

Resumen extendido Tesis Doctoral
Doctorado en Ingeniería, mención en Bioingeniería. FI-UNER

ANÁLISIS DEL MOVIMIENTO HUMANO A PARTIR DE SEÑALES CINEMÁTICAS EN
PERSONAS CON AMPUTACIONES TRANSTIBIALES.

por
Mauricio Riveras



Director de la Tesis: Dra. Bioing. Paola CatalfamoFormento

Co-director de la Tesis: Dr. Bioing. Emiliano Ravera

Septiembre de 2020

RESUMEN

Motivación

La marcha de personas con amputación de sus miembros inferiores se encuentra influenciada tanto por factores internos al sujeto (como la etiología de la amputación, etc.), como externos a él, como por ejemplo el equipamiento protésico que utiliza. Aún con las nuevas prótesis diseñadas especialmente para mejorar el desempeño de la marcha sobre diferentes terrenos (escaleras, rampas, etc.), un gran número de usuarios padecen inconvenientes respecto al uso de las mismas (prescripción inapropiada, ajuste deficiente, etc.). Esto conlleva limitaciones en las actividades de la vida diaria y un mayor grado de discapacidad. Es por esto que el estudio de la influencia de las prótesis sobre la marcha de las personas, resulta de fundamental importancia para ayudar a una prescripción protésica adecuada y asistir en el ajuste y calibración de los componentes protésicos, con el objetivo de brindar un óptimo desarrollo de las actividades de la vida diaria de personas con amputación de miembros inferiores. Se han propuesto una variedad de herramientas de análisis del movimiento para caracterizar la marcha en amputados, incluyendo herramientas cinemáticas, cinéticas, dinámicas y de presiones plantares. Entre ellos, los parámetros espacio temporal (STP por sus siglas en inglés *Spatio Temporal Parameters*) han sido reportados como los más utilizados en investigaciones previas. Por otra parte también se ha evaluado el despeje mínimo del pie durante la fase de vuelo (MTC por sus siglas en inglés *Minimum Toe Clearance*) el cual mide la distancia mínima entre el suelo y la parte inferior del ante pie durante la fase media de vuelo. Debido a la alta velocidad de avance del pie en esta fase y los escasos mecanismos compensatorios que podrían atenuar la interrupción repentina ante una colisión con un objeto, este evento se encuentra íntimamente relacionado con el riesgo de tropiezo y la seguridad de la marcha. Para estudiar el riesgo de tropezar se han utilizado algunos descriptores del MTC (mediana, variabilidad) así como la probabilidad de tropiezo (PT).

Los STP están ampliamente difundidos debido a que permiten el estudio detallado y económico del proceso de marcha patológica y normal. Además, la literatura reporta que permiten identificar diferencias entre personas sin patología y personas con amputaciones transtibiales. El MTC, en cambio, no se encuentra tan difundido, aunque recientemente también ha sido utilizado para valorar las diferencias en la marcha entre personas sin patologías y amputados.

Sin embargo existen pocos estudios que evalúen estas herramientas para caracterizar las diferencias que inducen distintas prótesis sobre la marcha de amputados transtibiales; tanto en evaluaciones sobre suelo a nivel, como en suelos alternativos. Esta ausencia es particularmente relevante dado que algunas prótesis están especialmente diseñadas para mejorar la caminata sobre terrenos diferentes al suelo a nivel. Es por ello, que el presente trabajo propone desarrollar y evaluar herramientas que permitan valorar la performance de diferentes prótesis sobre diferentes terrenos, mediante el análisis de parámetros cinemáticos, como los parámetros STP y el MTC.

Hipótesis

En este trabajo se propuso como hipótesis que algunos parámetros cinemáticos permiten evaluar las diferencias en la marcha de personas con amputaciones de miembro inferior cuando estos utilizan distintos diseños protésicos.

Objetivos

Objetivo General

- Generar herramientas de análisis y procesamiento de Análisis del Movimiento Humano que permitan evaluar la marcha de personas con amputaciones de miembro inferior cuando estos utilizan distintos diseños protésicos.

