



Trabajo original

Utilidad del laboratorio de análisis de movimiento en la detección de alteraciones de la alineación en pacientes con prótesis transtibial

Utility of the motion analysis laboratory in the detection of alignment alterations in patients with transtibial prostheses

Dra. Ana Laura Arenas-Díaz,* Dr. Román Capdevila-Leonori,† Dra. Erika A Barrón-Torres,*
Dr. Clemente Hernández-Gómez,* Dr. Erik G Molina-Montaño,§ Dra. Carlos A Guzmán-Martín¶
Hospital Shriners para Niños México.

* Staff Médico. Hospital Shriners para Niños. Ciudad de México.

† Staff Médico. Departamento de Ortopedia, Hospital Ángeles Lomas, Huixquilucan, Estado de México, México.

§ Residente V Ortopedia Pediátrica. Hospital Shriners para Niños. Ciudad de México.

¶ Coordinador de Proyectos de Investigación. Departamento de Proyectos de Investigación. Hospital Shriners para Niños. Ciudad de México.

RESUMEN

Los componentes del sistema locomotor se pierden con la amputación. La amputación de una extremidad durante la infancia es un evento que se percibe sistemáticamente como una catástrofe, primero por la familia y más tarde por el niño. Debido a esto, la función se pierde en parte. El objetivo del estudio fue determinar la utilidad del análisis de movimiento en laboratorio para obtener una alineación protésica adecuada en pacientes pediátricos con deformidades en el plano coronal (varus/valgus) y amputación transtibial. Se estudiaron 26 pacientes. Cincuenta y siete punto seis por ciento de las amputaciones fueron en la pierna derecha y 42.3% en la izquierda. La velocidad promedio de los pacientes antes de la alineación fue de 0.914 m/s, mientras que después del ajuste de la alineación la velocidad fue de 0.91 m/s. Se observó un aumento en la longitud del paso después del ajuste (de 0.53 a 0.54 m), aunque las diferencias en el número de pasos por minuto y la distancia recorrida no fueron significativas. En cuanto a las deformidades de rodilla, se mostró una mejoría de 75% en el plano coronal (valgus) después del ajuste, lo que resultó ser estadísticamente significativo ($p = 0.05$). Por último, el efecto de la alineación en la pelvis, incluyó cambios en la inclinación y en la oblicuidad pélvica, especialmente en los casos de deformidad coronal en valgo, donde el ajuste de la alineación de la prótesis corrigió eficazmente la inclinación

ABSTRACT

The musculoskeletal system loses components with amputation, which is often seen as a catastrophe by both the family and the child. This leads to a partial loss of function. A study aimed to assess the use of laboratory gait analysis in aligning prosthetics for pediatric patients with coronal plane deformities (varus/valgus) and transtibial amputation. The study included 26 patients, with 57.6% undergoing right leg amputation and 42.3% undergoing left leg amputation. Before alignment, the average speed of the patients was 0.914 m/s, which improved to 0.91 m/s after alignment adjustment. There was an increase in step length from 0.53 m to 0.54 m after adjustment, while differences in the number of steps per minute and distance traveled were not significant. In terms of knee deformities, there was a 75% improvement in valgus deformities after adjustment, which was statistically significant ($p = 0.05$). Alignment of the prosthesis also had significant effects on pelvic inclination and obliquity, especially in cases of valgus. The study concluded that gait analysis in patients with transtibial prostheses provides a deeper understanding of the body's adaptation strategies, aiding in correcting angular deformities and improving pelvic stability. The study also demonstrated that fine-tuning prosthetic alignment not only improves knee biomechanics but also positively impacts pelvic symmetry.

Recibido: 13/09/2024. Aceptado: 13/10/2024.

