

Generación de una base de datos cinemáticos de la marcha sobre cinta

Generation of a kinematic database on treadmill

López I. Marco A. (*), Braidot Ariel (**), Ramos Natalia (***), Bascelli Luciana (****), Barredo Gonzalo (*****), Sponton Sergio (*****)

* Laboratorio Análisis del movimiento. Centro de Rehabilitación e Investigación Dr. Esteban Laureano Maradona.

mlopez@crehabilitacion.com.ar

** Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Entre Ríos. ariel.braidot@uner.edu.ar

*** Laboratorio Análisis del movimiento. Centro de Rehabilitación e Investigación Dr. Esteban Laureano Maradona.

nramos@crehabilitacion.com.ar

**** Laboratorio Análisis del movimiento. Centro de Rehabilitación e Investigación Dr. Esteban Laureano Maradona.

lbascelli@crehabilitacion.com.ar

***** Laboratorio Análisis del movimiento. Centro de Rehabilitación e Investigación Dr. Esteban Laureano Maradona.

sinapsissantafe@gmail.com

***** Centro de Rehabilitación e Investigación Dr. Esteban Laureano Maradona. ssponton@jerarquicos.com



Fecha de recepción: 8 de abril de 2024

Fecha de aceptación: 18 de mayo de 2024

RESUMEN

Introducción: En el proceso de generación de informes de análisis del movimiento, es importante contar con bases de datos de normalidad del movimiento estudiado. El objetivo del presente trabajo es generar una base de datos de parámetros cinemáticos de la marcha sobre cinta de sujetos sanos.

Metodología: Se registró la marcha de 31 deportistas. Los parámetros cinemáticos calculados fueron: velocidad de marcha, longitud y ancho de paso, porcentajes de fases de apoyo y vuelo, cadencia y ángulos articulares en el plano sagital de cadera, rodilla y tobillo.

Resultados: Se compararon ángulos articulares de marcha sobre cinta con los contenidos en la base de datos de marcha sobre piso; obteniendo un índice de correlación entre la media del ángulo de flexo-extensión sobre la cinta y sobre el piso de 0.95 para cadera, de 0.91 para rodilla y de 0.67 para tobillo.

Conclusiones: Los parámetros obtenidos para la marcha sobre cinta, son comparables a los publicados por otros grupos de investigación. Además, las curvas articulares en el plano sagital son semejantes a las presentadas por la base de datos de marcha sobre el piso. Estos datos permiten sugerir que el análisis de marcha, en el plano sagital sobre cinta, es equivalente al análisis sobre el piso.

Palabras claves: Análisis de la marcha, parámetros cinemáticos, biomecánica deportiva, marcha humana.

ABSTRACT

Introduction: In the process of generating motion analysis reports, it is important to have databases of normality for the movement being analyzed. The goal of this study is to generate a database of kinematic parameters from treadmill gait in healthy subjects.

Methodology: The gait of 31 athletes was recorded. The kinematic parameters calculated were: gait speed, step length and width, support and swing phase percentages, cadence and joint angles in the sagittal plane of hip, knee and ankle.

Results: Joint angles of treadmill gait were compared with those contained in the database of overground gait; finding a correlation index between the mean of the flexion-extension angle on the treadmill and on the ground of 0.95 for hip, 0.91 for knee and 0.67 for ankle.

Conclusions: The parameters obtained for treadmill gait are comparable to those published by other research groups. In addition, the joint curves in the sagittal plane are similar to those presented by the overground gait databases. These data suggest that treadmill gait analysis, in the sagittal plane, is equivalent to overground analysis.

Keywords: Gait analysis, kinematic parameters, sports biomechanics, human gait.

INTRODUCCIÓN

Actualmente una de las herramientas más importantes en el análisis del movimiento humano son los sistemas de captura tridimensional basados en el registro de marcadores retroreflectivos. Esta herramienta es utilizada principalmente en dos áreas: la clínica y la deportiva.

