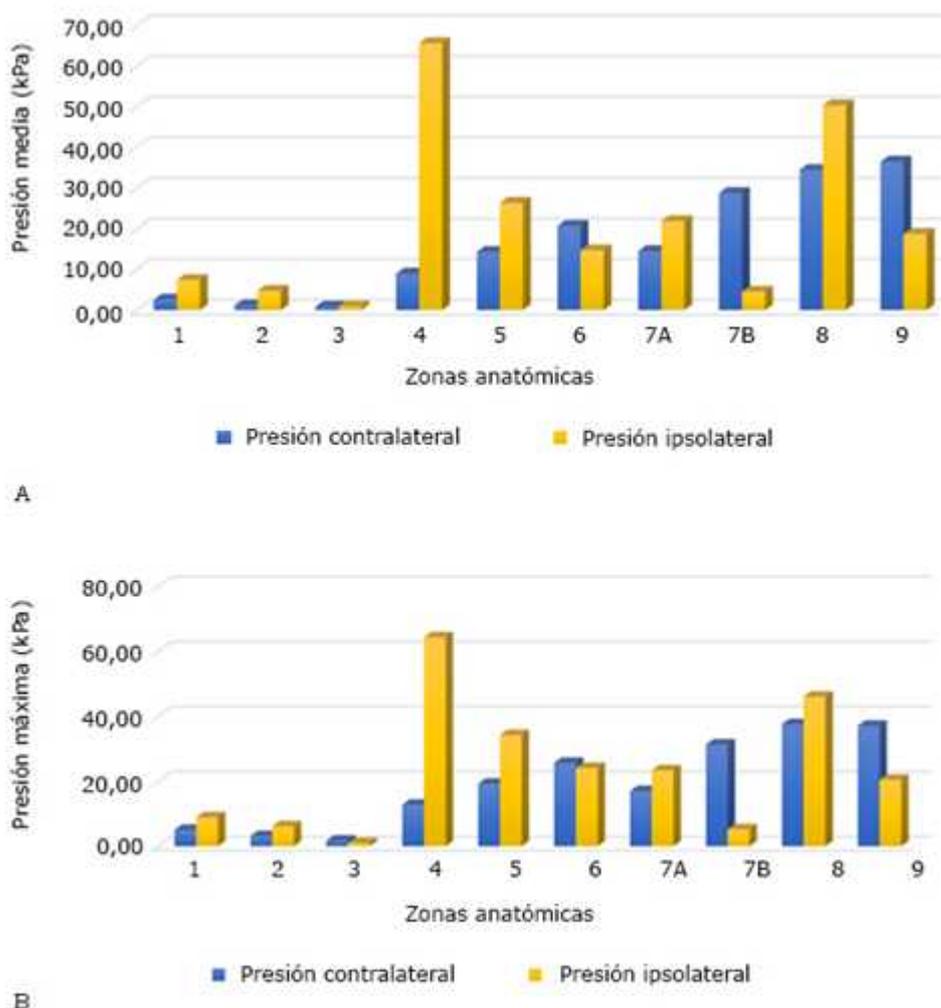


Fig. 4. Distribución de la presión por región anatómica, comparación entre los dos pies. A) Presión media. B) Presión máxima.

DISCUSIÓN

La bipedestación humana estática es un evento asimétrico y no uniforme. Cada persona, en la posición descrita, presenta gran variabilidad en las fuerzas de reacción y en el equilibrio. Por lo tanto, se supone que cada una toma una posición diferente donde el consumo de energía es más bajo. Sin embargo, se puede establecer un rango de parámetros cinemáticos en la bipedestación no patológica donde hay equilibrio y control postural.¹²

La importancia de este estudio fue evaluar los efectos de la amputación transtibial en la distribución de la presión plantar. Se definieron diez regiones anatómicas óptimas para el análisis. Los resultados mostraron una alta reproducibilidad intrasujeto de las mediciones de distribución de la presión -registrada en condición de bipedestación estática-, la cual se refleja en los valores del coeficiente de correlación intraclase. El uso de la guía 2D, empleada para registrar la presión

plantar, produjo una menor variación entre las mediciones realizadas a un mismo paciente.⁹