Correspondencia: Dra. Ana Laura Arenas-Díaz
E-mail: Ana_ArenasMD@outlook.com

Citar como: Arenas-Díaz AL, Capdevila-Leonori R, Barrón-Torres EA, Hernández-Gómez C, Molina-Montaño EG, Guzmán-Martín CA. Utilidad del laboratorio de análisis de movimiento en la detección de alteraciones de la alineación en pacientes con prótesis transtibial. Rev Mex Ortop Pediat. 2024; 26(1-3); 19-24. <https://dx.doi.org/10.35366/118240>



anterior pélvica y la oblicuidad elevada en los pacientes estudiados. En conclusión, el análisis del movimiento en pacientes con prótesis transtibial permite una comprensión más profunda de las estrategias de adaptación del cuerpo humano, facilitando la corrección de deformidades angulares en el plano coronal (varus/valgus), y mejorando la estabilidad pélvica. Este estudio demuestra que el ajuste preciso de la alineación protésica no sólo mejora la biomecánica de la rodilla, sino que también tiene un impacto positivo en la simetría pélvica.

Palabras clave: análisis de marcha, niños, prótesis transtibial, deformidad en varo y valgo.

Nivel de evidencia: III

Keywords: gait analysis, children, transtibial prosthesis, deformity in varus and valgus.

Evidence level: III

INTRODUCCIÓN

La amputación de una extremidad, en especial en la infancia, representa un evento traumático tanto para el niño como para su familia, afectando de manera significativa la función motora y la calidad de vida.¹⁻⁴ Los niños amputados dependen de una prótesis para recuperar la capacidad de soportar el peso corporal y permitir el movimiento articular durante la marcha.⁵ La efectividad de una prótesis para compensar la pérdida de la extremidad está directamente relacionada con su alineación y sus propiedades mecánicas, tal como han señalado Blumentritt y colaboradores (2001)⁶ y Culham y colaboradores (1986).⁷ Una alineación inadecuada puede alterar la funcionalidad de la prótesis y aumentar el riesgo de sobrecarga en la extremidad sana, lo que es común en amputados unilaterales.³ En estos casos, la asimetría en la marcha genera un patrón de carga desbalanceado que puede afectar las articulaciones y la estabilidad a largo plazo. Diversos estudios han demostrado que los amputados transtibiales tienden a depender más de la extremidad sana para aumentar el tiempo de apoyo y la carga, lo que se asocia a la pérdida de la articulación del tobillo. Sin embargo, investigaciones recientes sugieren que ciertos mecanismos compensatorios pueden desarrollarse en la extremidad amputada, reduciendo la dependencia de la pierna intacta.^{3,4} La alineación adecuada de la prótesis es un componente crucial para optimizar el rendimiento funcional del paciente amputado, ya que influye directamente en la biomecánica de la marcha y en la estabilidad global del cuerpo.^{8,9} Tradicionalmente, la alineación de la prótesis se ha basado en la observación clínica visual de la marcha y en la retroalimentación subjetiva del paciente, lo que limita la precisión de los ajustes.⁹ En las últimas décadas, el análisis tridimensional del movimiento ha surgido como una herramienta valiosa para la evaluación objetiva de la marcha. Este método permite medir de forma cuantitativa los parámetros cinemáticos y cinéticos, ofreciendo una retroalimentación inmediata y precisa que facilita el ajuste óptimo de la prótesis.¹⁰ A pesar de los avances en

el análisis de movimiento, existen pocos estudios que evalúen sistemáticamente la utilidad de esta herramienta en el contexto pediátrico, en especial en lo que respecta a las deformidades en el plano coronal, como el varo y valgo de rodilla, en pacientes con amputación transtibial.^{2,11,12}

El presente estudio tuvo como objetivo principal determinar la utilidad del análisis de movimiento en laboratorio para obtener una alineación protésica adecuada en pacientes pediátricos con deformidades en el plano coronal (varus/valgus) y amputación transtibial. De manera secundaria, se evaluó si el ajuste de la alineación protésica tuvo un efecto significativo sobre la inclinación y la oblicuidad pélvica, dos parámetros críticos para mantener la simetría y estabilidad durante la marcha. Este enfoque tiene el potencial de mejorar no sólo la función de la extremidad protésica, sino también la estabilidad pélvica, lo que podría reducir las complicaciones a largo plazo asociadas con la asimetría de la marcha en niños con amputación transtibial. Con este estudio esperamos contribuir a la base de evidencia que respalda el uso del análisis de movimiento como una herramienta de evaluación y ajuste más precisa, que permita optimizar la funcionalidad y calidad de vida de los pacientes pediátricos amputados.