En el área clínica, los sistemas de captura del movimiento, son utilizados en los procesos de investigación y planeación del tratamiento de enfermedades que afectan la locomoción del paciente, como por ejemplo en la parálisis cerebral (Aycardi *et al.*, 2019; Lofterød *et al.*, 2007; Khouri y Desailly., 2017), enfermedades de la moto-neurona superior (Fuller *et al.*, 2002), amputaciones (Kotamraju, 2017), entre otras. Diferentes estudios han demostrado que la eficiencia de los tratamientos de estas enfermedades, planeados a partir de los resultados obtenidos del sistema de captura de movimiento, es mayor a cuando no se utilizan (Wren *et al.*, 2011; Simon, 2004; Benedetti *et al.*, 2017).

En el área deportiva, los sistemas de captura de movimiento, son utilizados para estudiar y analizar los patrones de movimiento humano en el deporte con el objetivo de ayudar a los deportistas a mejorar sus técnicas y disminuir los riesgos de lesión. Es así como se han realizado estudios de diferentes deportes, como por ejemplo el análisis del tiro en el hockey sobre césped (Ibrahim *et al.*, 2017), el golpe a la pelota en el fútbol (Shan y Westerhoff, 2005), el lanzamiento de la pelota en el baseball (Nicholls *et al.*, 2003), el comportamiento biomecánico de los miembros inferiores durante la carrera de larga distancia (Diss *et al.*, 2015), entre otros.

En el Laboratorio de Análisis del Movimiento del Centro de Rehabilitación e –investigación Dr. Esteban Laureano Maradona (LAM_CRI) se estudia y ofrecen servicios en el área clínica y en el área deportiva. En el área deportiva uno de los principales gestos de interés es el de la carrera considerando que es un movimiento común a muchas disciplinas. En este laboratorio se cuenta con un sistema de captura tridimensional del movimiento, un equipo de medición inercial y un equipo de electromiografía inalámbrica para registros del movimiento humano.

La medición de la carrera y marcha de deportistas y pacientes se puede realizar sobre el piso o sobre una cinta caminadora. Si bien idealmente la evaluación de estos gestos debería hacerse sobre el piso, considerando que es el ambiente natural donde se desarrolla la actividad, las dimensiones de los laboratorios de análisis del movimiento, y los sistemas de registros mencionados no permiten realizar la medición de una carrera o marcha continua sobre piso. Además, para poder tener estabilidad en los datos recolectados de un sistema de captura, es necesario obtener múltiples ciclos del movimiento estudiado (Riazati *et al.*, 2019). El estudio del movimiento sobre el piso, en la mayoría de los laboratorios (por sus dimensiones), está limitado a la adquisición de un único ciclo de captura, por lo que es necesario hacer múltiples adquisiciones del movimiento. Esto lleva a que el deportista genere ciclos de actividad y descanso que pueden afectar la interpretación de los datos adquiridos. La medición de la marcha o carrera sobre la cinta caminadora permite obtener múltiples ciclos en una única adquisición, por lo que la estabilidad de los datos recolectados es mejor que la obtenida sobre el piso (Riazati *et al.*, 2019).

En el proceso de generación del informe de los datos adquiridos por los sistemas de captura del movimiento, es importante contar con una base de datos de normalidad del movimiento estudiado. Estos valores normales permiten identificar qué tan alejados de la media, están los parámetros de movimiento presentados por el deportista o paciente a quién se está midiendo en un caso particular. Es a partir de esas diferencias, que se pueden llegar a sugerir posibles cambios en el entrenamiento de los deportistas para maximizar su rendimiento o posibles tratamientos sobre los pacientes que ayuden en la recuperación de la funcionalidad del movimiento.

Existen en la literatura bases de datos de normalidad de diferentes movimientos obtenidas a partir de sistemas de captura tridimensional. Principalmente, estas bases de datos presentan la información cinemática, cinética y electromiografía de la marcha a diferentes velocidades de sujetos sanos (Schreiber y Moissenet, 2019). También existen trabajos donde se presentan bases de datos de velocidades y movimientos diferentes a la marcha. Por ejemplo, se encuentran bases de datos de movimientos como la caminata en punta de pies, caminata sobre talones, subiendo y bajando escaleras (Bovi *et al.*, 2011), tareas cotidianas de una persona (Liang *et al.*, 2020), carrera a diferentes velocidades sobre cintas (Chong *et al.*, 2015), entre otros.

