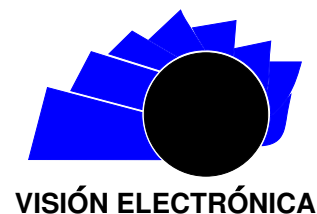




Visión Electrónica

Más que un estado sólido

<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/visele/index>



VISIÓN INVESTIGADORA

Estudio de fuerzas en la bipedestación estática

Study of forces during bipedal standing

Lely A. Luengas^a, Miguel A. Gutiérrez^b, Esperanza Camargo^c

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Enviado: Enero de 2015

Recibido: Marzo de 2015

Aceptado: Marzo de 2015

Palabras clave:

Amputados transtibiales

Baropodometría

Biomecánica

Centro de presión

Prótesis



Keywords:

Baropodometry

Biomechanics

Center of pressure

Prosthesis

Transtibial amputees

RESUMEN

Este estudio se diseñó para evaluar la fuerza media bajo cada pie y la variación en la ubicación del centro de presión plantar durante la bipedestación estática, tanto en pacientes amputados por minas antipersonas como en no amputados. Se evaluaron quince sujetos (diez no amputados, cinco hombres y cinco mujeres, y cinco amputados, todos hombres, con rango de edad entre 20-40 años), funcionales. Se realizaron cinco mediciones a cada sujeto, siguiendo el protocolo establecido para la medición. Se utilizó el sistema de plantillas de Pedar®. El análisis estadístico utilizado fue ANOVA, para confirmar que los datos obtenidos en las mediciones son válidos. Se confirmó que la ubicación del COP en cada pie se ve afectada por el uso de prótesis, se requiere confirmar si la alineación de la prótesis influye en el COP, se deja para un estudio posterior.

ABSTRACT

This study was designed to evaluate the average force under each foot and variation in location of center of plantar pressure during static standing, in amputees by landmines and non-amputees subjects. Fifteen subjects were evaluated (ten non-amputees, five men and five women, and five amputees, all men, age range 20-40 years), they are functional. Five measurements were performed for each subject, following the protocol established for the measurement. The template system Pedar® was used. The statistical analysis used was ANOVA, to confirm that the data obtained in the measurements are valid. It was confirmed that the location of the COP on each foot is affected by the use of dentures, it is required to confirm whether the alignment of the prosthesis influences COP, is left for further study.

^aIngeniera Electrónica, Fundación Universidad Autónoma de Colombia. Magíster en Ingeniería Eléctrica, Universidad de los Andes. Estudiante de Doctorado en Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá. Docente Universidad Distrital Francisco José de Caldas. e-mail: lelyluco@gmail.com

^bMédico Cirujano Universidad Nacional, Bogotá. Especialista en Medicina Física y Rehabilitación, Universidad Militar Nueva Granada. Posgrado en ortesis y prótesis, University of Hartford. Médico protesista del Hospital Militar Central. e-mail: ??

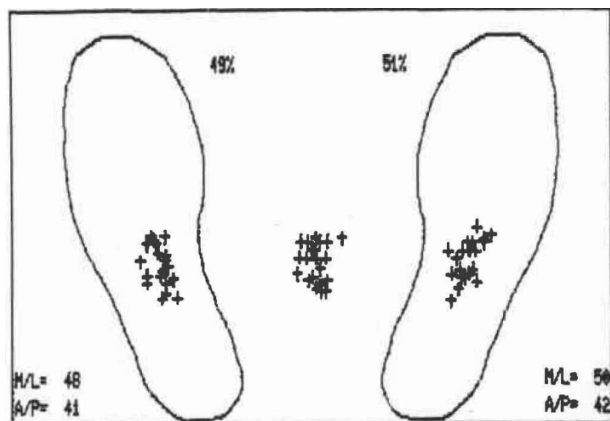
^cIngeniera en Control e Instrumentación, Estudiante de Doctorado en Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá. Docente Universidad Distrital Francisco José de Caldas. e-mail: ecamargoc@udistrital.edu.co

1. Introducción

El estudio de la presión plantar se conoce como baropodometría, actualmente emplea instrumentos electrónicos para conocer la distribución de cargas en la superficie plantar. La exploración baropodométrica en posición bípeda estática es altamente útil, ya que permite observar la huella de los pies con una muestra de las presiones ejercidas por varias zonas de la planta del pie, lo cual permite comparar valores de referencia con las mediciones realizadas y diagnosticar patologías no solo del pie sino de todo el cuerpo, además permite el seguimiento de estudios baropodométricos, presenta ayuda en la medicina deportiva, evaluación de plantillas, prevención de enfermedades y demás elementos con incidencia sobre la presión [1-3].