MATERIAL Y MÉTODOS

En este estudio se implementó un diseño prospectivo, transversal y analítico, enfocado en evaluar el impacto del ajuste de la alineación protésica sobre la biomecánica de la marcha en pacientes con amputación transtibial unilateral. Se incluyeron 26 pacientes, todos usuarios de prótesis transtibial, tratados en el Hospital Shriners para Niños en la Ciudad de México, entre enero y septiembre de 2017. Los criterios de inclusión especificaron que los participantes debían ser usuarios de una prótesis transtibial exoesquelética utilizada por al menos un año, con rango completo de movimiento tanto en cadera como en rodilla. Asimismo, los participantes debían tener una amputación unilateral transtibial y ser capaces de caminar

de manera independiente, sin la ayuda de dispositivos de apoyo. Además, fue indispensable que contaran con un análisis previo de movimiento disponible. Por otro lado, se excluyeron aquellos pacientes que hubieran usado una prótesis transtibial por menos de un año, quienes presentaran limitaciones en el rango de movimiento de cadera o rodilla, o que tuvieran lesiones cutáneas en el muñón. También se excluyeron aquellos pacientes cuyo patrón de marcha fuera inestable o que dependieran de dispositivos de apoyo como muletas o andadores para desplazarse. Una vez definidos los criterios de selección, se identificaron pacientes que presentaban deformidades en el plano coronal de la rodilla (varo o valgo) y que utilizaban una prótesis transtibial. Tras obtener el consentimiento informado de los pacientes o sus tutores, se procedió a realizar dos estudios de análisis de movimiento. El primer estudio se llevó a cabo antes de realizar cualquier ajuste en la alineación de la prótesis. Posteriormente, se realizó un segundo análisis de movimiento después de ajustar la prótesis para corregir la alineación. Para garantizar la precisión de las mediciones, se empleó un laboratorio especializado de análisis de movimiento equipado con 12 cámaras distribuidas estratégicamente, utilizando tecnología de captura óptica (OptiTrack). El sistema de análisis contaba con un software especializado en análisis tridimensional del movimiento, que incluía los programas Amass, Shortcut Capture y V3D, todos ellos utilizados para la captura y procesamiento de los datos obtenidos. A los participantes se les colocaron marcadores reflectantes en puntos anatómicos clave del cuerpo y la prótesis para facilitar la medición de diversas variables cinemáticas y cinéticas. Los marcadores se situaron bilateralmente en las espinas ilíacas anterosuperiores, el sacro, el vasto lateral, los cóndilos laterales de la rodilla, los maléolos laterales, las vainas peroneas, el calcáneo y la cabeza del segundo metatarsiano. Los participantes caminaron descalzos a lo largo de un pasillo de 10 metros, completando al menos cuatro pasos en ambas direcciones para asegurar una cantidad suficiente de datos válidos para el análisis. Cada participante realizó el recorrido en al menos seis ciclos completos de marcha, lo que permitió capturar los datos tanto en la fase de aceleración como en la de desaceleración. Las variables cinemáticas evaluadas incluyeron la velocidad de marcha, la longitud del paso, la frecuencia de pasos por minuto, y los ángulos de varo/valgo en la rodilla, tanto antes como después del ajuste de la alineación protésica. Adicionalmente, se midieron la inclinación pélvica (rotación anterior o posterior de la pelvis en el plano sagital) y la oblicuidad pélvica (balanceo lateral de la pelvis en el plano coronal), con el objetivo de evaluar los efectos del ajuste protésico, no sólo sobre la rodilla, sino también sobre la biomecánica de la pelvis. Estos parámetros fueron seleccionados debido a su relevancia en la marcha y su influencia en la distribución de las cargas

