

Evaluación comparativa de prótesis transtibiales mediante análisis de marcha y goniometría para determinar la más adecuada para paciente amputada

Cabrera Herrera, Michelle

2025

<https://hdl.handle.net/20.500.11777/6227>

<http://repositorio.iberopuebla.mx/licencia.pdf>

Evaluación comparativa de prótesis transtibiales mediante análisis de marcha y goniometría para determinar la más adecuada para paciente amputada

Cabrera Herrera Michelle (noveno semestre en Ingeniería Biomédica)^{1, *}, Laiseca de la Cruz Ariatna (octavo semestre en Ingeniería Biomédica)¹, Landeros Centeno Carieli (octavo semestre en Ingeniería Biomédica)¹, Cantú Hernández Francisco (profesor responsable)¹, Moreno Hernández Ana (profesor asesor)¹ y Suárez Toscano Rita (profesor asesor)¹
¹Universidad Iberoamericana Puebla, San Andrés Cholula, Puebla, México

Palabras clave: Evaluación, prótesis, transtibial.

***Autor Corresponsal:** michelle.cabrera@iberopuebla.mx

Introducción

Las prótesis transtibiales son dispositivos que sustituyen al miembro amputado por debajo de la rodilla, específicamente a la altura de la tibia, lo que permite a los pacientes conservar el uso de esta articulación. Su función principal es permitir que el paciente recupere la movilidad en la extremidad y pueda realizar sus actividades diarias con el mayor grado de funcionalidad posible, así como el menor gasto energético [1].

Existen diferentes técnicas para la fabricación de prótesis transtibiales, las cuales dependen del diseño, los materiales y la adaptación al paciente. Entre estas técnicas se encuentran: a) KBM (*Kondylen Bettung Münster*): se caracteriza por un encaje más alto en la región medial y lateral del cóndilo femoral para mejorar la estabilidad sin necesidad de correas [2]; b) PTB (*Patellar Tendon Bearing*): se basa en cargar el peso en el tendón rotuliano y otras áreas de soporte como la cresta tibial, la parte posterior de la pantorrilla y los cóndilos tibiales, y se usa un encaje con relieve en las zonas sensibles y apoyo en zonas tolerantes a la carga [3]; c) SCG (*Supracondílea Grau*): se caracteriza por proporcionar mayor estabilidad mediolateral y mejor suspensión, ya que el encaje se extiende por encima de los cóndilos femorales para asegurar la prótesis sin necesidad de correas o sistemas de vacío adicionales [4]. Estas técnicas fueron seleccionadas debido a que son las más comunes en el mercado.

En etapas anteriores del proyecto se diseñaron y fabricaron las tres variaciones mencionadas de prótesis transtibial para una paciente de sexo femenino de 49 años, quien presenta complicaciones a distal de muñón debido a una mala praxis en la amputación. Por ende, el presente trabajo se centró en realizar un análisis comparativo para evaluar la funcionalidad y eficacia de tres diferentes técnicas de prótesis transtibiales, con el objetivo de determinar la técnica de prototización más adecuada para las condiciones de la paciente mediante un protocolo cuantitativo que emplea herramientas biomecánicas.

Metodología

Diseño de metodología para la evaluación de la marcha y goniometría

Se realizó una revisión bibliográfica sobre metodologías de análisis de marcha y goniometría en personas con amputación transtibial [5, 6, 7, 8, 9]. A partir de ello, se definieron los parámetros espaciales (como longitud del paso), temporales (cadencia, tiempo de apoyo), angulares (rangos articulares de cadera y rodilla) y estáticos (alineación y descarga de peso). Se seleccionaron herramientas como cámaras de video HD, el software *Kinovea* y electrogoniómetros de *Biometrics*. Se diseñó un protocolo experimental detallado para garantizar la estandarización de las mediciones.

Evaluación de parámetros biomecánicos y goniométricos

Se calibraron los equipos y se registró la marcha de la paciente usando tres tipos de prótesis transtibiales en un entorno controlado, el cual contaba con condiciones como: una superficie plana, con una distancia delimitada de 5 metros y ausencia de obstáculos; además, se le pidió a la paciente que realizara la prueba con el calzado que usa con mayor frecuencia. Los parámetros espaciales y temporales mencionados anteriormente se midieron utilizando *Kinovea*, mientras que los parámetros angulares se analizaron con los electrogoniómetros. Cada prueba se realizó tres veces con cada prótesis, con el objetivo de obtener un rango de datos y calcular el promedio de estos.

