

<https://doi.org/10.47300/actasidi-unicyt-2022-30>

## VALIDACIÓN DE LA ESTABILIDAD EN AMPUTADOS USANDO ANÁLISIS LINEAL

**Toloza Cano, Daissy Carola**  
Universidad Manuela Beltrán  
Bucaramanga, Colombia  
biomedica.bga@umb.edu.co  
ORCID: 0000-0002-2199-6797

**Luengas-C, Lely A.**  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Bogotá, Colombia  
laluengasc@udistrital.edu.co  
ORCID: 0000-0002-3600-4666

### RESUMEN

La estabilidad postural en el ser humano consiste en mantener equilibrio en postura bipedestada, este proceso complejo permite realizar diferentes tareas, entre las que se encuentra caminar, correr, por citar algunas. La comprensión de aspectos fundamentales que intervienen en el proceso de estabilidad postural funcional es imprescindible para el entendimiento de este, de tal forma que permita establecer una correlación entre la estabilidad y una patología con el fin de proponer estrategias de intervención del área de la salud. Al presentarse resección de un segmento corporal, como en el caso de personas con amputación por debajo de rodilla, la masa corporal se reduce, lo cual incide en el desplazamiento tanto del centro de masa y como el de gravedad, teniendo como consecuencia patrones alterados en la estabilidad. Por lo anterior, se realizó un estudio con la finalidad de aportar datos concretos que contribuyan a esclarecer las alteraciones de estabilidad las personas con amputación transtibial. Se midieron 37 personas sin amputación y 37 con amputación, se calcularon los parámetros lineales usados en la exploración de la estabilidad, en las direcciones medial-lateral y anteroposterior para ambas piernas. Se observaron diferencias entre las personas amputadas y las no amputadas, estas últimas presentan menor estabilidad en términos de los parámetros analizados que la población no amputada.

**Palabras clave:** amputación transtibial, análisis postural, estabilidad postural.

### ABSTRACT

Human postural stability consists of maintaining balance in a standing posture, this complex process allows different tasks to be conducted, among which is walking, running, to name a few. The understanding of fundamental aspects that intervene in the process of functional postural stability is essential for its understanding, in such a way that it allows establishing a correlation between stability and a pathology to propose intervention strategies in the health area. When presenting resection of a body segment, as in the case of people with amputation below the knee, body mass is reduced, which affects the displacement of both the center of mass and center of gravity, resulting in altered patterns in stability. Due to the above, a study was conducted with the purpose of providing concrete data that contributes to clarify the stability alterations of people with transtibial amputation. Thirty-seven subjects without amputation and thirty-seven with amputation

were measured, the linear parameters used in the exploration of stability were calculated, in the medial-lateral and antero-posterior directions for both legs. Differences were observed between amputated and non-amputees, the latter presenting less stability in terms of the parameters analyzed than the non-amputee population.

**Keywords:** transtibial amputation, postural analysis, postural stability.

## 1. INTRODUCCIÓN

La bipedestación es una característica del ser humano bípedo, donde se tiene una postura erecta y estabilidad para mantener la posición del cuerpo en relación con el espacio donde está situado, así como conservar la ubicación adecuada de los diferentes segmentos corporales. La estabilidad se altera por condiciones biomecánicas, fisiológica y psicológicas, entre otras. (Fort Vanmeerhaeghe y Romero Rodríguez, 2013; Madeleine et al., 2004; Ruhe et al., 2011).

La resección del segmento corporal por debajo de rodilla conlleva a la disminución de conocimiento para lograr estabilidad postural (Luengas, L. A. y Toloza, D. C., 2020). Pero, el análisis de la estabilidad en posición bípeda en personas con amputación transtibial unilateral (PAT) permite una correcta alineación del miembro protésico, mejorando las características técnicas de la prótesis y la selección del programa de rehabilitación adecuado; asimismo, tener una adecuada distribución del peso, disminución del gasto energético en la marcha protésica, el logro de una marcha relativamente normal, por citar algunas aplicaciones (Luengas, L. A. y Toloza, D. C., 2020).

Por ello se abordó una investigación con el fin de identificar las características propias de la estabilidad en PAT, se emplearon técnicas de análisis lineal de parámetros del centro de presión (CoP) en las direcciones medial-lateral y anteroposterior para ambas piernas. Las mediciones para calcular los parámetros se realizaron a dos grupos: PAT (amputados) y personas sin amputación (grupo control). En este artículo se da a conocer el estudio realizado.