sobre las extremidades y la columna vertebral. El análisis estadístico de los datos recolectados se realizó utilizando medidas de tendencia central (media y desviación estándar) para describir las características generales de las variables. Para evaluar las diferencias entre las mediciones pre y postajuste, se aplicó la prueba t de Student para muestras independientes. Este análisis permitió determinar si existían diferencias significativas en las variables de interés tras el ajuste de la alineación de la prótesis. Se consideró un valor de $p < 0.05$ como estadísticamente significativo. Todas las pruebas estadísticas fueron procesadas con el software SPSS, versión 22.0.

RESULTADOS

Se estudiaron 26 pacientes (21 hombres y 5 mujeres) con una edad promedio de 11.8 años; 57.6% de las amputaciones fueron en la pierna derecha y 42.3% en la izquierda. En la [Tabla 1](#), se muestra que la velocidad promedio de los pacientes antes de la alineación fue de 0.914 m/s, mientras que después del ajuste de la alineación la velocidad fue de 0.91 m/s. Aunque se observó una ligera diferencia, ésta no fue estadísticamente significativa. En la [Tabla 2](#), se comparan las variables de longitud de paso, pasos por minuto y distancia recorrida por minuto antes y después de la alineación. Se observó un aumento en la longitud del paso (de 0.53 a 0.54 m) después del ajuste, aunque las diferencias en el número de pasos por minuto y la distancia recorrida no fueron significativas. En cuanto a las deformidades de rodilla, la [Tabla 3](#) muestra una mejora de 75% en las deformidades en valgo después del ajuste, lo que resultó ser estadísticamente significativo ($p = 0.05$). Por último, la [Tabla 4](#) detalla el efecto de la alineación en la inclinación y oblicuidad pélvica, especialmente en los casos de valgo, donde el ajuste de la alineación de la prótesis corrigió eficazmente la inclinación anterior pélvica y la oblicuidad elevada en los pacientes estudiados. De

Tabla 1: Velocidad promedio sin y con alineación protésica.

Variable	Sin alineación	Con alineación
Velocidad (m/s)	0.914	0.91

Tabla 2: Análisis del paso con y sin alineación de la prótesis transtibial.

Variable	Sin alineación	Con alineación
Longitud del paso (m)	0.53	0.54
Pasos por minuto	105.4	104
Distancia por minuto (m)	53.1	52.4

Tabla 3: Mejora en las deformidades de rodilla antes y después del ajuste de la alineación.

Deformidad de rodilla	Alineación		Porcentaje de mejora	p
	Preoperatorio	Postoperatorio		
Varo	2	1	50	No significativo 0.05
Valgo	23	6	75	

Tabla 4: Efecto de la alineación en la inclinación y oblicuidad pélvica.

Deformidad de rodilla	Inclinación pélvica	p	Oblicuidad pélvica	p
Varo derecho	Inclinación anterior derecha	0.03	Oblicuidad derecha elevada	0.08
Valgo izquierdo	Inclinación anterior izquierda	0.043	Oblicuidad izquierda elevada	0.05

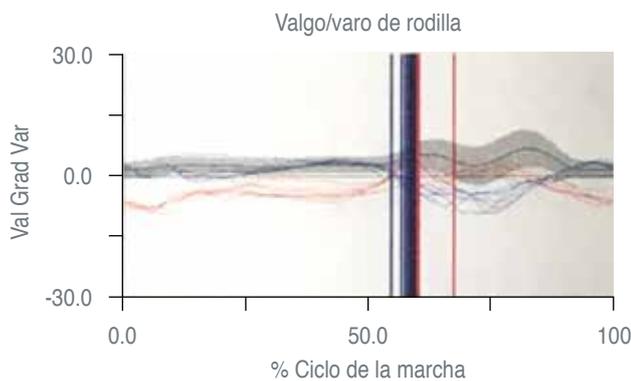


Figura 1: El análisis de movimiento inicial mostró una marcada deformidad en valgo de la rodilla derecha. Esto fue visualizado a través de un patrón de alineación en la rodilla que se desvió de la línea base normal (representada por la línea gris). Durante la primera fase de la marcha, el comportamiento de la alineación protésica (línea roja) estaba significativamente alterado en comparación con los parámetros normales.

