

# Actualización de las estrategias de evaluación e intervención de los trastornos de la marcha humana

María Carratalá Tejada

Francisco Molina Rueda

Esta monografía sobre la marcha humana recopila las ponencias presentadas en las **II Jornadas Nacionales e Internacionales de la Marcha Humana**, que se celebraron el 28 de octubre de 2022 en la Facultad de Ciencias de la Salud, Campus de Alcorcón, Universidad Rey Juan Carlos (URJC).

**El Comité Científico y Organizador de las Jornadas estuvo conformado por:**

Alicia Cuesta Gómez

Isabel M<sup>a</sup> Alguacil Diego

Pilar Fernández González

Roberto Cano de la Cuerda

Víctor Navarro López

Diego Fernández Vázquez

Alberto Molero Sánchez

Juan Carlos Miangolarra Page

M<sup>a</sup> Dolores Vialás González

**Departamento de Fisioterapia, Terapia Ocupacional, Rehabilitación y Medicina Física. Facultad de Ciencias de la Salud. URJC**



Edita: Servicio de Publicaciones de la URJC  
ISBN: 978-84-09-50971-3

## ÍNDICE

**Oscar Yepes Rojas. Evaluación del paciente con patología neurológica para la aplicación del ejercicio terapéutico..... 5**

PT. PhD. La Salle Centro Universitario, Madrid

**Francisco Molina Rueda. Aspectos clave en el análisis y entrenamiento de la marcha humana del adulto: una perspectiva desde la biomecánica..... 9**

PT. PhD. Departamento de Fisioterapia, Terapia Ocupacional, Rehabilitación y Medicina Física. Facultad de Ciencias de la Salud. URJC, Madrid

**Pilar Rada Romero<sup>1</sup>, Beatriz Martín Rojo<sup>2</sup>. Trastorno neurológico funcional de la marcha humana..... 15**

<sup>1</sup> PT. Unidad de neurorrehabilitación del Hospital Ruber Internacional. Centro de Fisioterapia Physicalmed, Madrid

<sup>2</sup> PT, OT, MSc. Clonskeagh Hospital, Dublín (Irlanda)

**Javier Güeita Rodríguez. Programas de ejercicio terapéutico para incrementar la distancia y velocidad de la marcha en niños..... 19**

PT. PhD. Departamento de Fisioterapia, Terapia Ocupacional, Rehabilitación y Medicina Física. Facultad de Ciencias de la Salud. URJC, Madrid

**María Carratalá Tejada. Aspectos esenciales en el entrenamiento de la marcha en niños ..... 23**

PT. PhD. Departamento de Fisioterapia, Terapia Ocupacional, Rehabilitación y Medicina Física. Facultad de Ciencias de la Salud. URJC, Madrid

**Miguel Benito García. Sinergias musculares en la locomoción humana..... 27**

PT. MSc. Centro de Terapia Especializada en Neurología (TEN)

**Luis Perales López. Aislamiento clínico de la marcha automática en sujetos adultos sanos desde la Locomoción Refleja ..... 31**

PT. PhD. Coordinador del servicio de neurorrehabilitación de la Fundación Numen

**Marcela Gonzalez-Rubio<sup>1</sup>, D.M Mariscal<sup>1,2</sup>, G. Torres-Oviedo<sup>1,2</sup> Uso de la cinta de marcha con correa dividida para el estudio de la adaptación sensoriomotora..... 35**

<sup>1</sup>Dept. of Bioengineering, University of Pittsburgh, Pittsburgh, PA; <sup>2</sup>Center for the Neural Basis of Cognition, University of Pittsburgh, Pittsburgh, PA

# Oscar Yepes Rojas. Evaluación del paciente con patología neurológica para la aplicación del ejercicio terapéutico

PT. PhD. La Salle Centro Universitario, Madrid

## Introducción

El ejercicio terapéutico se convierte en una estrategia fundamental dentro del marco de la identidad profesional del fisioterapeuta, cuyo objetivo final es optimizar las condiciones de salud de la sociedad, trabajando específicamente en los trastornos cardiovasculares, pulmonares, musculoesqueléticos y neuromusculoesqueléticos (1).