Objetivos Particulares

- Diseñar e implementar métodos y algoritmos para calcular STP.
- Diseñar e implementar algoritmos de estimación de MTC y PT para estudiar diferencias entre prótesis en suelo a nivel y en rampa.
- Evaluar los STP, el MTC y la PT en suelo a nivel en participantes que utilizan dos tipos de prótesis.
- Evaluar los STP, el MTC y la PT en participantes caminando sobre rampas y utilizando tres tipos de prótesis.
- Proveer bases científicas que incrementen el conocimiento respecto a la biomecánica de la marcha patológica en pacientes con amputaciones de miembro inferior.

Métodos

Se utilizó un conjunto de señales cinemáticas registradas a 200 Hz utilizando un sistema de captura de movimiento de once cámaras (ProReflex, Qualisys, Gotemburgo, Suecia). Estas señales forman parte de una base de datos la cual cuenta con datos cinemáticos y cinéticos de 14 participantes con amputación transtibial unilateral, nivel ambulatorio K2-K4 (físicamente activos), caminando sobre suelo a nivel y sobre rampa, a velocidad autoseleccionada. Los participantes utilizaron tres tipos de prótesis: una con tobillo no articulado y funcionamiento mecánico (NAA por sus siglas en inglés Non Articulated Ankle), una con tobillo articulado y funcionamiento hidráulico (AHA por sus siglas en inglés Articulating Hydraulic Ankle) y una similar a la anterior pero con microprocesador (AHA-MP por sus siglas en inglés Articulating Hydraulic Ankle with Microprocessor).

En primer lugar, se diseñaron y desarrollaron algoritmos para la estimación de parámetros STP (entre ellos velocidad de caminata, longitud de paso, tiempo de apoyo doble) y de sus respectivos índices de simetría (IS). También se desarrollaron algoritmos para la estimación de MTC y de probabilidad de tropiezo (PT), este parámetro se utiliza para evaluar la probabilidad de chocar con objetos que estén sobre el suelo, bajo la hipótesis de que los mismos no han sido vistos por la persona; para este trabajo se eligieron objetos de altura de 10 y 15 mm, siguiendo sugerencias de la literatura.

Luego, estas herramientas se evaluaron en los registros de las personas sobre suelo a nivel, cuando caminaban con dos tipos de prótesis: NAA y AHA. Posteriormente, las mismas herramientas fueron evaluadas en los registros de personas caminando sobre rampas (ascenso y descenso), cuando las mismas utilizaban tres tipos de prótesis: NAA, AHA, Y AHA-MP. Finalmente, se compararon los resultados obtenidos para las distintas prótesis, para cada parámetro y para cada suelo mediante tests estadísticos no paramétricos.

Resultados

En suelo a nivel, las diferencias entre la prótesis en los STP fue solo de un 1% (del ciclo de la marcha y de la altura, de acuerdo al parámetro), además estos parámetros no reportaron diferencias estadísticamente significativas, acompañados de un tamaño de efecto débil y moderado. Estos resultados indican que en las condiciones de este estudio, los STP no detectaron diferencias entre las prótesis¹.

Cuando se analizó el MTC en suelo a nivel los valores, del lado protésico, fueron significativamente mayores cuando se utilizaron AHA en comparación a NAA ($P = 0,011$ y tamaño de efecto fuerte) indicando que el MTC es sensible ante la utilización de una prótesis u otra, donde la prótesis adaptativa presenta un menor riesgo de tropiezo en comparación con la no adaptativa.

En rampa, cuando se analizaron los STP las diferencias en los valores medios de los parámetros temporales (como tiempo de apoyo y tiempo de vuelo) fueron menores al 2% del ciclo de la marcha y para la longitud del paso, la diferencia fue del 2% de la altura corporal (sin diferencias estadísticas significativas y con tamaño de efecto débil). La velocidad de marcha fue el único parámetro que presentó diferencias estadísticamente significativas en descenso entre NAA y AHA-MP, (que representa aproximadamente una variación de 11.7%),

¹ Riveras, M. et al. (2019) 'Spatio Temporal Parameters and Symmetry Index in Transtibial Amputees Wearing Prosthetic Feet with and without Adaptive Ankles', 2019 Global Medical Engineering Physics Exchanges/ Pan American Health Care Exchanges (GMEPE/PAHCE). IEEE, pp. 1–6. doi: 10.1109/GMEPE-PAHCE.2019.8717362

con un tamaño de efecto moderado. Estos resultados indicarían que las alteraciones en la marcha que presentan las distintas prótesis no alcanzan niveles estadísticamente significativos cuando analizamos los parámetros STP².