Análisis estático

Se llevó a cabo un análisis estático mediante el uso de la plataforma 3D L.A.S.A.R. de *Ottobock*, con la cual se puede observar la alineación y la descarga de peso de cada miembro inferior. En este, la paciente se colocó en posición anatómica sobre la plataforma, para registrar de forma natural los datos.

Aplicación de cuestionario de satisfacción protésica

Se aplicó el cuestionario de satisfacción protésica “SAT-PRO”, el cual es una herramienta validada para evaluar la satisfacción de las personas con amputación de miembro inferior con su prótesis [10]. Esta toma en cuenta aspectos como estabilidad, comodidad, durabilidad y facilidad de uso.

Identificación de restricciones y compensaciones articulares

Se analizaron los valores de rangos de movimiento en relación con la marcha, para identificar limitaciones o adaptaciones biomecánicas que afectaran la funcionalidad de la prótesis.

Resultados y Discusión

Se analizaron parámetros espaciotemporales de la marcha de la paciente con cada técnica de prototización (PTB, SCG y KBM) en un recorrido de 5 metros, registrando el número de pasos, el tiempo, velocidad, cadencia, longitudes de paso y zancada, así como el ancho de paso. Los resultados obtenidos del análisis biomecánico se muestran en la Tabla 1 (ver Anexo). En cuanto al análisis estático, se obtuvieron los resultados registrados en la Tabla 2 (ver Anexo). La técnica SCG presentó la mayor velocidad de marcha (0.695 m/s) y la mayor cadencia (83.41 pasos por minuto), indicando una marcha más dinámica y posiblemente más eficiente. Asimismo, mostró los mayores largos de paso y zancada, lo que sugiere una mejor simetría y desempeño funcional al caminar. En contraste, la técnica KBM mostró los valores más bajos de velocidad (0.598 m/s) y cadencia (78.94 ppm), además de presentar largos de paso y zancadas significativamente menores, lo cual puede reflejar una marcha más lenta y menos eficiente. También se observó un mayor ancho de paso, lo que podría interpretarse como una estrategia compensatoria para mantener el equilibrio. La técnica PTB presentó valores intermedios en la mayoría de los parámetros. Su cadencia fue ligeramente menor que la de SCG, pero con una zancada más simétrica entre los lados derecho e izquierdo (91.05 cm ambos). Se realizaron análisis goniométricos con los softwares *Kinovea* y *Biometrics*, cuyos resultados se compararon y se encontró que el margen de diferencia entre ambos era menor al 5%, por lo que la similitud arrojada indica que los análisis fueron realizados de manera correcta. Además, los resultados, que se encuentran en la Fig. 1 (ver Anexo), permiten concluir que la técnica SCG facilita la marcha con una goniometría más acercada a la de una persona sin amputación, lo cual simboliza una mayor eficiencia. En cuanto al resultado del cuestionario de satisfacción, que se muestra en la Tabla 3 (ver Anexo), la paciente mostró una preferencia por la técnica SCG, ya que fue la que obtuvo mejores observaciones. Se concluyó una mejor estabilidad, comodidad, ajuste, facilidad de uso, durabilidad, seguridad, adaptabilidad a la marcha y eficiencia energética.

Conclusiones

El presente estudio permitió comparar los parámetros cinemáticos de la marcha de una paciente usuaria de tres tipos de prótesis transtibiales: PTB, SCG y KBM. Los hallazgos indican que la técnica SCG proporcionó la mejor estabilidad y rendimiento general, evidenciado por su mayor velocidad (0.695 m/s) y cadencia (83.4 pasos por minuto), además de una mayor simetría en la longitud de paso y zancada. Además, el estudio de alineación y descarga de peso arrojó que con esta técnica presenta una mejor simetría de carga y mayor estabilidad. Esto fue reforzado por los cuestionarios de satisfacción, en las que la paciente mostró una preferencia por la técnica SCG, tomando en cuenta aspectos ergonómicos y biomecánicos. La relevancia de la presente investigación radica en la selección de la técnica correcta de prototización, lo cual garantiza una marcha funcional y cómoda para el paciente. Asimismo, el diseño de una metodología estructurada permite comparar objetivamente las diferentes técnicas. Este trabajo plantea una base importante para la precisa evaluación protésica, lo cual es necesario para asegurar que el paciente cuente con una prótesis eficiente. Como consideraciones para futuras etapas, se sugiere incluir un análisis de presión plantar y un estudio de electromiografía (EMG) de superficie, ya que ambos permiten evaluar de forma más completa la distribución de cargas y la activación muscular durante la marcha. Esto aportaría información clave para optimizar la selección y el ajuste de la prótesis.