Cuando se realiza un apoyo bipodal en estática, el peso del cuerpo se trasmite por las extremidades inferiores llegando a cada pie aproximadamente el 50% del mismo, y es el astrágalo el que distribuye la fuerza a los diferentes puntos. La descripción de las presiones plantares que soporta cada zona del pie, en estática, es muy variable según diferentes autores, pero la mayoría de los estudios indican que es la zona del talón la que más presión soporta. El origen de la fuerza de reacción en la superficie de apoyo se define comúnmente como el centro de presión del pie (COP) y corresponde a la proyección del Centro de gravedad del cuerpo hacia la superficie de apoyo, se puede tener la COP de todo el cuerpo o de cada pie individual. La ubicación de la COP de todo el cuerpo con respecto a la posición de los pies, según Carlson (1972), se encuentra en el centro del polígono de sustentación. En cada pie se ubica dentro del rango de 32% a 51% de la longitud del zapato en la dirección anteroposterior y 34% a 63% del ancho del zapato en la dirección medio-lateral, Figura 1 [4-6].

Figura 1. Ubicación de la COP de todo el cuerpo y de cada pie en personas no amputadas [4].

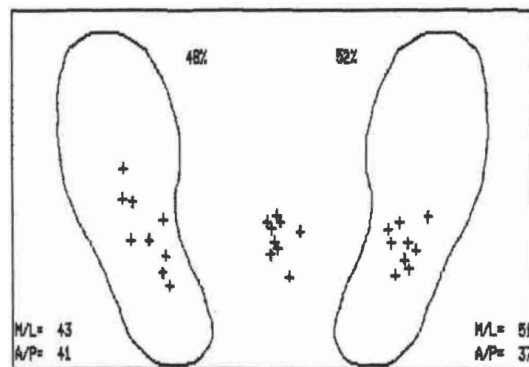


Fuente: elaboración propia.

Como se dijo anteriormente, el apoyo del peso corporal en condiciones estáticas y dinámicas es una de las principales funciones de la extremidad inferior. Pero el desplazamiento del peso simétrico 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 del miembro y por tanto pérdida de masa, el centro de gravedad se desplaza lateralmente hacia el lado de la extremidad no amputada, el aumento de la carga vertical en el lado no amputado está también relacionada con la diferencia entre el peso de la prótesis y el peso del segmento anatómico, el dolor, la condición física y/o la inestabilidad de la prótesis [7].

En los amputados por debajo de rodilla, amputados transtibiales, la carga es aproximadamente el 45% del peso corporal en la prótesis, y el rango de ubicaciones de la COP bajo el pie protésico se encuentra entre el 23% y el 71% en sentido anteroposterior, y entre el 37% y el 58% mediolateral. Estos datos varían de acuerdo al nivel de adaptación de la prótesis, Figura 2 [4, 8].

Figura 2. Ubicación de la COP de todo el cuerpo y de cada pie en amputados transtibiales [4].



Fuente: elaboración propia.

El objetivo de este estudio prospectivo, transversal y descriptivo es demostrar la variación de la distribución plantar y la ubicación del COP, en los sujetos amputados con relación a sujetos no amputados, en población colombiana; los amputados son consecuencia de las minas antipersona utilizadas en el conflicto interno del país. El sistema de medición utilizado fue Pedar®.

2. Materiales Y métodos

Para la investigación se tuvieron dos grupos de estudio, G1 de sujetos no amputados y G2 de amputados transtibiales, quince voluntarios fueron reclutados, 10 no amputados, 5 hombres y 5 mujeres, y 5 amputados, todos hombres. Se excluyeron los sujetos que presentaban alteraciones músculo-esqueléticas o neurológicas en las otras extremidades, alteraciones sensoriales o cognitivas,

lesiones en piel, alteraciones en marcha secundarias por dolor, uso de ayudas externas para la marcha y alteraciones articulares en otros segmentos corporales en miembros inferiores.

Los amputados debían tener amputación transtibial unilateral, uso adecuado de prótesis por más de un año y adaptación adecuada.

La edad, la altura, el peso, el tamaño del pie y el tiempo de amputación también se registraron. El Comité de Ética en Investigación del Hospital Militar Central local aprobó el estudio y todos los sujetos dieron su consentimiento informado.