## Objetivo

Identificar las principales herramientas de valoración de las capacidades tanto cardiovascular como de fuerza muscular que se evalúan en el paciente neurológico para la aplicación del ejercicio terapéutico.

## Desarrollo

La valoración de las capacidades físicas permite obtener los datos necesarios para comenzar a generar un programa de ejercicio, a continuación, hablaremos de escalas y test específicos para valorar la capacidad cardiovascular y la función muscular fundamentales para la marcha.

- Capacidad Cardiovascular

La capacidad cardiovascular se define como la capacidad de resistencia a la fatiga durante actividades en la que la resíntesis de ATP se produce fundamentalmente por medio del metabolismo aeróbico (2).

En el caso del paciente neurológico las pruebas más empleadas para valorar la capacidad cardiovascular son las pruebas submáximas (3), entre ellas tenemos la prueba de 6 minutos marcha la cual se realiza a una carga constante y con una velocidad auto adquirida, siendo esta una prueba estandarizada que permite ser utilizada en diferentes condiciones clínicas (4).

Debemos recordar que existen mecanismos que permiten tener un control de la capacidad cardiorrespiratoria durante el ejercicio como los son el test del habla, el esfuerzo percibido por medio de la escala de Borg y las escalas OMNI las cuales son

presentadas como descriptores visuales o pictogramas donde el sujeto identifica su percepción de esfuerzo o fatiga sobre una escala graduada numéricamente durante o inmediatamente después de la realización del ejercicio (5).

- Función muscular

Cuando hablamos de función muscular nos referimos a dos aspectos específicos como lo son la resistencia y la fuerza. La resistencia muscular es imprescindible para el adecuado trabajo cardiovascular, por su parte la fuerza muscular permite el desplazamiento de los diferentes segmentos corporales frente a una situación determinada.

Para los diferentes tipos de fuerza muscular encontramos test estandarizados que permiten identificar la adecuada función muscular ya sea para movilizar o estabilizar un segmento corporal (Figura 1).



Figura 1. Diferentes tipos de fuerza muscular y test específicos de valoración.

En el caso del paciente neurológico cuando hablamos de fuerza máxima se pueden emplear test de tipo indirecto como pueden ser mediante el índice de Brzycki que mide el porcentaje del 1RM mediante las repeticiones que se consiguen hasta llegar al fallo, por otra parte, la forma más básica de calcular el 1RM es por medio de la estimación que se realiza empleando la escala del esfuerzo percibido de Borg (6).

## Conclusión

La evidencia es clara frente a la relación entre la pérdida de los diferentes componentes físicos (capacidad cardiovascular, función respiratoria, función muscular y movilidad), con el deterioro físico, la discapacidad y el aumento de la inactividad (6), es por este motivo imprescindible poder realizar una evaluación exhaustiva de cada una de estas capacidades físicas que permitan realizar un adecuado programa de prescripción del ejercicio terapéutico en el paciente neurológico.

## Referencias

1. La Touche R. Prescripción de ejercicio terapéutico en Fisioterapia. Las bases elementales de la identidad profesional. MOVE [Internet]. 1 de junio de 2020; 2(1):71-7. Disponible en: <https://jomts.com/index.php/MOVE/article/view/20>
2. Wilmore JH., Costill DL. Fisiología del esfuerzo y del deporte. 5ta Edición. Editorial Paidotribo; 2004.
3. Eng JJ, Dawson AS, Chu KS. Submaximal exercise in persons with stroke: test-retest reliability and concurrent validity with maximal oxygen consumption. Arch Phys Med Rehabil. 2004 Jan;85(1):113-8. doi: 10.1016/s0003-9993(03)00436-2. PMID: 14970978; PMCID: PMC3167868.
4. Kelly JO, Kilbreath SL, Davis GM, Zeman B, Raymond J. Cardiorespiratory fitness and walking ability in subacute stroke patients. Arch Phys Med Rehabil. 2003 Dec;84(12):1780-5. doi: 10.1016/s0003-9993(03)00376-9. PMID: 14669183.
5. Utter AC, Robertson RJ, Green JM, Suminski RR, McAnulty SR, Nieman DC. Validation of the Adult OMNI Scale of perceived exertion for walking/running exercise. Med Sci Sports Exerc. 2004 Oct;36(10):1776-80. doi: 10.1249/01.mss.0000142310.97274.94. PMID: 15595300.
6. Billinger SA, Arena R, Bernhardt J, Eng JJ, Franklin BA, Johnson CM, MacKay-Lyons M, Macko RF, Mead GE, Roth EJ, Shaughnessy M, Tang A; American Heart Association Stroke Council; Council on Cardiovascular and Stroke Nursing; Council on Lifestyle and Cardiometabolic Health; Council on Epidemiology and Prevention; Council on Clinical Cardiology. Physical activity and exercise recommendations for stroke survivors: a statement for healthcare professionals from the American Heart Association/American Stroke Association. Stroke. 2014 Aug;45(8):2532-53. doi: 10.1161/STR.0000000000000022. Epub 2014 May 20. PMID: 24846875.