Cuando se comparó el despeje mínimo del pie (MTC), del lado amputado, los valores fueron significativamente mayores cuando se utilizaron ambos tipos de prótesis adaptativas (AHA y AHA-MP) respecto al pie NAA tanto para subir como para bajar la rampa ($P = 0.03$ con tamaño de efecto moderado y $P = 0.01$ y tamaño de efecto fuerte, respectivamente). Respecto a la variabilidad de MTC, medida mediante el coeficiente de variación (CV), se encontró que fue significativamente menor para ambos tipos de prótesis adaptativas (AHA y AHA-MP) en comparación con NAA para descender la rampa ($P = 0.014$, con efecto de tamaño moderado) para el lado protésico. Y AHA-MP presentó el CV más bajo para ambas condiciones (descenso y ascenso de la rampa). Estos resultados indican que cuando las personas caminaron sobre rampa, el MTC continua siendo sensible según el tipo de prótesis utilizada y se vio reflejada en varios indicadores (mediana, variabilidad y PT) influenciada por las prótesis y por el nivel de exigencia mayor que representa caminar sobre rampa respecto a marcha en suelo a nivel, las prótesis adaptativas resultaron ser más seguras en comparación a la NAA³. AHA-MP mostró la Probabilidad de Trepiezo (PT) más bajo para la pierna protésica en tres de cuatro condiciones evaluadas en rampa (es decir, tanto en descenso con un objeto de 15 mm de alto, como en ascenso con objetos de 10 y 15 mm de alto). En la extremidad sana, los resultados mostraron que la mediana de MTC fue significativamente mayor ($P = 0.009$, $W = 0.43$) y el CV significativamente más bajo ($P = 0.005$, $W = 0.41$) cuando se usó AHA en ascenso.

Conclusión

Fue posible desarrollar algoritmos para la estimación de parámetros cinemáticos, como los STP, índices de simetría, MTC y PT. Los resultados mostraron que la capacidad de discriminar diferencias en los patrones de marcha cuando los participantes utilizan distintas prótesis, depende del terreno sobre el cual se analizan las mismas.

Respecto a los resultados encontrados sobre suelo a nivel, ni los parámetros STP ni los índices de simetría mostraron diferencias en la marcha con distintas prótesis. En cambio cuando se evaluó el MTC, se encontraron diferencias significativas entre las prótesis. Las prótesis AHA mostraron valores más seguros de MTC (medianas más altas y coeficientes de variación inferiores) y PT más bajas.

En cuanto a los resultados obtenidos de la caminata sobre rampa, solo la velocidad de marcha mostró diferencias entre las prótesis cuando los sujetos descendieron por la rampa. Por otro lado, el MTC y el PT mostraron diferencias estadísticas que indican que la marcha utilizando AHA-MP presentó valores más seguros al caminar.

De los resultados es posible concluir que no todos los parámetros cinemáticos propuestos para la valoración de marcha en amputados son capaces de discriminar diferencias en los patrones de marcha cuando los participantes utilizan distintas prótesis. De este estudio se observó que el parámetro MTC y su PT asociada son indicadores adecuados para esta valoración tanto en suelo a nivel como en rampas, en las condiciones de este estudio.

² Riveras, M., Ravera, E., Shaheen, A.F., Ewins, D., Catalfamo-Formento, P., 2020. Spatio temporal parameters and symmetry in subjects ascending and descending a ramp, using three different prosthetic feet. *J. Mech. Sci. Technol.* 34. <https://doi.org/10.1007/s12206-020-0145-0>

³ Riveras, M. et al. (2020) 'Minimum toe clearance and tripping probability in people with unilateral transtibial amputation walking on ramps with different prosthetic designs', *Gait and Posture*. Elsevier, 81(July), pp. 41–48. doi: 10.1016/j.gaitpost.2020.07.005.