## 2. MARCO CONCEPTUAL

La estabilidad puede ser considerada como un ajuste postural y una habilidad motora compleja que resulta de la interacción de múltiples procesos sensoriomotores donde se busca permitir el desplazamiento a través de la marcha, el equilibrio postural, la orientación postural y la interacción con el entorno de manera segura y eficiente. Esta clase de estabilidad se encuentra relacionada estrechamente con el sistema musculoesquelético, la parte sensorial y la movilidad, entre otros factores; se puede alcanzar la estabilidad por medio de una sinergia precisa y armónica entre los factores mencionados, donde se incluyen las estructuras de los sistemas osteoarticular, musculotendinoso, mecanorreceptor, nervioso central y somatosensorial, vestibular y visual (Luengas, L. A. y Toloza, D. C., 2020). De tal forma que se generan actos-reflejos necesarios para que un sujeto permanezca en una posición vertical ortoestática o en estática postural (Fort Vanmeerhaeghe y Romero Rodríguez, 2013; Madeleine et al., 2004; Ruhe et al., 2011).

El control y la estabilidad postural se obtienen de forma independiente a través de los primeros años de vida; sin embargo, existen factores mecánicos que los pueden alterar, entre los que están factores biomecánicos (afectación de la base de sustentación, la altura del centro de gravedad, la ubicación de la proyección del centro de gravedad, etc.), fisiológicos (edad, fatiga, alteraciones vestibulares, consumo de fármacos, alcohol o sustancias psicoactivas), psicológicos (temor, estrés, ansiedad), entre otros (Petrocci y Cárdenas, 2011; Howcroft et al., 2016).

La amputación de un segmento corporal conlleva a la pérdida física de una porción del cuerpo y su contribución en el funcionamiento de la totalidad del organismo. En el caso del segmento por debajo de rodilla consiste en una alteración primariamente periférica que no sólo supone la pérdida estructural del soporte estático, sino que implica la pérdida de la función dinámica del complejo articular y una pérdida de información sensorial, propioceptiva y exteroceptiva. Esto

vislumbra que la amputación es un proceso potencialmente incapacitante que perturba los diferentes aspectos de las actividades diarias (Luengas, L. A. y Toloza, D. C., 2020).

La estabilidad se evalúa a través del examen del CoP, considerado como una representación 2D del punto donde se proyecta el vector de reacción del suelo, allí se concentra el promedio de todas las presiones sobre la superficie del área en contacto del pie sobre el suelo (Petrocci y Cárdenas, 2011).

Algunas de las mediciones de parámetros lineales del CoP que se realizan dentro de un estudio de estabilidad postural asociadas al dominio del tiempo son (Baig et al., 2012; Cavalheiro et al., 2009):

- Desplazamiento promedio
- Velocidad promedio
- Área del 95 % de la elipse de confianza
- Desviación estándar en la dirección ML y AP
- Rango
- Desplazamiento total del CoP
- Raíz de la media cuadrática (valor RMS)

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

Se desarrolló un estudio observacional descriptivo donde participaron 74 sujetos, se distribuyeron en dos grupos de estudio: un grupo PAT con 37 sujetos y un grupo control con 37 sujetos. Se reclutaron los sujetos utilizando un enfoque de tipo a conveniencia no probabilístico. Los sujetos con enfermedades neurológicas, cardiovasculares y otras afecciones ortopédicas se excluyeron del estudio. Todos los participantes tenían una visión normal y todos ellos dieron su consentimiento informado.

En el grupo PAT todos eran hombres, usaban igual tipo de prótesis exoesquelética marca Ottobock, de liner y pin, con pie dinámico en carbono, por un tiempo superior a dos años. El lado amputado difería entre PAT, por ello se optó por dejar como el lado no amputado (contralateral) el izquierdo y amputado (ipsilateral) el derecho.

La ubicación del CoP se midió con plantillas capacitivas instrumentadas marca Pedar, con una frecuencia de muestreo de 50 Hz. El registro y almacenamiento de los datos medidos se hizo con el sistema de adquisición de datos del sistema Pedar.

La tarea fijada en el protocolo se realizó con los ojos abiertos, cada sujeto se ubicó de pie sobre las plantillas, mirando una pared blanca situada a 2 m frente a él, debía estar lo más quieto posible y en silencio durante 30 s, en posición relajada anatómica de bipedestación.