Referencias

- [1] J. J. Stokosa, «Generalidades sobre las prótesis de los miembros», *Manual MSD Versión Para Profesionales*, 6 de marzo de 2024. <https://www.msmanuals.com/es/professional/temas-especiales/miembro-prot%C3%A9sico/generalidades-sobre-las-pr%C3%B3tesis-de-los-miembros>
- [2] M. México, «Socket en prótesis transtibial con diseño PTB», *mediprax*, 6 de agosto de 2024. [https://mediprax.mx/socket-transtibial-diseno-ptb/#:~:text=El%20dise%C3%B1o%20de%20socket%20transtibial%20PTB%20\(por%20sus%20siglas%20en.referencia%20sobre%20los%20c%C3%B3ndilos%20femorales.](https://mediprax.mx/socket-transtibial-diseno-ptb/#:~:text=El%20dise%C3%B1o%20de%20socket%20transtibial%20PTB%20(por%20sus%20siglas%20en.referencia%20sobre%20los%20c%C3%B3ndilos%20femorales.)
- [3] Ortopedia GARO SL, «Garotécnica», *Garotécnica*. <https://garotecnica.com/protesica/miembro-inferior/sistemas-de-contencion-tibial/#:~:text=Sistema%20KBM,minimizar%20los%20momentos%20de%20fuerza.>
- [4] T. Antonio Domingos, «Dispositivos ortopédicos de marcha», Universidad Don Bosco, 2006. <https://rd.udb.edu.sv/server/api/core/bitstreams/26fedf9a-c31b-44af-97a0-204bb262bb80/content>
- [5] Y. Uno *et al.*, «Validity of Spatio-Temporal Gait Parameters in Healthy Young Adults Using a Motion-Sensor-Based Gait Analysis System (ORPHE ANALYTICS) during Walking and Running», *MDPI*, 2023. <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/1/331?>
- [6] H. Uustal, «Normal Gait», *Medicine Missouri*. <https://medicine.missouri.edu/sites/default/files/Normal-Gait-ilovepdf-compressed.pdf>
- [7] Z. Shafizadegan, O. Rasouli, J. Sarrafzadeh, F. Farahmand, y R. Salehi, «Lower extremity joint kinematics in individuals with and without bilateral knee osteoarthritis during normal and narrow-base walking: a cross-sectional study», *ScienceDirect*, 2024. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0968016024002448>
- [8] «3D L.A.S.A.R. Posture | Bringing balance for everyday use», *Ottobock*. <https://www.ottobock.com/en-ex/product/743L500>
- [9] M. Alegría, C. Alvarado, M. Ballesteros, y D. Cruz, «Sistema portátil para análisis de carga plantar durante la marcha», *Research Gate*, 2023. https://www.researchgate.net/publication/376102353_Sistema_portatil_para_analisis_de_carga_plantar_durante_la_marcha
- [10] S. C. E. Steven, «Validación y adaptación del cuestionario de satisfacción protésica (SAT-PRO) para ser aplicado a pacientes amputados y protetizados transtibiales y/o transfemorales, atendidos en el Centro Nacional de Rehabilitación, durante el año 2014: estudio descriptivo transversal», 2014. <https://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr/items/161f7fca-44ad-4826-bd0d-5602554cc55c/full>

Anexo

Tabla 1: Parámetros biomecánicos de la marcha con cada técnica de protetización

Técnica	Distancia recorrida (m)	Pasos	Tiempo (s)	Velocidad (m/s)	Cadencia (ppm)	Largo de paso derecho (cm)	Largo de paso izquierdo (cm)	Zancada derecha (cm)	Zancada izquierda (cm)	Ancho de paso (cm)
Marcha normal	N/A	N/A	N/A	1.2-1.4	100-120	60-80	60-80	120-150	120-150	10-15
PTB	5	10.5	7.9	0.635	79.995	46.387	42.88	91.045	90.115	21.932
KBM	5	11	8.365	0.598	78.944	30.732	34.847	78.865	80.255	23.08
SCG	5	10	7.2	0.695	83.405	51.31	46.392	95.842	94.782	21.88