Al igual que en investigaciones anteriores, se encontraron asimetrías en la presión entre el lado amputado y el no amputado.^{13,14} Nuestro estudio demostró que en el lado contralateral la menor presión se encuentra en las máscaras anteriores del pie (*Hallux*, dedos y los metatarsianos), lo que implica que los sujetos llevan preferentemente el peso hacia la parte media y posterior del pie (más de 50 % de la presión total del pie). Este resultado tiene similitud con el presentado en el estudio de *Curtze C* y otros.¹⁵ La lateralización de la presión del pie sugiere que la carga medial de peso es limitada en el lado no amputado en comparación con el lado amputado. La correcta distribución de peso y de presión se compensa con las fuerzas y las cargas impuestas en el pie durante la bipedestación estática. En las máscaras anteriores, el lado amputado ejerce una presión alta (25 % de la presión total del pie) en la primera región del metatarso, y esto puede ser debido al tipo de prótesis.

Clínicamente, los hallazgos son importantes. La técnica utilizada en el estudio es adecuada para evaluar la distribución de la presión plantar en pacientes con amputación transtibial. Además, provee de conocimientos al personal médico en relación con el comportamiento de la distribución de presión plantar en un paciente con amputación transtibial (debido a la mina antipersonal) y usuario de prótesis.

El efecto de la prótesis en los pacientes es un tema que requiere de más investigaciones. Los resultados de este trabajo se circunscriben solo a la prótesis transtibial con suspensión por *liner* y *pin*, y pie en fibra de carbono de alta actividad. Si bien las prótesis transtibiales constituyen la mayor parte de las prótesis de los miembros inferiores, en la investigación no se tuvo en cuenta el nivel de la amputación. A pesar de establecerse el protocolo, pudo haber existido algún tipo de problema en el aprendizaje de la postura o alguna fatiga en los pacientes, que influyera en los resultados.

De acuerdo con lo descrito por *McCrary JL* y otros,¹⁶ en bipedestación estática las personas no amputadas tienden a presentar la siguiente distribución de presión plantar: en el talón 60 % con respecto al peso total soportado por el pie, medio pie 8 %, antepié 28 % y dedos 4 %. Estos valores están distribuidos de la siguiente manera en las regiones antropométricas utilizadas en nuestro estudio: 1,7 % en la región 1; 0,4 % en la 2; 1,5 % en la 3; 5,6 % en la 4; 8,4 % en la 5; 14,1 % en la 6; 8 % en la 7; 32,5 % en la 8 y 28 % en la 9. En los pacientes amputados por mina antipersonal se observó que la distribución mencionada varía. En el lado no amputado se tiene el máximo valor de presión en las regiones 7, 8 y 9, mientras que en el lado amputado está en las regiones 4 y 8. Estos resultados indican que en el lado no amputado la presión es mayor en el talón y medio pie, y en el lado amputado la presión se encuentra en el primer metatarsiano y en el talón medial.

A pesar de que en el estudio se utilizaron pacientes amputados por mina antipersonal, los resultados obtenidos concuerdan con varias investigaciones que atendieron otras causas de amputación.^{4,5,7,13-15} Esto indica que el comportamiento de la presión plantar en los amputados transtibiales no varía por la causa de amputación. Se debe tener en cuenta esta observación en los criterios de exclusión que se apliquen en la selección de los participantes.

En nuestra investigación se observaron diferencias significativas entre los lados ipsilateral y contralateral, a partir del patrón empleado de distribución de la presión plantar en posición de bipedestación. Se reconoce que, si bien los

resultados reflejan el procedimiento con solo siete pacientes, proporcionan una nueva comprensión en relación con la distribución de la presión plantar.