# Francisco Molina Rueda. Aspectos clave en el análisis y entrenamiento de la marcha humana del adulto: una perspectiva desde la biomecánica

PT. PhD. Departamento de Fisioterapia, Terapia Ocupacional, Rehabilitación y Medicina Física. Facultad de Ciencias de la Salud. URJC, Madrid

## Introducción

La marcha humana es un patrón locomotor que tiene un triple procesamiento neurológico: automático, cognitivo y emocional (1). A nivel espaciotemporal se organiza en dos periodos, apoyo y oscilación, que a su vez se dividen en ocho fases: contacto inicial, respuesta a la carga, apoyo medio, apoyo final y pre-oscilación, en el periodo de apoyo, y oscilación inicial, media y final, en el periodo de oscilación. El periodo de apoyo representa el 60% del ciclo de marcha; mientras que, el periodo de oscilación, el 40% (2). Las funciones de la marcha son asegurar la estabilidad, absorber el peso corporal, progresar el cuerpo hacia delante y propulsarlo, moderar el desplazamiento de gravedad y, por último, ahorrar energía o controlar el gasto metabólico (3).

En cada fase de la marcha se realizan funciones que dependen de unos eventos cinemáticos y de una actividad muscular específicos, todo ello condicionado por los parámetros espaciotemporales (velocidad, longitud de zancada, tiempo de zancada, etc.) y por las fuerzas de reacción del suelo.

## Objetivo

Describir los patrones motores que aseguran las diferentes funciones de la marcha humana e identificar qué parámetros y movimientos son clave desde el punto de vista biomecánico para la evaluación y el tratamiento de acuerdo con la evidencia científica.

## Desarrollo

Las funciones de la marcha de estabilidad, absorción del peso corporal y progresión-propulsión dependen de unos eventos cinemáticos concretos. Estas funciones permiten controlar el desplazamiento del centro de gravedad y el gasto metabólico.

La estabilidad depende de la activación de los músculos del tronco y de la pelvis. Los primeros presentan picos de intensidad en las fases de contacto inicial, apoyo medio y

oscilación media (4). Además, se activan de forma anticipada, es decir, antes de dar el paso, los músculos de la cintura abdominal y del tronco ya muestran actividad. Se trata de un ajuste postural anticipatorio que refleja la relevancia de los músculos axiales en el patrón de marcha (5). Los músculos glúteo mayor y medio estabilizan la pelvis en los planos sagital y frontal. La pérdida de fuerza en el glúteo medio y el incremento de tejido adiposo intramuscular como consecuencia del envejecimiento aumenta la variabilidad de los parámetros espaciotemporales de la marcha y compromete al equilibrio (6), por lo que su atención es fundamental para evitar el deterioro de la marcha.