Tabla 2: Parámetros estáticos de la marcha con cada técnica de protetización

Criterio / Técnica	Distribución de carga (promedio)	Simetría de carga	Línea de carga (lateral)	Línea de carga (frontal)	Torque medio (Nm)	Compensaciones posturales	Estabilidad general
PTB	≈ 36-64%	Baja	Desviada hacia plano posterior	Desviada hacia lado protésico	0.6-1.3	Altas	Limitada
KBM	≈ 39-61%	Baja	Desviada hacia plano posterior	Desviada hacia lado protésico	0.6-0.8	Moderadas	Aceptable
SCG	≈ 58-44%	Alta	Centrada	Centrada	0.1-0.5	Mínimas	Alta

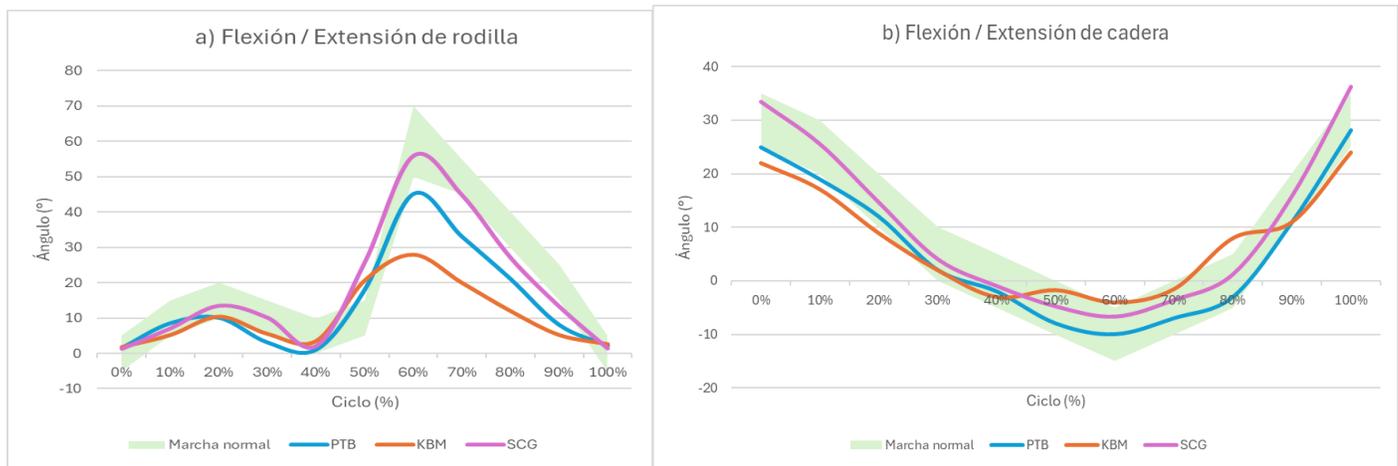


Fig. 1. Resultados de análisis goniométrico realizado con cada prótesis, en comparación con la marcha normal. a) Gráfica de análisis de la cadera, b) Gráfica de análisis de la rodilla.

Tabla 3: Resultados de cuestionario de satisfacción “SAT-PRO”

Criterio / Técnica	¿Es cómoda?	¿Es fácil de limpiar?	¿Es fácil de colocar?	¿Provoca heridas?	¿Es duradera?	Cuando la lleva, ¿hace cosas que no puede hacer sin ella?	¿Ha aprendido fácilmente a usarla?	¿Le causa dolor?	En general, ¿está satisfecha con la prótesis?	Calificación general (1-10)
PTB	En desacuerdo	Bastante de acuerdo	En desacuerdo	De acuerdo	De acuerdo	De acuerdo	En desacuerdo	De acuerdo	En desacuerdo	7
KBM	De acuerdo	Bastante de acuerdo	En desacuerdo	De acuerdo	De acuerdo	De acuerdo	En desacuerdo	De acuerdo	De acuerdo	8
SCG	Bastante de acuerdo	Bastante de acuerdo	Bastante de acuerdo	En desacuerdo	Bastante de acuerdo	Bastante de acuerdo	Bastante de acuerdo	En desacuerdo	Bastante de acuerdo	10