El valor promedio de edad, peso y altura de G1 (grupo de no amputados) fueron 34,2 años (rango 23-40 años), 64,3 kg (rango de 53 a 79 kg) y 1,67 m (rango de 1,58 a 1,76 m), respectivamente. En cuanto a G2 (grupo de amputados) se tuvo una edad promedio de 34,25 años con rango (29-40 años), en peso 78,75 kg con rango (68-89 kg) y estatura 1,69 m con rango (1,6-1,77 m).

Para la medición, el sistema se instaló en el Hospital Militar Central (Bogotá, Colombia). Se utilizaron plantillas de medición de distribución de fuerzas marca Pedar® (Novel, Alemania), las cuales cuentan con 99 sensores piezoeléctricos en cada plantilla; el software utilizado fue Pedar®, con éste se recopiló la distribución de fuerzas en la planta de cada pie, la ubicación del COP y la presión media cuando un sujeto se encuentra en posición bipedestada estática. La configuración del sistema se muestra en la figura 3. El estudio fue desarrollado utilizando guías 2D para controlar la posición de los pies y de bipedestación durante la toma de muestras. Al inicio de cada sesión, se realizó un procedimiento de calibración utilizando la guía 2D.

Los sujetos seleccionados fueron evaluados por un médico antes de iniciar la toma de datos. Se hizo énfasis en las extremidades inferiores para que cumplieran con los requisitos de inclusión mencionados. Se informó e instruyó sobre la forma de realizar las mediciones. Se tomaron cinco medidas a cada sujeto.

Figura 3. Configuración del sistema para realizar las mediciones de presión plantar en persona amputadas y no amputadas.



Fuente: elaboración propia.

Los datos fueron explorados por los valores atípicos intra-sujetos, haciendo uso del software para estadística SPSS®. Las variables independientes fueron cada sesión y cada pie; las dependientes la distribución de fuerzas sobre cada pie y la ubicación del centro de presión (COP) en la planta de cada pie. Los datos se resumieron mediante la media y la desviación estándar. Se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) para investigar la variabilidad de la ubicación del COP en cada uno de los sujetos analizados. Las desviaciones estándar de las diferencias entre medidas identificadas en el ANOVA se utilizaron para determinar el coeficiente de repetibilidad (CR) de cada parámetro. La repetibilidad se investigó para el pie izquierdo y derecho por separado.

3. Resultados

En el estudio se analizaron las variables del grupo G2, compuesto por 5 personas amputadas transtibiales a causa de minas antipersona, comparándolas con 10 personas no amputadas pertenecientes al grupo control G1. Debido a que se incluyeron tres amputados de pierna derecha y dos de izquierda, G2 se subdividió en G21 para los amputados derecha y G22 para los de izquierda.

El coeficiente de repetibilidad (expresado como un porcentaje de la media) fue menor al 10% en los parámetros en cada sujeto, lo cual permite establecer que los datos obtenidos en las mediciones son confiables. En la tabla 1 se muestran los valores medios y las desviaciones estándar de la fuerza sobre cada pie y del centro de presión plantar (COP).

Tabla 1. Valores baropodométricos de fuerza y centro de presión medidos en la planta del pie de personas amputadas y no amputadas.

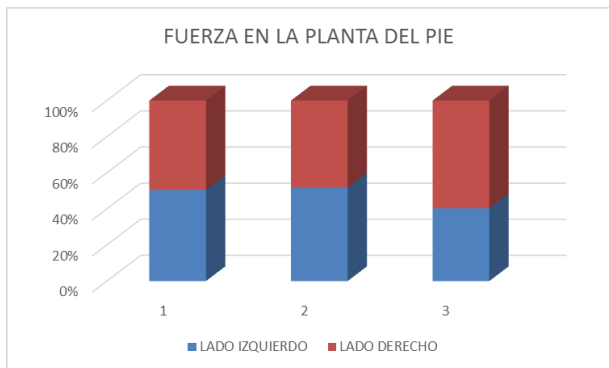
| VARIABLE | G1 (n=10) | G21 (n=3) | G22 (n=2) |
|--------------------------|----------------|----------------|--------------|
| FUERZA PIE IZQUIERDO (N) | 279,751 (±2,9) | 428,61 (±1,55) | 350,72(±3,6) |
| COP (X) IZQUIERDO (%) | 41,3 (±7,9) | 58,77(±1,28) | 44,1(±4,8) |
| COP (Y) IZQUIERDO (%) | 42,78 (±7,9) | 37,98(±4,28) | 44,9(±4,8) |
| FUERZA PIE DERECHO | 274,754 (±5,4) | 397,97 (±2,02) | 518,27(±2,8) |
| COP (X) DERECHO (%) | 60,17 (±6,6) | 61,45(±4,72) | 41,9(±3,6) |
| COP (Y) DERECHO (%) | 40,51 (±8,13) | 48,47(±1,34) | 32,72(±5,56) |

Fuente: elaboración propia.