En el LAM_CRI no se cuenta con el acceso a una base de datos de normalidad de carrera o marcha sobre cinta. Si bien en la literatura se pueden encontrar algunos trabajos donde se presentan bases de datos de carrera en cinta (Chong *et al.*, 2015), los artículos presentados no tienen disponible toda la información necesaria para su implementación asimismo los registros se realizaron en poblaciones de diferentes características. Para un uso adecuado se requiere una base de datos para una población latinoamericana. Además, algunos trabajos

como el realizado por Majernik (Majernik, 2013) sugieren que cada laboratorio de análisis de movimiento debería contar con su propia base de datos y no utilizar las de otros laboratorios; incluso si los laboratorios cuentan con los mismos sistemas de adquisición.

El objetivo de la presente investigación es generar una base de datos de normalidad de marcha sobre cinta en el plano sagital, que describa los parámetros cinemáticos de sujetos sanos. Además, se comparan los parámetros medidos con los mismos parámetros presentados en otras bases de datos de marcha sobre el piso y sobre cinta.

METODOLOGÍA

Se registró la cinemática de la marcha de un grupo de 31 deportistas (20 hombres y 11 mujeres) mediante el sistema de captura de movimiento SMART DX 6000 de la compañía BTS Bioengineering. Este sistema está compuesto por ocho cámaras infrarrojas de alta velocidad de adquisición (340 fps), 8 canales de electromiografía de superficie inalámbrica, una plataforma baropodométrica, un sensor inercial y dos plataformas de fuerza. Para este trabajo se utilizaron únicamente los datos capturados por las cámaras infrarrojas considerando que el propósito es obtener una base de datos de parámetros cinemáticos. Cada deportista firmó su correspondiente consentimiento informado para hacer parte de esta investigación. Luego se le colocó un conjunto de marcadores retroreflectivos siguiendo el protocolo de marcación Helen Hayes (Davis *et al.*, 1991).

Una vez marcado, se le solicitó a cada participante que seleccione en la cinta la velocidad de marcha cómoda y se realizaron 3 mediciones de 10 segundos cada una, con un intervalo de 2 minutos entre ellas. Esta metodología de medición es igual a la utilizada por Lee (Lee y Hidler, 2008) y Stolze (Stolze, 1997). Es importante aclarar que antes de realizar las mediciones se permitió que el deportista se acostumbrara al movimiento de la cinta del laboratorio.

Para comparar los datos cinemáticos de la marcha sobre la cinta con parámetros calculados con registros de la marcha sobre el piso, se utilizó la base de datos de marcha de normalidad sobre piso de sujetos sanos (BTS Gait Database), contenida en el sistema de adquisición SMART DX 6000 (F. Izzì, correo electrónico, 3 de abril de 2024).

Los parámetros cinemáticos calculados fueron: Velocidad de marcha, longitud de paso, ancho de paso, porcentaje de fase de apoyo, porcentaje de fase de vuelo, cadencia y ángulos articulares en el plano sagital para la cadera, rodilla y tobillo. Para poder comparar estos parámetros obtenidos sobre la cinta con los datos de la normalidad sobre el piso y con los datos presentados por otros grupos de investigación, se normalizó cada parámetro respecto a medidas antropométricas de los deportistas medidos, siguiendo las indicaciones realizadas por Hof (Hof, 1996):

$$\text{LongitudPaso} = \frac{\text{LongitudPaso}}{H}$$

$$\text{Cadencia} = \text{Cadencia} \sqrt{\frac{H}{g}}$$

$$\text{Velocidad} = \frac{\text{Velocidad}}{\sqrt{H g}}$$

Donde H es la altura del deportista y g es la aceleración de la gravedad 9,81 . La longitud de zancada y el ancho de paso fueron normalizados de igual forma que la longitud de paso.

Figura 1

Ubicación de marcadores retroreflectivos y de EMG.



RESULTADOS Y DISCUSIONES

En la Tabla 1 se presentan los parámetros antropométricos de los 31 participantes de este estudio y de las bases de datos de BTS, Lee (Lee *et al.*, 2008) y Stolze (Stolze, 1997). Se puede observar que en general los parámetros antropométricos de las 4 bases de datos son muy cercanos, por lo que resulta razonable hacer comparaciones entre los resultados. La base de datos Lee no presenta los valores de altura y peso de los participantes.

