

Dismetría y características posturales en personas con amputación de extremidad inferior y análisis de su alineación protésica

J. L. López Bravo*, B. Alemón, J.C.Huegel

¹Escuela de Ingeniería y Ciencias, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Campus Guadalajara, Zapopan, México.

[*julialopezb98@gmail.com](mailto:julialopezb98@gmail.com)

Abstract— People with lower limb amputation (PLLA) with prosthetic limbs get through alignment and leveling processes to assure the correct function of their device. However, errors in this process may lead to lower limb asymmetry (LLA). Depending on the magnitude of the LLA there is a greater risk of presenting postural asymmetry, gait disturbances, low back pain, and structural deformities. Therefore, the main objective of this article is to determine LLA and alignment and postural features of PLLA using the software Kinovea. To calculate the asymmetry, first, the software was calibrated. Then, each leg segment was measured using Kinovea to obtain the absolute difference between them. The knee flexion and alignment angles were analyzed using the subjects' points of interest: the alignment line at thigh level, the knee joint, and the foot reference point. Finally, the asymmetry value and the angles were classified and evaluated according to their long-term effects and their stability. Among the 13 subjects, seven presented an asymmetry level I, two a level II and four a level III, in the lateral position. The longest lower limb of 11 of the 13 volunteers presented the smallest knee flexion angle. The subjects' knee stability was classified as stable for six of them and as unstable for seven. The main application of the results obtained would be to use the information to create a database for future research and as a reference for prosthetists and orthotists.

Palabras clave—alineación, amputación de miembro inferior, asimetría de miembro inferior, prótesis, Kinovea.

I. INTRODUCCIÓN

La dismetría se define como la discrepancia entre la longitud de una extremidad con respecto a su contralateral [3]. La dismetría o asimetría de miembros inferiores (DMI) puede tener diferentes efectos dependiendo de qué tan grande sea esta diferencia. Entre mayor sea esta discrepancia existirá una mayor compensación por parte del cuerpo del paciente, lo que podría conllevar a un mayor riesgo de padecer con el tiempo alguna patología o alteración de la marcha y la postura. En Gaunard et al. se menciona que DMI de 1.13 cm se han asociado a asimetrías posturales, las cuales pueden llegar a tener efectos como desequilibrio muscular y afecciones crónicas que pueden llegar a afectar

la actividad diaria de las personas con amputaciones debido a una limitación de su movilidad [1]. Sin embargo, aún se desconoce si esta magnitud de DMI afecta de la misma manera a **personas con amputaciones** de miembro inferior (MI).

En la Tabla I se hace una clasificación de los rangos de magnitudes de DMI y sus efectos de acuerdo con lo publicado en un artículo del Mastery, Balance, Accountability Institute [2].

Tabla I: Grados de asimetría y sus efectos de acuerdo con su magnitud.

Dismetría	Efecto	¿Requiere tratamiento?	Grado asignado
<2 cm	Compensación: leves flexiones del miembro largo o marcha en equino.	No	I
2-3 cm	Alteraciones en la marcha Escoliosis Deformidad estructural raquídea	Sí	II
>3 cm	Dolor de espalda (lumbalgia)	Sí	III
Desconocida	Artrosis	Sí	-

Debido a la importancia de determinar las DMI a lo largo del tiempo se han desarrollado diversos métodos para el cálculo de esta: decúbito supino, alzas calibradas, telerradiografía, con escanograma y con tomografía [3]. Siendo la tomografía el método más preciso debido a su sensibilidad milimétrica [3]. No obstante, como cada método, este presenta también ciertas desventajas como lo son el costo elevado y la disponibilidad [3]. Por lo que la necesidad de proponer métodos de bajo costo, de manera no invasiva, rápida, precisa y alta disponibilidad con los cuales sea posible determinar la DMI en personas que presentan amputaciones de MI. Galván et al. desarrollaron un protocolo clínico de un nuevo método el cual consiste en tomar 3 fotografías: una en posición anatómica (frontal) y dos más en posición lateral tanto izquierda como derecha [3]. Para posteriormente con ayuda de marcas, previamente colocadas antes de la captura de las fotografías, analizar las imágenes con ayuda del software Kinovea para la medición y determinación de la DMI.

El propósito de este artículo fue implementar el protocolo propuesto por Galván et al. para analizar la dismetría en las extremidades inferiores cuando ya se encuentra colocada y alienada la prótesis. Además de resaltar las características posturales con mayor prevalencia en los participantes, así como correlacionarlas con sus resultados de asimetría.