La fuerza que se presenta en la planta de cada pie se da en Newtons, su representación se muestra en la figura 4. Donde la zona azul indica la fuerza en el lado izquierdo y la naranja en el derecho. La barra 1 es la presión media en las personas no amputadas la 2 en personas amputadas del lado derecho y 3 amputadas de lado izquierdo. En las personas no amputadas no se encontraron diferencias significativas entre las variables de presión del pie derecho e izquierdo ($p > 0,05$). La prueba de correlación de Pearson muestra que no existe correlación significativa entre las presiones plantares en ambos pies ($p > 0,05$) en las personas amputadas. Sin embargo, la correlación de Pearson entre el lado amputado y las presiones del lado amputado muestra una correlación significativa y positiva. El análisis de la varianza (ANOVA) muestra que con respecto al pico de presión máxima existen diferencias significativas ($p = 0,001$) entre los pies en los amputados.

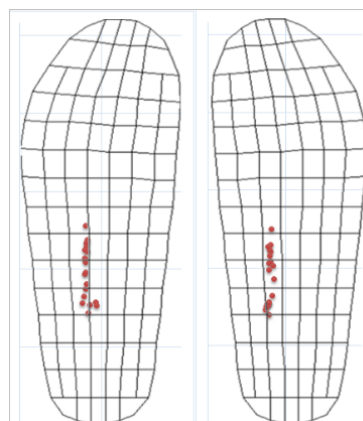
El COP se expresa en porcentaje con respecto a la longitud y ancho del pie; para el valor de Y se toma con valor de referencia la parte posterior del talón y para X la parte lateral del pie. La figura 5 muestra la ubicación del COP del grupo control G1, los gráficos de G2 se muestran en la figura 6. La ANOVA de la variable COP muestra que no existen diferencias entre su ubicación en la personas no amputadas ($p = 0,001$), e indica que su ubicación en medio-pie; pero no así en los amputados, ya que en lado amputado se ubica entre ante-pie y medio-pie ($p = 0,257$), siendo la ubicación del COP del lado amputado anterior al lado no amputado. En G21 la ubicación del COP bajo el pie protésico está a 48,4% en sentido anteroposterior y 61,4% mediolateral; mientras que en G22 se encuentra a 44,9% en sentido anteroposterior y 44,1% mediolateral.

Figura 4. Valor de la fuerza medida en la planta de cada pie. Se muestra en porcentaje la fuerza en cada pie en relación con la fuerza total soportada por ambas extremidades inferiores. La barra 1 corresponde a personas no amputadas, la 2 amputados derechos y 3 amputados izquierdos. Se observa que en los amputados la fuerza es mayor en el lado no amputado.



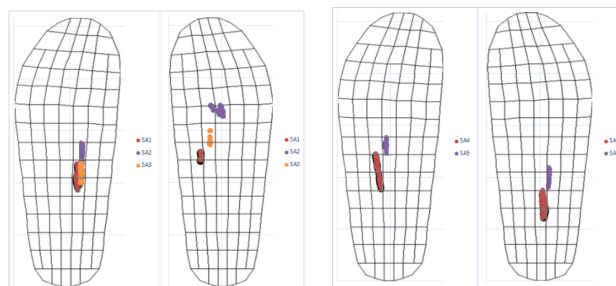
Fuente: elaboración propia.

Figura 5. Ubicación del centro de presión (COP) en personas no amputadas. La media del COP en pie izquierdo se ubica en las coordenadas (56,83) y en pie derecho (39,80), es decir en medio pie. La coordenada (0,0) se encuentra en la parte posterior y medial del talón de cada pie.



Fuente: elaboración propia.

Figura 6. Ubicación del centro de presión en amputados transtibiales que utilizan prótesis transtibial. El COP se desplaza anterior en el lado de uso de la prótesis.



Fuente: elaboración propia.

4. Conclusiones

Este estudio analiza las diferencias existentes en cuanto a fuerza en superficie plantar y ubicación del centro de presión plantar (COP), en adultos amputados transtibiales por minas antipersona, usuarios de prótesis respecto a adultos no amputados.

En primer lugar se estudió el comportamiento baropodométrico en personas no amputadas, ya que este conocimiento hace posible el análisis de la distribución de la presión en condiciones patológicas. En segundo lugar se hizo el estudio con las personas amputadas.