Tabla 1

Parámetros antropométricos bases de datos.

Parámetro	BTS	Marcha Cinta	Lee	Stolze
Cantidad Participantes	1000	31	19	12
Edad (años)	34±10.36	32.8±9.30	37.18±4.27	28.67±5.51
Altura (m)	1.69±0.07	1.73±0.09	-	1.75±0.13
Peso (Kg)	69.62±9.82	73.70±12.30	-	67.50±14.50

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 2 se presentan los datos cinemáticos de la marcha para las mismas bases de datos. En el caso de las bases de datos de Lee y Stole, se presentan los parámetros para caminata sobre el piso y sobre la cinta. En esa tabla se puede observar que la velocidad normalizada de marcha, y en consecuencia la cadencia, de los sujetos medidos en las bases de datos generada, BTS y Lee en cinta y piso son muy similares entre sí; mientras que la base de datos de Stole en cinta y el piso ambos parámetros son mayores.

La longitud de paso y zancada medidos en este trabajo respecto a las reportadas en las demás bases de datos es significativamente menor, esto. Otra diferencia encontrada es el porcentaje de fase de apoyo. El apoyo de los deportistas medidos es mayor que el del resto de las bases de datos, esto podría deberse a que la velocidad media de los participantes medidos es menor a la velocidad de medición de las demás bases de datos lo que genera una menor cadencia y un aumento en la fase de apoyo.

Tabla 2

Parámetros cinemáticos normalizados de las diferentes bases de datos.

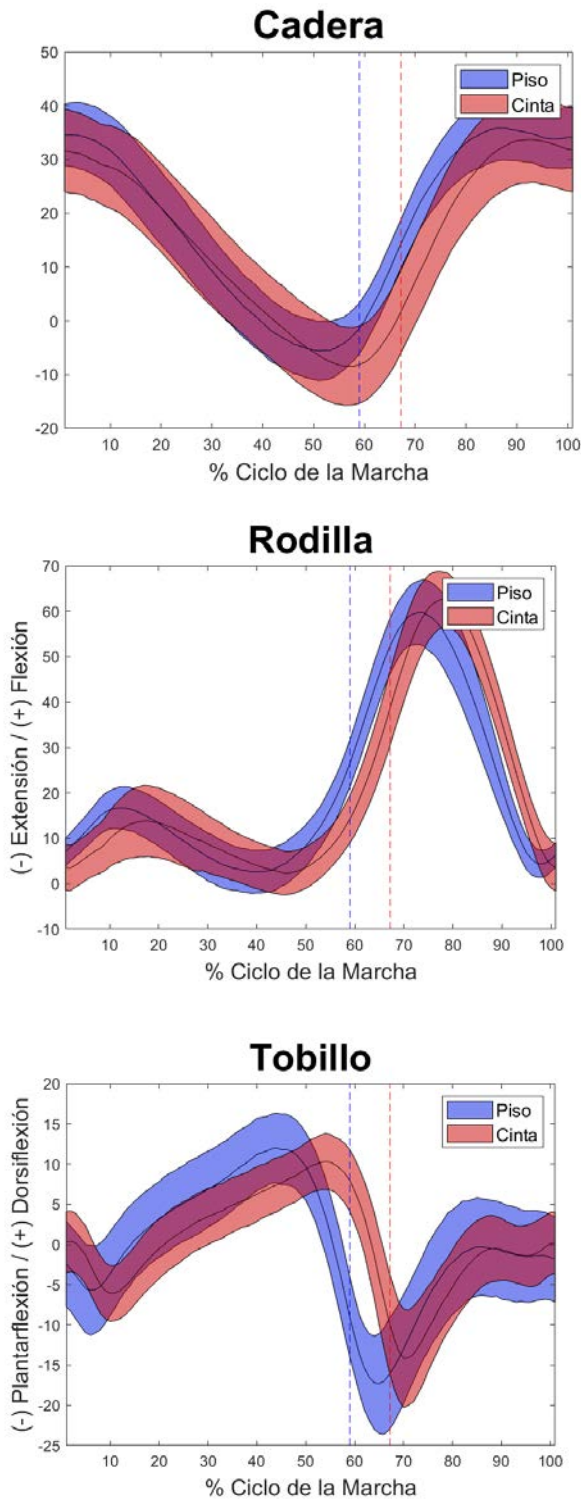
Parámetro	BTS	Marcha Cinta	Lee Cinta	Lee Piso	Stole Cinta	Stole Piso
Velocidad Marcha	0.28± 0.05	0.26± 0.04	0.28± 0.04	0.27± 0.04	0.36± 0.05	0.36± 0.05
Cadencia	47.30± 1.74	42.80± 4.28	46.60± 4.50	45.10± 4.00	50.96± 2.20	47.76± 4.69
Longitud de Paso	0.35± 0.03	0.30± 0.04	-	-	0.50± 0.03	0.50± 0.03
Longitud Zancada	0.77± 0.06	0.60± 0.08	0.73± 0.09	0.71± 0.08	0.89± 0.08	0.93± 0.09
Ancho de Paso	0.05± 0.03	0.07± 0.01	-	-	0.06± 0.01	0.05± 0.01
Fase de apoyo (%)	59.32± 2.00	67.35± 2.20	60.19± 7.41	60.18± 6.19	56.62± 2.82	60.78± 4.21
Fase de vuelo (%)	40.68± 3.60	32.65± 2.20	39.81± 3.70	39.82± 2.65	42.06± 2.62	42.13± 2.69