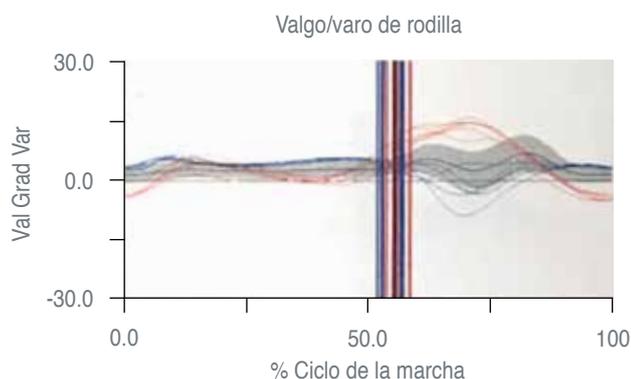


Figura 2: Después de realizar el ajuste clínico de la alineación de la prótesis, se observó una mejoría notable en la alineación de la rodilla. En la primera fase de la marcha, el patrón de alineación de la rodilla con la prótesis (línea roja) se acercó considerablemente a la línea base (línea gris), y en la segunda fase del ciclo de marcha el comportamiento fue similar al normal. Esto indica que el ajuste de la prótesis logró corregir la desviación en la rodilla, lo que mejoró la alineación de la extremidad durante todo el ciclo de la marcha.

forma representativa, se muestra el segmento del análisis de movimiento de un paciente masculino de 13.11 años con amputación y uso de prótesis transtibial, deformidad clínica en valgo de la rodilla derecha, el cual tenía más de un año de ser usuario de prótesis transtibial. El análisis de movimiento se realizó tanto antes como después de alinear la prótesis, como se muestra en las Figuras 1 y 2. En la misma evaluación se muestra de manera gráfica en las Figuras 3 y 4, el efecto de la alineación de la prótesis en la pelvis del mismo paciente.

DISCUSIÓN

El diseño y alineación de una prótesis transtibial juegan un papel fundamental en la marcha del paciente amputado, influyendo no sólo en la eficiencia biomecánica de la extremidad afectada, sino también en la simetría global de la marcha. Tal como lo demuestran los hallazgos de Hannah RE y colaboradores (1984),¹³ la mal alineación puede impactar negativamente la velocidad de la marcha y la frecuencia de los pasos, además de afectar la comodidad del paciente. En estudios previos, gran parte de la atención se ha centrado en parámetros como la simetría y estabilidad de la marcha, en tanto que el efecto de la alineación protésica sobre la pelvis y la corrección de deformidades angulares ha sido relativamente menos estudiada. Este trabajo aporta nuevos datos sobre la relación entre la alineación protésica, la estabilidad pélvica y la mejora en las deformidades de rodilla en el plano coronal, principalmente en el valgo.^{1,8,9} Los resultados obtenidos en este estudio coinciden en gran medida con la literatura existente,^{4,12} al demostrar que la alineación de la prótesis transtibial afecta tanto la inclinación como la oblicuidad pélvica. En particular, la inclinación pélvica, que mide el ángulo de rotación de la pelvis en el plano sagital, y la oblicuidad, que se refiere al balanceo lateral de la pelvis en el plano coronal, son parámetros sensibles a las alteraciones en la alineación de la prótesis. Como se observa en las Figuras 3 y 4, antes de la corrección de la alineación protésica, el

paciente presentaba una oblicuidad marcada hacia el lado derecho y una inclinación pélvica leve. Tras la corrección, ambas alteraciones mejoraron significativamente, con una alineación pélvica simétrica respecto a la línea de referencia, lo que confirma que un ajuste adecuado de la prótesis puede restaurar la biomecánica pélvica durante la marcha.