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizó el cálculo de los parámetros lineales del CoP tanto en la dirección medial-lateral (ML) como anteroposterior (AP) para ambas piernas. Todos los parámetros presentaron diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos de estudio, con un valor-p de 0,05, Tabla 1.

**Tabla 1.**  
*Parámetros lineales del CoP*

Parámetros	XL*			XR*		
	PAT	Controles	Valor-p	PAT	Controles	Valor-p
Excursión (mm)	343,97 (248,67 597,69)	175,03 (71,74 261,39)	0,00006	548,80 (253,75 1115,20)	226,45 (95,90 315,04)	0,00002
Velocidad	0,81	0,16	< 0,0000	0,66	0,23	< 0,00000

Parámetros	XL*			XR*		
	PAT	Controles	Valor-p	PAT	Controles	Valor-p
(mm/s)	(0,48 1,30)	(0,07 0,28)	1	(0,44 0,89)	(0,10 0,42)	1
Rango (mm)	1,33 (0,91 2,20)	0,62 (0,28 1,12)	0,00009	1,90 (0,95 3,53)	0,77 (0,39 1,22)	0,00004
RMS (mm)	0,28 (0,22 0,49)	0,14 (0,06 0,23)	0,00005	0,44 (0,20 0,94)	0,19 (0,08 0,26)	0,00002
Amp promedio (mm)	0,23 (0,17 0,40)	0,12 (0,05 0,18)	0,00006	0,37 (0,17 0,75)	0,15 (0,06 0,21)	0,00002
Amp máx (mm)	0,63 (0,45 1,08)	0,29 (0,11 0,60)	0,00015	0,78 (0,51 1,44)	0,40 (0,20 0,70)	0,00003
Amp mín (mm)	-0,60 (- 1,11 - 0,46)	-0,34 (-0,47 - 0,17)	0,00008	-0,95 (-1,73 - 0,40)	-0,49 (-0,65 -0,18)	0,00014

Parámetros	YL*			YR*		
	PAT	Controles	Valor-p	PAT	Controles	Valor-p
Excursión (mm)	6915,52 (4137,11 10 435,05)	750,49 (458,06 1176,29)	<0,0000 1	2305,42 (1217,42 4833,70)	1110,11 (600,22 1736,07)	0,00018
Velocidad (mm/s)	6,59 (4,93 8,50)	0,78 (0,40 1,31)	<0,0000 1	2,08 (1,43 2,98)	1,05 (0,66 1,77)	0,00005
Rango (mm)	23,17 (16,02 29,39)	2,95 (1,88 4,69)	<0,0000 1	6,91 (4,25 14,56)	4,35 (2,52 6,68)	0,00295
RMS (mm)	5,49 (3,51 7,87)	0,63 (0,39 0,99)	<0,0000 1	1,86 (1,00 3,95)	0,91 (0,52 1,43)	0,00026
Amp promedio (mm)	4,64 (2,78 7,00)	0,50 (0,31 0,79)	<0,0000 1	1,55 (0,82 3,24)	0,75 (0,40 1,17)	0,00018
Amp máx (mm)	11,52 (6,58 15,75)	1,45 (0,92 2,31)	<0,0000 1	3,77 (1,97 6,91)	1,98 (1,07 3,33)	0,00137
Amp mín (mm)	-10,29 (- 15,61 - 8,43)	-1,35 (-2,34 -0,92)	<0,0000 1	-4,07 (- 7,10 - 2,22)	-2,06 (-3,95 - 1,37)	0,00889

**Nota:** Los valores corresponden a la mediana e intervalo de confianza.

\*Se presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ). X: dirección ML. Y: dirección AP. L: pierna izquierda. R: pierna derecha. Amp: amplitud. PAT: personas con amputación transtibial.

Observando que PAT presentó los mayores valores con respecto al grupo control, lo que sugiere que las personas con amputación oscilan en mayor grado en ambas direcciones (ML y AP), en ambos miembros inferiores para poder mantener la estabilidad en posición bípeda. Las altas oscilaciones son consecuencia de la reducida respuesta efectora neuromuscular provocada por la baja integración sensoriomotora, conducentes a afectaciones en el control del balance. Por tanto, a la luz de los resultados lineales en el dominio del tiempo, se puede sugerir que el sistema

de control postural utiliza el miembro no amputado como el principal actor para mantener la postura y evitar una posible caída.