II. METODOLOGÍA

A. Sujetos

El estudio se realizó con 11 voluntarios, todos mayores de edad, dos mujeres y once hombres, con amputación unilateral de MI tanto transfemoral como transtibial (lado indistinto). Todos con al menos un año desde su amputación, sin ningún otro tipo de afección motora o estructural. A cada participante se le asignó un nombre iniciando con la letra P seguido de un número de acuerdo con el orden en el que se tomaron las fotografías. Los participantes P6-P8, no fueron tomados en cuenta para este estudio debido a que no contaban con los criterios de inclusión para el mismo.

A los participantes P9 y P10 se le realizaron las pruebas dos veces debido a que contaban con dos prótesis diferentes. Los datos de P9_1 y P10_1 corresponden a los datos obtenidos con las prótesis más antiguas tanto del sujeto P9 como del P10, respectivamente. Mientras que, los datos de P9_2 y P10_2, corresponden a sus prótesis más recientes. Los datos obtenidos de la evaluación de cada prótesis se tomaron como los de un participante nuevo, por lo que en las tablas se muestran los datos de 13 participantes en lugar de 11. Antes de iniciar con las evaluaciones ambos participantes mencionaron que la prótesis que más usaban era la más antigua.

Únicamente los participantes P4, P5, P11, P12 y P14 utilizan algún tipo de herramienta de apoyo para caminar, además de su prótesis (ej. muletas europeas y convencionales, andadera para adulto o bastón). El sujeto P11 usa ocasionalmente un apoyo para caminar, mientras que los otros cuatro sujetos siempre.

Los sujetos P4, P9_2, P10_2 y P14, reportaron al inicio de las pruebas que su muñón no hacía contacto absoluto con el fondo del socket.

B. Procedimientos

Preparación del montaje para la toma de fotografías

Primero se encontró un espacio con una superficie de al menos 9 m². Después se realizó la manta de papel milimétrico con medidas de 195.6 cm x 108 cm (fig. 1a), para la cual se colocaron y se pegaron 7x5 papeles milimétricos tamaño carta. Una vez lista la manta, ésta se colocó en un muro, al ras del suelo. Una vez posicionada la manta se colocaron marcas en el suelo como se indica en la figura 1b, donde la marca de 50 cm se colocó justo por la línea media de la misma. Las marcas de la figura 1c indican dónde se colocó la cámara. La cámara se dispuso a tres metros de la línea media de la manta (desde la pared) y a una altura de 123 cm desde el suelo.

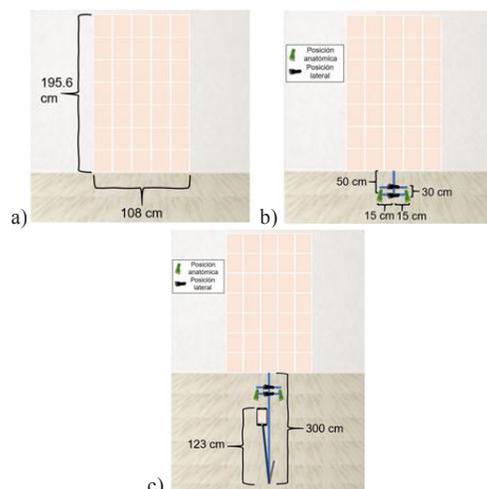


Fig. 1. a) Colocación y medidas del papel milimétrico. b) Posicionamiento de las marcas para el voluntario, tanto en posición anatómica como en posición lateral derecha. c) Posición de la cámara con respecto a la pared y el suelo [3].

Toma de fotografías

Después de haber preparado el montaje donde se iba a tomar la foto se siguieron las instrucciones del protocolo de Galván et. al (2020) para la toma de fotografías y de mediciones de las extremidades inferiores (fig. 2). Cabe mencionar que el montaje también se realizó conforme a este mismo protocolo.

Mediciones antropométricas

Para la obtención de las mediciones con Kinovea se agregaron dos líneas que sirvieron de referencia para el análisis de la alineación del cuerpo de los participantes. En la fotografía con la posición anatómica, la línea vertical es perpendicular al suelo mientras que la horizontal se coloca desde el acromion derecho hasta el acromion izquierdo (ambas líneas rojas de la fig. 2a). En las fotografías de las posiciones laterales se colocó una línea vertical justo por delante del maléolo externo y otra horizontal a la altura del ombligo como referencia para la colocación del origen del segmento de la extremidad inferior, como se muestra en rojo en la figura 2b. También se agregaron como medidas adicionales dos ángulos: 1) el ángulo de la flexión de la rodilla (fig. 3a) y 2) el ángulo de alineamiento de la prótesis (fig. 3b).