No obstante, a pesar de las mejoras observadas en la alineación pélvica y las deformidades en valgo de la rodilla, los resultados no mostraron diferencias significativas en la velocidad de la marcha tras el ajuste protésico, como se muestra en la *Tabla 1*. Este hallazgo difiere de estudios anteriores que han señalado una mejora en la velocidad tras la corrección de la alineación.¹¹ Es posible que este resultado esté relacionado con la variabilidad individual de los pacientes, ya que factores como la edad, el tiempo de uso de la prótesis y las condiciones subyacentes pueden influir en la velocidad de la marcha. Además, es importante señalar que la velocidad es un parámetro relativamente crudo, que puede no captar completamente los beneficios biomecánicos del ajuste protésico en otros aspectos de la

marcha, como la reducción de la asimetría o la mejora en la eficiencia energética. La mejora en la alineación de la rodilla tras el ajuste protésico fue notable, en especial en aquellos pacientes con deformidades en valgo, como se muestra en las *Figuras 1 y 2*. En la *Figura 1*, antes de la corrección, la rodilla mostraba un marcado desplazamiento hacia el valgo, alejándose de la línea de referencia normal. Después del ajuste, en la *Figura 2*, el patrón de marcha se normalizó considerablemente, con la alineación de la rodilla mucho más cercana a la línea base, lo que indica una corrección efectiva. Además, la *Tabla 3* resalta una mejora de 75% en las deformidades en valgo, con una diferencia estadísticamente significativa ($p = 0.05$) después del ajuste protésico, lo que respalda la efectividad del análisis de movimiento como herramienta para identificar y corregir deformidades angulares en pacientes con prótesis transtibial.^{12,14} El impacto de la alineación protésica sobre la pelvis es un aspecto que merece mayor atención. En la literatura, se ha documentado que las alteraciones en la alineación del miembro inferior pueden tener efectos indirectos sobre

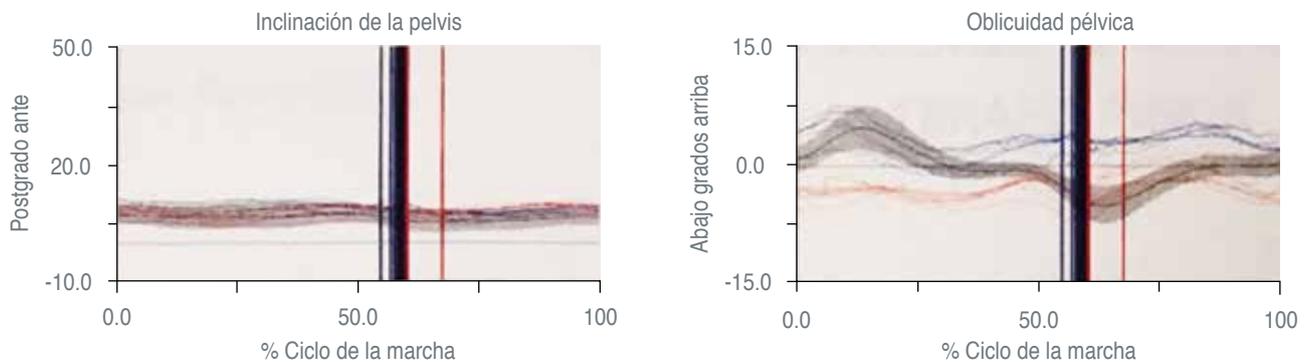


Figura 3: Antes de la corrección de la alineación, se observó que el paciente no presentaba alteraciones significativas en la inclinación pélvica, pero sí se detectó una oblicuidad pélvica en el lado derecho hacia abajo durante la primera fase de la marcha. Esta alteración en la oblicuidad afectaba la simetría del movimiento pélvico. La oblicuidad pélvica izquierda (línea azul) se comportaba de manera cercana a la normalidad, mientras que la derecha mostraba un desplazamiento inferior en relación con la línea base (línea gris).