Adicional, se obtuvo el área de la elipse de confianza, ya que es considerada como una medida de rendimiento de la postura y contiene el 95 % del movimiento del CoP. PAT presentó una mayor área de la elipse producto del mayor balanceo que el cuerpo realiza para mantener su equilibrio. En cuanto al ángulo de la elipse, PAT mostró un menor ángulo en ipsilateral, lo que puede indicar la rigidez que el cuerpo hace para mantener el control postural, la oscilación es mayor en ese lado, producto de la estrategia de tobillo.

Para los amputados mantener su estabilidad postural, ya sea en estática o en dinámica, es de vital importancia porque se exponen a un mayor riesgo de presentar una caída en comparación con sujetos sin amputación. La pérdida de esa parte del miembro inferior hace que las señales aferentes provenientes de los propio-receptores se reduzcan, impactando de forma directa en el deterioro del equilibrio y en la limitación de la funcionalidad de los músculos involucrados. Por eso, la persona debe generar y adaptarse a nuevos patrones de movimientos, involucrando la nueva estructura (prótesis), lo que aumenta el consumo de energía para mantener la marcha y la estabilidad.

#### 4. CONCLUSIONES

Los individuos que sufren una amputación de sus extremidades inferiores presentan un deterioro funcional que afecta múltiples facetas de la vida, entre las que están la movilidad, actividades físicas y lúdicas y las actividades básicas de la vida diaria, por citar algunas.

Se encontraron las mayores diferencias en los amputados en los parámetros de la amplitud promedio, la excursión y la velocidad del CoP ( $p < 0,05$ ). Por tanto, estos parámetros deben tenerse en cuenta en el momento en que se realiza la alineación y ajuste de la prótesis, pues mantener estos parámetros en unos límites ideales permite una buena adaptabilidad al miembro protésico, un buen mantenimiento del equilibrio y desarrollo de las actividades cotidianas y así reducir de forma significativa la probabilidad de sufrir una caída.

#### REFERENCIAS

- Baig, S., Dansereau, R. M., Chan, A. D. C., Remaud, A. y Bilodeau, M. (2012). Cluster analysis of center-of-pressure measures. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 1(1), 9-17. <https://doi.org/10.11159/ijecs.2012.002>
- Cavalheiro, G. L., Almeida, M. F. S., Pereira, A. A. y Ndrade, A. O. (2009). Study of age-related changes in postural control during quiet standing through Linear Discriminant Analysis. *BioMedical Engineering OnLine*, 8(35), 1-13. <https://doi.org/doi:10.1186/1475-925X-8-35>
- Fort Vanmeerhaeghe, A. y Romero Rodríguez, D. (2013). Rol del sistema sensoriomotor en la estabilidad articular durante las actividades deportivas. *Apunts. Medicina de l'Esport*, 48(178), 69-76. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apunts.2012.09.002>
- Howcroft, J., Lemaire, E. D., Kofman, J. y Kendell, C. (2016). Understanding responses to gait instability from plantar pressure measurement and the relationship to balance and mobility in lower-limb amputees. *Clinical Biomechanics*, 32, 241-248. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2015.11.004>
- Luengas, L. A. y Toloza, D. C. (2020). Análisis frecuencial y de la densidad espectral de potencia de la estabilidad de sujetos amputados. *Tecnológicas*, 23(48), 1-16. <https://doi.org/10.22430/22565337.1453>
- Madeleine, P., Prietzel, H., Svarrer, H. y Arendt-Nielsen, L. (2004). Quantitative posturography in altered sensory conditions: A way to assess balance instability in patients with chronic whiplash injury. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 85(3), 432-438. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2003.03.003>

- Petrocci, K. E. y Cárdenas, R. P. (2011). La medición del control postural con estabilometría - una revisión documental. *Revista Colombiana de Rehabilitación*, 10, 16-24.
- Ruhe, A., Fejer, R. y Walker, B. (2011). Center of pressure excursion as a measure of balance performance in patients with non-specific low back pain compared to healthy controls: A systematic review of the literature. *European Spine Journal*, 20(Issue 3), 358-368. Springer. <https://doi.org/10.1007/s00586-010-1543-2>

i

---

<sup>i</sup> Los autores del trabajo autorizan a la Universidad Internacional de Ciencia y Tecnología (UNICYT) a publicar este resumen en extenso en las Actas del Congreso IDI-UNICYT 2022 en Acceso Abierto (Open Access) en formato digital (PDF) e integrarlos en diversas plataformas online bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>.

La Universidad Internacional de Ciencia y Tecnología y los miembros del Comité Organizador del Congreso IDI-UNICYT 2022 no son responsables del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en este artículo.