Fuente: elaboración propia

En la Figura 2 se presentan los ángulos articulares en el plano sagital para la cadera, rodilla y tobillo en la marcha sobre el piso para la base de datos BTS (Curva Azul) y sobre la cinta en este trabajo (Curva Roja). En la figura se puede observar que en este plano las excursiones angulares para las 3 articulares son muy similares entre la marcha sobre el piso y sobre la cinta. El índice de correlación entre la media del ángulo de flexo-extensión sobre la cinta y sobre el piso para la cadera es de 0.95, para la rodilla de 0.91 y para el tobillo de 0.67. En todos los casos el nivel de significancia es de 0.05.

Figura 2

Ángulos articulares plano sagital durante la marcha para caminata sobre el piso y sobre la cinta.



Si bien el índice de correlación entre los ángulos de plantar/dorsiflexión del tobillo es menor al calculado para las otras dos articulaciones, se puede observar en la Figura 2 que la morfología y los rangos angulares de ambas curvas es muy similar, evidenciándose un corrimiento de la curva sobre la cinta debido al mayor porcentaje de fase de apoyo.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se logró generar una base de datos de parámetros cinemáticos de 31 deportistas, la cual permite tener valores de referencia para el análisis deportivo y clínico de los servicios prestados en el LAM_CRI.

La velocidad y cadencia de la base de datos generada son similares a las presentadas por las demás bases de datos. Además, los rangos angulares y la morfología de las curvas angulares en el plano sagital son semejantes a los presentados por la base de datos BTS de marcha sobre el piso. Estos datos permiten concluir que el análisis de la marcha en el plano sagital sobre la cinta es equivalente al análisis realizado sobre el piso, lo cual concuerda con lo hallado por Riley y colaboradores (Riley *et al.*, 2007).

Existe una diferencia entre las longitudes de paso y zancada medidas y las presentadas en las demás bases de datos. Si bien se permitió que los deportistas caminaran durante un tiempo antes de realizar las mediciones para acostumbrarse al movimiento de la cinta, esta diferencia en las longitudes puede deberse a una menor sensación de estabilidad por parte de los deportistas medidos considerando que en sus jornadas de entrenamiento habituales no suelen caminar sobre la cinta sino sobre el piso. Esta presunción se ve sustentada por el aumento en la fase de apoyo y en el ancho del paso y concuerda con lo observado por Watt y colaboradores (Watt *et al.*, 2010) en su estudio en adultos mayores sanos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aycardi, L.F., Cifuentes, C. A., Múnera, M., Bayón, C., Ramírez, O., Lerma, S., Frizera, A. y Rocón, E. (2019). Evaluation of biomechanical gait parameters of patients with Cerebral Palsy at three different levels of gait assistance using the CPWalker. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 16(15), 1-9.