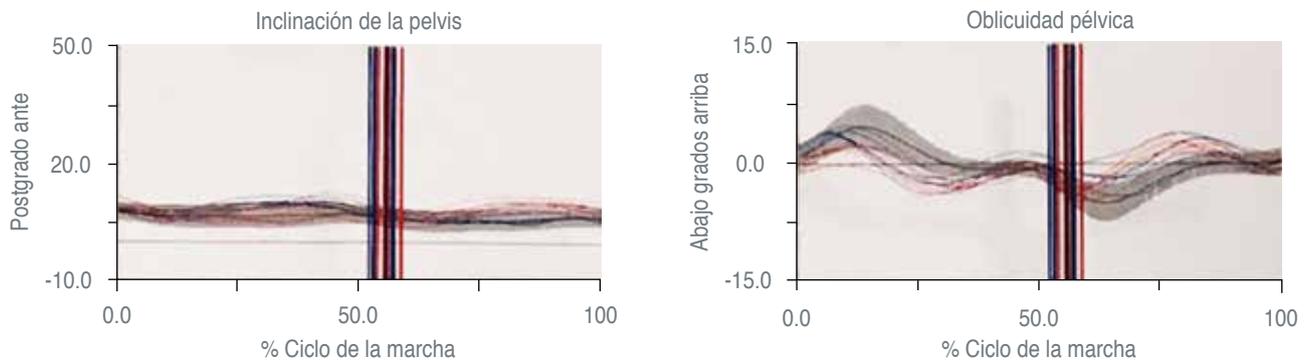


Figura 4: Tras el ajuste clínico de la prótesis, tanto la inclinación como la oblicuidad de la pelvis mostraron un patrón normal en ambos lados. Las líneas roja, azul y gris se alinearon, lo que sugiere que la corrección de la alineación protésica no sólo mejoró la mecánica de la rodilla, sino que también tuvo un impacto positivo en la pelvis, restaurando su simetría durante el ciclo de marcha.

la mecánica pélvica, lo que a su vez puede influir en la estabilidad general del paciente durante la marcha.¹ En este estudio, los cambios en la inclinación y oblicuidad pélvica tras la corrección de la alineación sugieren que una mala alineación de la prótesis no sólo afecta la extremidad afectada, sino que también puede alterar la simetría global de la marcha, comprometiendo la estabilidad del paciente. Este fenómeno puede ser particularmente problemático en pacientes pediátricos o jóvenes, como el caso descrito de un paciente masculino de 13 años con una marcada deformidad en valgo, que mostró mejoras tanto en la alineación de la rodilla como en la simetría pélvica después del ajuste protésico (Figuras 1 a 4). La importancia de una alineación protésica adecuada también se refleja en el confort del paciente. Una mala alineación puede generar dolor en el muñón, aumentar el riesgo de lesiones secundarias en las articulaciones no afectadas y reducir la calidad de vida del paciente. Aunque este estudio no evaluó directamente el confort, la mejora en los parámetros biomecánicos tras el ajuste sugiere que una mejor alineación puede también mejorar la experiencia diaria del paciente con la prótesis.