Agradecimientos

Reconocemos la ayuda del personal del Servicio de Amputados y Prótesis del Hospital Militar Central de Bogotá, Colombia, en el reclutamiento de sujetos aptos para este estudio, y expresamos nuestra gratitud a todos los participantes en el estudio. Estamos muy agradecidos con la Universidad Distrital "Francisco José de Caldas" y la Pontificia Universidad Javeriana por el apoyo académico y financiero para este estudio. Agradecemos al Dr. *Juan Pablo Borrero*, del Hospital Militar Central, por su apoyo y asesoramiento profesional, y a Jesús Izquierdo, técnico protesista del Hospital Militar Central, por su colaboración en todas las etapas del proyecto.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses en el estudio realizado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Colombia. Dirección Contra Minas, Presidencia de la República de Colombia. Víctimas de Minas Antipersonal [Internet]. Colombia: Dirección Contra Minas; 2014 [citado: 30 de septiembre de 2016]. Disponible en: <http://www.accioncontraminas.gov.co/estadisticas/Paginas/victimas-minas-antipersonal.aspx>
2. Tokuno CD, Sanderson DJ, Inglis JT, Chua R. Postural and movement adaptations by individuals with a unilateral below-knee amputation during gait initiation. *Gait Posture*. 2003;18(3):158-69.
3. Luengas LA, Camargo E, Sánchez G. Estudio de los rangos articulares en la bipedestación estática en personas normales vs. amputados transtibiales. *Tecnura*. 2013;17:60-8.
4. Gauthier-Gagnon C, Gravel D, St-Amand H, Murie C, Goyette M. Changes in ground reaction forces during prosthetic training of people with transfemoral amputations: A pilot study. *J Prosthetics Orthot*. 2000;12(3):4-9.
5. Lord M, Smith DM. Foot loading in amputee stance. *Prosthet Orthot Int*. 1984;8(3):159-64.
6. Morgenroth DC, Segal AD, Zelik KE, Czerniecki JM, Klute GK, Adamczyk PG, et al. The effect of prosthetic foot push-off on mechanical loading associated with knee osteoarthritis in lower extremity amputees. *Gait Posture*. 2011;34(4):502-7.

7. Blumentritt S, Schmalz T, Jarasch R, Schneider M. Effects of sagittal plane prosthetic alignment on standing trans-tibial amputee knee loads. *Prosthet Orthot Int.* 1999;23(3):231-8.
8. Novel.de. The pedar® system- The quality in shoe dynamic pressure measuring system [Internet]. Alemania: Novel; 2013 [citado: 11 de mayo de 2014]. Disponible en: <http://www.novel.de/novelcontent/pedar>
9. Luengas LA, Gutiérrez MA, Camargo E. Alineación de prótesis y parámetros biomecánicos de pacientes amputados transtibiales. Bogotá: UD Editorial; 2017.
10. Kimmeskamp S, Hennig EM. Heel to toe motion characteristics in Parkinson patients during free walking. *Clin Biomech.* 2001;16(9):806-12.
11. Kellis E. Plantar pressure distribution during barefoot standing, walking and landing in preschool boys. *Gait Posture.* 2001;14:92-7.
12. 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.
13. Nederhand MJ, Van Asseldonk EHF, Der Kooij H Van, Rietman HS. Dynamic Balance Control (DBC) in lower leg amputee subjects. Contribution of the regulatory activity of the prosthesis side. *Clin Biomech.* 2012;27(1):40-5.
14. Clark L, Zernicke RF. Balance in lower limb child amputees. *Prosthet Orthot Int.* 1981;5(1):11-8.
15. Curtze C, Hof AL, Postema K, Otten B. The relative contributions of the prosthetic and sound limb to balance control in unilateral transtibial amputees. *Gait Posture.* 2012;36(2):276-81.
16. McCrory JL, Young MJ, Boulton AJM, Cavanagh PR. Arch index as a predictor of arch height. *Foot.* 1997;7:79-81.

Fecha de recibido: 11 de julio de 2017.

Fecha de aprobado: 18 de julio de 2017.

Lely Adriana Luengas Contreras. Facultad Tecnológica. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.

Correo electrónico: laluengasc@udistrital.edu.co