La absorción del peso corporal es una función que se realiza en la fase de respuesta a la carga y que depende de cuatro patrones biomecánicos: A) Control de la oblicuidad pélvica (3); B) Control de la flexión de rodilla (15-20 grados) estabilizada por cuádriceps e isquiosurales (activación muscular expresado en porcentaje respecto a la actividad máxima - recto femoral: 9%; vasto medial: 20%; bíceps femoral: 10-13%) (3,7,8); C) Caída del pie tras el contacto inicial (7 grados de flexión plantar de la articulación tibioperoneoastragalina) controlada por el músculo tibial anterior (40% de actividad respecto a la activación máxima) y gastrocnemios (<10% de activación) (3,7,8) y, por último, D) Pronación de la articulación subastragalina (4-5 grados) (3). El porcentaje de activación de la musculatura de los miembros inferiores está ligada a la alineación del tronco y de la pelvis durante las fases de la marcha. Simonsen, en un estudio publicado en 2014, demostró como el porcentaje de activación muscular respecto a la activación máxima se incrementaba cuando el tronco se inclina hacia delante o hacia atrás (8).

La función de progresión y propulsión tiene el propósito de facilitar el desplazamiento del centro de gravedad hacia delante. Los patrones de extensión de cadera durante el periodo de apoyo (10-20 grados), de flexión dorsal del pie durante las fases de apoyo medio y final (10-15 grados), de flexión plantar del pie en la preoscilación (15-20 grados), el braceo (entre 15 y 40 grados de recorrido articular del hombro, según la referencia), la ligera inclinación del tronco hacia delante durante el ciclo de la marcha (recorrido de 3-8 grados) y la oscilación de la extremidad inferior contralateral, aseguran esta función (9). Los músculos glúteo mayor (20% de actividad respecto a la activación máxima durante el periodo de apoyo), gastrocnemios (30-40% de activación) y sóleo contribuyen de forma significativa a la progresión. Durante el envejecimiento, el músculo glúteo mayor genera mayor soporte y fuerzas de frenado durante el apoyo y los gastrocnemios contribuyen menos a la propulsión (10), lo que incrementa el riesgo de caída (11). En la

misma dirección, la extensión máxima de la cadera es un evento que se relaciona con el riesgo de caída y que se observa disminuida en personas mayores o con patología neurológica (12). Por tanto, la acción extensora de la extremidad inferior durante la marcha es una pieza esencial para mantener la calidad del patrón.

Por último, la deambulación está condicionada por la estabilidad de los parámetros espaciotemporales. La variabilidad en estos parámetros se ha relacionado con un mal control neural del patrón y con riesgo de caída. En este sentido, Allai et al., comprobaron que, la variabilidad de la velocidad y del tiempo de zancada era mayor en sujetos con EM (EDSS<2,5) que tenían antecedente de caída respecto a los que no tenían antecedente (4% de variabilidad vs. 2% (velocidad), 3% vs. 1% (tiempo de zancada) (13).

## Conclusiones

La comprensión de la biomecánica de la marcha nos permite sintetizar qué patrones de movimiento aseguran las funciones de la locomoción, las cuales, si se comprometen se relacionan con una restricción del funcionamiento y la participación del individuo, un deterioro del equilibrio y, por ende, un incremento del riesgo de caída.

La literatura muestra que, cambios en los eventos cinemáticos, principalmente en la extensión del miembro inferior, así como un incremento del movimiento del tronco, una alineación incorrecta de éste y la disminución del braceo, son patrones que incrementan el riesgo de sufrir una caída y son hallazgos que se describen en multitud de patrones de marcha atípicos en pacientes con patología neurológica o del aparato locomotor.

El deterioro de la función muscular, sobre todo de la fuerza extensora y la presencia de coactivación muscular durante el ciclo de la marcha son hallazgos habituales de los desórdenes de la locomoción.

Por último, la variabilidad de los parámetros espaciotemporales, velocidad, longitud de zancada o tiempo de zancada, constituye un aspecto común en las personas con trastornos de la marcha; de manera que, su medición mediante escalas clínicas o sistemas instrumentales puede ofrecer información sobre marcadores de deterioro de la locomoción o de pronóstico de caída.