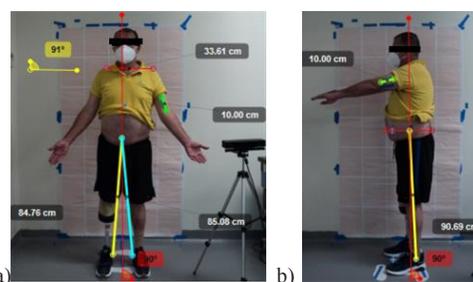


Fig. 2. a) Fotografía en posición anatómica del participante P5 con sus respectivas mediciones en Kinovea. b) Fotografía en posición lateral izquierda del participante P5 con sus respectivas mediciones en Kinovea.

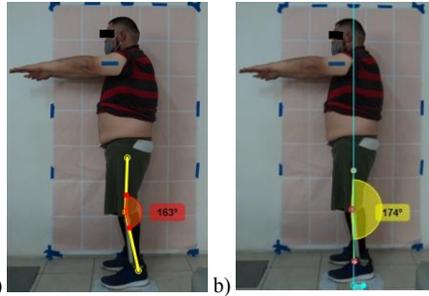


Fig. 3. a) Medición del ángulo de la flexión de la rodilla tomando como referencia el trocánter mayor, el epicóndilo lateral del fémur y el maléolo externo de la tibia. b) Medición del ángulo de alineamiento del MI con respecto a la línea de alineamiento, la rodilla y el pie prostético.

Para la medición de los ángulos tanto de flexión como de alineación se tomaron 3 puntos como referencia: el primero, de arriba hacia abajo, es el punto 1 el cual se colocó en la línea media del muslo; el punto 2 se colocó en el centro de la articulación de la rodilla y el punto 3 se colocó en el maléolo externo, para el ángulo de la flexión, y en el extremo anterior de la articulación del pie, para el ángulo de alineamiento (figura 3a y 3b, respectivamente). Adicionalmente se agregó una línea octogonal al suelo (línea de alineamiento, en azul en la figura 3b), alineada con la línea media de la cadera, para la medición del ángulo de alineamiento. El eje del ángulo se colocó en el punto 2, su extremo superior en la línea de alineamiento (LA) y el extremo inferior en el punto 3, como se muestra en la figura 3b.

Cálculo de la asimetría

Una vez obtenidas las mediciones con Kinovea éstas se pasaron a una hoja de Excel donde se calculó la magnitud de la disimetría en posición anatómica para la cual se tomaron las distancias del ombligo a los maléolos internos tanto izquierdo como derecho. Se hizo lo mismo para la posición lateral donde se tomaron las distancias desde el punto medio de una línea transversal que pasa a nivel del ombligo (figura 2b, línea roja horizontal) y el maléolo externo. La fórmula utilizada para el cálculo de la DMI en posición anatómica se muestra en la ecuación 1, mientras que para determinarla en posición lateral se usó la ecuación 2.

$$\begin{aligned} \text{asimetría anatómica} &= \text{distancia OMID} \\ &- \text{distancia OMII} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{asimetría lateral} &= \text{distancia OMED} \\ &- \text{distancia OMEI} \end{aligned} \quad (2)$$

Donde OMID y OMII significan las distancias que van desde el ombligo y el maléolo interno derecho e izquierdo respectivamente. Donde OMED y OMEI significan las distancias que van desde el ombligo y el maléolo externo derecho e izquierdo respectivamente.

III. RESULTADOS

Asimetría de MI y su clasificación

En la tabla 2 se pueden ver tanto los resultados de la DMI en posición lateral, donde se usaron de referencia la línea media que pasa por el torso y el maléolo externo; como en posición anatómica, donde se usaron el ombligo y el maléolo interno como referencias. También se observa la clasificación del grado de disimetría de acuerdo con la información de la tabla 1.

Tabla 2: Resultados de la asimetría de los 13 participantes tanto en posición anatómica como en lateral; además de la diferencia en cm entre ambas y su clasificación.