CONCLUSIÓN

El análisis de la marcha en pacientes con prótesis transtibial permite una comprensión más profunda de las estrategias de adaptación del cuerpo humano, facilitando la corrección de deformidades angulares, como el varo y valgo, y mejorando la estabilidad pélvica. Este estudio demuestra que el ajuste preciso de la alineación protésica no sólo mejora la biomecánica de la rodilla, sino que también tiene un impacto positivo en la simetría pélvica. Aunque no se observaron cambios significativos en la velocidad de marcha, la corrección de las deformidades y la estabilización pélvica subrayan el valor clínico de estas intervenciones. Además, el uso del análisis de marcha proporciona una mayor sensibilidad en la evaluación de estos cambios que los métodos tradicionales de observación visual, lo que apoya su relevancia en la práctica clínica. Estos resultados preliminares sugieren que, con estudios futuros que incluyan un mayor número de pacientes y variables, se podrán dirigir mejor las decisiones clínicas, optimizando el uso de prótesis y mejorando la calidad de vida de los pacientes

amputados. Así, el análisis de movimiento se presenta como una herramienta esencial para la evaluación y ajuste protésico en el manejo integral de estos pacientes.

REFERENCIAS

1. Van Velzen JM, Houdijk H, Polomski W, Van Bennekom CA. Usability of gait analysis in the alignment of trans-tibial prostheses: a clinical study. *Prosthet Orthot Int.* 2005; 29 (3): 255-267.
2. Griffet J. Amputation and prosthesis fitting in paediatric patients. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2016; 102(1 Suppl): S161-175.
3. Eshraghi A, Abu Osman NA, Karimi M, Gholizadeh H, Soodmand E, Wan Abas WA. Gait biomechanics of individuals with transtibial amputation: effect of suspension system. *PLoS One.* 2014; 9(5): e96988.
4. Hafner BJ, Sanders JE, Czerniecki JM, Ferguson J. Transtibial energy-storage-and-return prosthetic devices: a review of energy concepts and a proposed nomenclature. *J Rehabil Res Dev.* 2002; 39(1): 1-11.
5. Marinakis GN. Interlimb symmetry of traumatic unilateral transtibial amputees wearing two different prosthetic feet in the early rehabilitation stage. *J Rehabil Res Dev.* 2004; 41(4): 581-590.
6. Blumentritt S, Schmalz T, Jarasch R. Die Bedeutung des statischen Prothesenaufbaus für das Stehen und Gehen des Unterschenkelamputierten [Significance of static prosthesis alignment for standing and walking of patients with lower limb amputation]. *Orthopade.* 2001;30(3):161-168.
7. Culham EG, Peat M, Newell E. Below-knee amputation: a comparison of the effect of the SACH foot and single axis foot on electromyographic patterns during locomotion. *Prosthet Orthot Int.* 1986;10(1):15-22.
8. Boone DA, Kobayashi T, Chou TG, Arabian AK, Coleman KL, Orendurff MS, Zhang M. Influence of malalignment on socket reaction moments during gait in amputees with transtibial prostheses. *Gait Posture.* 2013; 37(4): 620-626.
9. Pitkin MR. Effects of design variants in lower-limb prostheses on gait synergy. *J Prosthet Orthot.* 1997; 9(3): 113-122.
10. Rusaw D, Ramstrand N. Motion-analysis studies of transtibial prosthesis users: a systematic review. *Prosthet Orthot Int.* 2011; 35(1): 8-19.
11. Rietman JS, Postema K, Geertzen JH. Gait analysis in prosthetics: opinions, ideas and conclusions. *Prosthet Orthot Int.* 2002; 26(1): 50-57.
12. Fitzsimons T, Clark A, Symonds A, Navarrete M, Saad N, Fitzsimons T et al. Physiotherapy following lower limb amputation. Physiotherapy Departments in SWAHS-Western Cluster, 2006, pp. 66-82.
13. Hannah RE, Morrison JB, Chapman AE. Prostheses alignment: effect on gait of persons with below-knee amputations. *Arch Phys Med Rehabil.* 1984;65(4):159-162.
14. Raschke SU, Orendurff MS, Mattie JL, Kenyon DE, Jones OY, Moe D et al. Biomechanical characteristics, patient preference and activity level with different prosthetic feet: a randomized double blind trial with laboratory and community testing. *J Biomech.* 2015; 48 (1): 146-152.