Para poder establecer las comparaciones se buscó un grupo control, G1, que tuviera unas características generales semejantes al grupo de amputados G2. Se consiguió un grupo control con edad y tallas parecidas respecto a los sujetos del grupo a estudio. En cuanto al peso, los valores medios fueron menores en el grupo control respecto al grupo de estudio.

En G1 la distribución de fuerza plantar en cada pie es cercana del 50% (50,4% en izquierdo y 49,5% en derecho); en G2 la distribución de fuerzas se ve afectada por la prótesis, teniendo cerca del 44% del peso sobre el pie amputado y 56% sobre el no amputado, lo cual se debe a que los amputados son usuarios efectivos de la prótesis, con adaptación integral a ella, los resultados permiten comprobar lo descrito por (Lord, 1984). De lo anterior se desprende que los sujetos de G2 han adoptado mecanismos de compensación que permiten distribuir el peso corporal en sus segmentos inferiores de forma adecuada.

En cuanto al COP y consistente con estudios previos realizados por Nederhand et al, 2012 y Clark et al, 1981 [9,10], se comprobó que en G1 se encuentra ubicado en la zona de medio pie, y ambos pies muestran una ubicación similar de éste. En G2, la ubicación del COP se altera, siendo diferentes en cada pie dependiendo de la pierna amputada; si la amputación es derecha, G21, el COP se desplaza anterior en la pierna derecha y posterior en izquierda; si la amputación es izquierda, G22, el desplazamiento anterior se presenta en izquierda y el posterior en derecha. Lo anterior indica que el COP se desplaza anterior en el segmento corporal usuario de prótesis y posterior en la pierna no amputada.

Gauthier-Gagnon et al, Xiaohong et al, Nederhand et al y Clark et al [7–10] sugieren que la ubicación del COP y la distribución de fuerzas se debe a que los amputados tienen mayor confianza en lado no amputado, nosotros hipotetizamos que existen una marcada influencia de los mecanismos de compensación presentes en las articulaciones de miembro inferior, las cuales son utilizadas por los amputados para suplir la pérdida de masa corporal debida a la amputación, ya que si bien la prótesis presenta una masa, ésta nunca llega a ser igual a la de la pierna no amputada. Con estos mecanismos se mantiene el equilibrio, se presenta una marcha dentro de los parámetros normales, pero la distribución de presión en la planta de los pies se altera.

5. Agradecimientos

Para la realización del proyecto de investigación de donde se obtuvieron datos que permitieron llegar a este documento se contó con la colaboración del Servicio de Amputados y Pótesis del Hospital Militar Central, de la

Unidad de Investigación Científica del Hospital Militar Central y de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, a quienes se les agradece el apoyo brindado.

Referencias

- [1] Meléndez C., Villarroja, M., Moros, T., Maza v., Casajús J. “Presiones plantares, en estática bipodal, en niños/adolescentes con síndrome de Down”, *Biomecánica*, Vol. 18 No.1, 2010, pp 7-15.
- [2] Miralles R., *Biomecánica aplicada del aparato locomotor*. España: Ed. Masson, 2000.
- [3] Luengas, L., Camargo E., Sanchez G., “Estudio de los rangos articulares en la bipedestación estática en personas normales vs. Amputados transtibiales”. *Revista Tecnura* Vol 17 Número Especial, diciembre, 2013, pp 60-68.
- [4] Lord M, Smith D M. “Foot loading in amputee stance”, *Prosthetics and orthotics international*, Vol 8, 1984, pp 159-164.
- [5] Perry J., *Gait Analysis, Normal and Pathological Function*. USA: Ed. SLACK Incorporated, 1992.
- [6] Winter D, Patla A, Prince F, Ishac M, Gielo-Perczak K. “Stiffness control of balance in quiet standing”. *Journal of Neurophysiology*, Vol 80, No. 3, september, 1998, pp 1211-21.
- [7] 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”, *JPO*, Vol 12, No 3, 2000, p 72.
- [8] Xiaohong J, Xiaobing L, Peng D, Ming Z. “The Influence of Dynamic Trans-tibial Prosthetic Alignment on Standing Plantar Foot Pressure”, *Proceedings of the 2005 IEEE, Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference, Shanghai, China, September 1-4, 2005*.
- [9] Nederhand M, Van Asseldonk E, Van der Kooij H, Rietman H. “Dynamic Balance Control (DBC) in lower leg amputee subjects; contribution of the regulatory activity of the prosthesis side”. *Clinical Biomechanics* vol. 27, 2012, pp 40–45.
- [10] Clark L, Zernicke R. “Balance in lower limb child amputees”. *Prosthetics and Orthotics International*. Vol. 5, 1981, pp 11-18.