Benedetti, M. G., Beghi, E., De Tanti, A., Cappozzo, A., Basaglia, N., Giovanni Cutti, A., Ce-reatti, A., Stagni, R., Verdini, F., Manca, M., Fantozzi, S., Mazzà, C., Camomilla, V., Campanini, I., Castagna, A., Cavazzuti, L., Del Maestro, M., Della Croce, U., Gasperi, M., ... Ferrarin, M. (2017). SIAMOC position paper on gait analysis in clinical practice: General requirements, methods and appropriateness. Results of an Italian consensus conference. *Gait & Posture* 58, 252-260.

Bovi, G., Rabuffetti, M., Mazzoleni, P. y Ferrarin, M. (2011). A multiple-task gait analysis approach: Kinematic, kinetic and EMG reference data for healthy young and adult subjects. *Gait & Posture*, 33(1), 6–13.

Chong, Y. Z., Lau, Y. C., Teh, C. S. y Jasmy, Y. (1-4 Nov. 2015). *Development of normative human gait kinematics and kinetics database for Malaysian university students*. IEEE Region 10 International Conference TENCON, Macao, China.

- Davis, R. B., Öunpuu, S., Tyburski, D. y Gage, J. R. (1991). A gait analysis data collection and reduction technique. *Human Movement Science*, 10(5), pp. 575-587
- Diss, C., Gittoes, M. J., Tong, R. y Kerwin, D. G. (2015). Stance limb kinetics of older male athletes endurance running performance. *Sports Biomechanics*, 14(3), 300–309.
- Fuller, D. A., Keenan, M. A. E., Esquenazi, A., Whyte, J., Mayer, N. H. y Fidler-Sheppard, R. (2002). The impact of instrumented gait analysis on surgical planning: treatment of spastic equinovarus deformity of the foot and ankle. *Foot & Ankle International*, 23(8), 738-743.
- Hof, A. L. (1996). Scaling gait data to body size. *Gait & Posture*, 4, 222–223.
- Ibrahim, R., Faber, G. S., Kingma, I., y van Dieën J. H. (2017). Kinematic analysis of the drag flick in field hockey, *Sports Biomechanics*, 16(1), 45-57.
- Khouri, N. y Desailly, E. (2017). Contribution of clinical gait analysis to single-event multi-level. *Orthopaedics and Traumatology: Surgery and Research*, 103(1), 105-111 <http://dx.doi.org/10.1016/j.otsr.2016.11.004>
- Kotamraju, B. P. (2017). *Gait analysis of people with transtibial amputation* [Tesis de Master of Science]. University of Oklahoma.
- Lee, S. J. y Hidler, J. (2008). Biomechanics of overground vs. treadmill walking in healthy individuals. *Journal of Applied Physiology*, 104, 747-755.
- Liang, P., Kwong, W. H., Sidarta, A., Yap, C. K., Tan, W. K., Lim, L. S., Chan, P. Y., Kuah, C. W. K., Wee, S. K., Chua, K., Quek, C. y Ang, W. T. (2020). An Asian-centric human movement database capturing activities of daily living. *Scientific Data*, 7, 1-13.
- Lofterød B., Terjesen T., Skaaret I., Huse, A. y Jahnsen, R. (2007). Preoperative gait analysis has a substantial effect on orthopedic decision making in children with cerebral palsy: comparison between clinical evaluation and gait analysis in 60 patients. *Acta Orthopaedica*, 78(1), 74-80.
- Majernik, J. (2013). Normative human gait databases: use own one or any available. *Statistics Research Letters (SRL)*, 2(3). 69-74
- Nicholls, R., Fleisig, G., Elliott, B., Lyman, S. y Osinski, E. (2003). Baseball: Accuracy of qualitative analysis for assessment of skilled baseball pitching technique. *Sports Biomechanics*, 2(2), 213-226.
- Riley, P. O., Paolini, G., Della Croce, U., Paylo, K. W. y Kerrigan D. C. (2007). A kinematic and kinetic comparison of overground and treadmill walking in healthy subjects. *Gait & Posture*, 26(1), 17–24.