Participante	Asimetría lateral (cm)	Clasificación	Asimetría anatómica	Clasificación	Diferencia lat-anat
P1	3.75	III	0.21	I	3.54
P2	0.8	I	0.7	I	0.1
P3	2.33	II	0.34	I	1.99
P4	5.59	III	2.87	II	2.72
P5	0.3	I	0.32	I	0.02
P9 1	0.51	I	0.6	I	0.09
P9 2	3.7	III	2.57	II	1.13
P10 1	0.18	I	0.36	I	0.18
P10 2	3.31	III	2.93	II	0.38
P11	1	I	0.83	I	0.17
P12	1.12	I	0.37	I	0.75
P13	1.17	I	0.75	I	0.42
P14	2.58	II	0.8	I	1.78

Ángulos de flexión de la rodilla y la inclinación en el plano frontal

En la tabla 3 se muestran los resultados de los ángulos de flexión de la rodilla tanto de lado izquierdo como del derecho de los 13 participantes. Además, se indica de qué lado se encuentra la amputación y hacia dónde se inclina su cuerpo a lo largo del plano coronal.

Tabla 3: Resultados de los ángulos de flexión de rodilla (izquierdos y derechos) de los 13 participantes.

Participante	Angulo Der.	Angulo Izq.	Amputación	Inclinación
P1	179°	166°	IZQ	DER
P2	185°	169°	IZQ	DER
P3	178°	170°	IZQ	DER
P4	170°	169°	DER	IZQ
P5	161°	171°	DER	IZQ
P9 1	177°	160°	IZQ	IZQ
P9 2	178°	164°	IZQ	DER
P10 1	168°	170°	DER	IZQ
P10 2	168°	174°	DER	IZQ
P11	173°	177°	DER	IZQ
P12	172°	163°	IZQ	IZQ
P13	168°	168°	DER	IZQ
P14	172°	156°	IZQ	DER

Características posturales

En la tabla 4 se presentan los ángulos de alineamiento de la prótesis con respecto a la LA. En su última columna se hace una pequeña evaluación sobre si el ángulo que presenta la prótesis la hace estable o inestable.

Tabla 4: Especificaciones sobre la alineación de la prótesis en posición lateral de los 13 participantes y resultados del ángulo de alineación y grado de estabilidad de acuerdo con este ángulo.

Participante	Angulo alineación	Estabilidad de la rodilla
P1	185°	Estable
P2	178°	Estable
P3	180°	Estable
P4	173°	Inestable
P5	165°	Inestable
P9 1	164°	Inestable
P9 2	162°	Inestable
P10 1	178°	Estable
P10 2	174°	Inestable

P11	182°	Estable
P12	174°	Inestable
P13	179°	Estable
P14	152°	Inestable

IV. DISCUSIÓN

Se observaron diferencias en los resultados de la disimetría entre ambas posiciones. Las pruebas mostraron magnitudes mayores en la posición lateral con respecto a la anatómica en 10 de los 13 participantes. Esta diferencia de magnitud de la asimetría entre ambas posiciones puede deberse a que al tomarse la fotografía en posición anatómica no se toman en cuenta las posibles compensaciones del cuerpo como la flexión de la rodilla o que se pase por alto una desnivelación de la cadera al usar el ombligo como referencia. Siendo esta una de las limitantes del estudio, se tomó la decisión de basar la discusión de resultados en los valores de asimetría obtenidos en posición lateral, ya que se considera que las medidas obtenidas en posición anatómica no son correctas debido a las razones anteriormente expuestas.

Todos los participantes que reportaron un ajuste deficiente de su socket al inicio de las pruebas mostraron asimetrías (en posición lateral) de grado II y III. En el caso de los sujetos P10 y P9_MIT, las asimetrías laterales fueron de grado III en las prótesis recientes, mientras que en las antiguas fueron de grado I.

Además, se observó que a menor ángulo de flexión de la rodilla existe una mayor flexión y a mayor flexión hay más probabilidades de que este segmento sea el MI más largo. La tabla 3 mostró que en 11 de los 13 participantes se presenta una concordancia del lado de la amputación con el ángulo menor de flexión de rodilla y con la extremidad larga. En 11 de los 13 participantes con amputación fue consistente que la extremidad más larga fue la que dirigió la inclinación lateral hacia el lado contrario de la misma (cuando la extremidad larga era la derecha se presentaba una inclinación hacia la izquierda y viceversa). Esto significa que el extremo amputado es el que determina si es necesario acortar (si es el segmento más largo) o alargar (si es el segmento más corto) la prótesis.

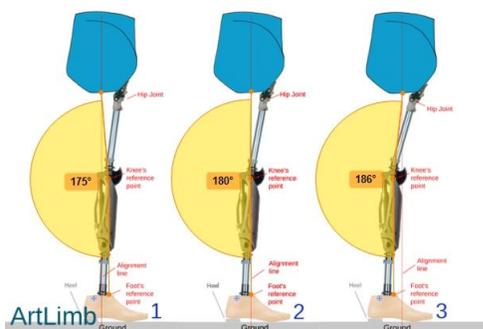


Fig. 4. Se muestran los 3 casos posibles de alineamiento del punto de referencia de la rodilla con respecto a la LA y sus respectivos ángulos. En el caso 1, el punto de referencia de la rodilla se encuentra por delante de la LA, por lo que se forma un ángulo $\leq 175^\circ$. En el segundo caso este punto de referencia se encuentra alineado con la LA por lo que se forma un ángulo de 180° (se consideró un rango entre $176-185^\circ$) y finalmente en el

caso 3 donde el punto de referencia se encuentra por detrás de la LA, se forma un ángulo $\geq 186^\circ$. [4]

De acuerdo con un artículo de Shaporev et al. sobre la correcta alineación de una prótesis, los casos mencionados en la figura 4 pueden ser clasificados de la siguiente manera: a) el caso 1 indica una unidad de rodilla inestable, b) el caso 2 indica una unidad de rodilla estable y alineada, mientras que c) el caso 3 indica una unidad de rodilla excesivamente estable resultando en una mayor dificultad y consumo de energía para flexionar la rodilla [4]. En la tabla 4 se muestra en la última columna la clasificación de la estabilidad de la rodilla de acuerdo con los rangos de los ángulos de alineación de la figura 4. Los resultados obtenidos mostraron que 6 de los 13 participantes (donde los datos del P10_1 están dentro de este grupo mientras que los del P10_2 quedaron fuera) presentan un alineamiento estable de su prótesis. De los cinco sujetos que usan un apoyo para caminar, cuatro mostraron un alineamiento inestable, mientras que el P11 mostró uno estable. Siendo el P11 el único de los cinco que puede caminar sin el apoyo ocasionalmente. De los siete participantes que su alineación fue clasificada como inestable, únicamente tres de ellos no usan alguna herramienta de apoyo al caminar. Dentro de estos tres se encuentran únicamente los dos participantes que se evaluaron con dos prótesis diferentes. Únicamente el P10_1 fue clasificado como estable. Donde las prótesis más recientes de ambos sujetos entraron en la categoría de alineación inestable.

V. CONCLUSIONES

Como conclusión, Kinovea es un método útil para la determinación de la asimetría, sin embargo, aún faltaría más investigación donde se puedan comparar los resultados con otros métodos y revisar cuánto error tienen los valores calculados realizando la medición de los segmentos con Kinovea. Para validar la magnitud de la asimetría calculada con Kinovea es necesario realizar los ajustes de acortamiento o alargamiento de la prótesis y posteriormente volver a realizar las mediciones para comprobar que se ha corregido dicha disimetría. Es necesario estandarizar la colocación de las marcas, sobre todo las que se colocan en la pieza protésica, para así obtener resultados más confiables.

Con respecto a la evaluación del alineamiento de las prótesis, se concluyó que una alineación inestable resultará en una necesidad de los sujetos de usar herramientas de apoyo complementarias para caminar. Además, que un ajuste deficiente del socket con el muñón resulta en una disimetría de miembros inferiores mayor.

REFERENCIAS

- [1] Gaunard, I., Gailey, R., Hafner, B. J., Gomez-Marin, O., & Kirk-Sanchez, N. Postural asymmetries in transfemoral amputees. 2020. *Prosthetics and orthotics international*, 35(2), 171-180.
- [2] Pablos, J. "Disimetrías de los Miembros Inferiores". 2015. Available: <http://www.mba-institute.eu/recursos/boletines/12mk075-boletin-mba-institute-bo13-150ppp.pdf>

- [3] Rosales Galván, D. "Protocolo clínico de captura de fotografías con un dispositivo móvil y medición de extremidades inferiores con dos distintos métodos: Bipedestacion y por medio del software Kinovea (V0.1)". Zapopan, Jalisco. 2020
- [4] Shaporev, D., Alderman, T., & Powrie, R. "Prosthetic Alignment Part 4. Joints". 2021. Retrieved from <http://www.artlimb.com/more-details/lower-limb-articles/prosthetic-alignment-part3/>