## Referencias

1. Takakusaki K. Functional Neuroanatomy for Posture and Gait Control. *J Mov Disord*. 2017 Jan;10(1):1-17. doi: 10.14802/jmd.16062.
2. Monge-Pereira E, Fernández-González P, Cuesta-Gómez A. Ciclo de la marcha: fases y parámetros espaciotemporales. En: Molina Rueda F, Carratalá Tejada M. *La Marcha Humana: Biomecánica, Evaluación y Patología* (págs. 13-18). Madrid: Panamericana; 2020.
3. Carratalá-Tejada M, Molero-Sánchez A, Molina Rueda F. Relación entre los parámetros biomecánicos de la marcha y sus funciones. En: Molina Rueda F, Carratalá Tejada M. *La Marcha Humana: Biomecánica, Evaluación y Patología* (págs. 43-50). Madrid: Panamericana; 2020.
4. Molero-Sánchez A, Alguacil Diego IM, Molina Rueda F. La marcha en las enfermedades articulares y en el individuo con amputación. En: Molina Rueda F, Carratalá Tejada M. *La Marcha Humana: Biomecánica, Evaluación y Patología* (págs. 149-156). Madrid: Panamericana; 2020.
5. Hodges PW, Richardson CA. Contraction of the abdominal muscles associated with movement of the lower limb. *Phys Ther*. 1997 Feb;77(2):132-42; discussion 142-4. doi: 10.1093/ptj/77.2.132 .
6. Addison O, Young P, Inacio M, Bair WN, Prettyman MG, Beamer BA, Ryan AS, Rogers MW. Hip but not thigh intramuscular adipose tissue is associated with poor balance and increased temporal gait variability in older adults. *Curr Aging Sci*. 2014;7(2):137-43. doi: 10.2174/1874609807666140706150924.
7. Li W, Li Z, Qie S, Yang H, Chen X, Liu Y, Li Z, Zhang K. Analysis of the activation modalities of the lower limb muscles during walking. *Technol Health Care*. 2020;28(5):521-532. doi: 10.3233/THC-191939.
8. Simonsen EB. Contributions to the understanding of gait control. *Dan Med J*. 2014 Apr;61(4):B4823.
9. Lim YP, Lin YC, Pandy MG. Lower-limb muscle function in healthy young and older adults across a range of walking speeds. *Gait Posture*. 2022 May; 94:124-130. doi: 10.1016/j.gaitpost.2022.03.003.
10. Carratalá Tejada M, Molina Rueda F. Patrón cinemático de la cadera, la rodilla y el tobillo durante la marcha. En: Molina Rueda F, Carratalá Tejada M. *La Marcha*

Humana: Biomecánica, Evaluación y Patología (págs. 19-24). Madrid: Panamericana; 2020.

11. King GW, Stylianou AP, Kluding PM, Jernigan SD, Luchies CW. Effects of age and localized muscle fatigue on ankle plantar flexor torque development. *J Geriatr Phys Ther.* 2012 Jan-Mar;35(1):8-14. doi: 10.1519/JPT.0b013e318221f53b. PMID: 22189949.
12. Kerrigan DC, Lee LW, Collins JJ, Riley PO, Lipsitz LA. Reduced hip extension during walking: healthy elderly and fallers versus young adults. *Arch Phys Med Rehabil.* 2001 Jan;82(1):26-30. doi: 10.1053/apmr.2001.18584. PMID: 11239282.
13. Allali G, Laidet M, Herrmann FR, Armand S, Elsworth-Edelsten C, Assal F, Lalive PH. Gait variability in multiple sclerosis: a better falls predictor than EDSS in patients with low disability. *J Neural Transm (Vienna).* 2016 Apr;123(4):447-50.



# Pilar Rada Romero<sup>1</sup>, Beatriz Martín Rojo<sup>2</sup>. Trastorno neurológico funcional de la marcha humana

<sup>1</sup> PT. Unidad de neurorrehabilitación del Hospital Ruber Internacional. Centro de Fisioterapia Physicalmed, Madrid.

<sup>2</sup> PT, OT, MSc. Clonskeagh Hospital, Dublín (Irlanda)

## Introducción

Los Trastornos del Movimiento Funcional (TMF) forman parte del espectro de los Trastornos Neurológicos Funcionales. Se trata de síntomas y signos motores, tales como debilidad, parálisis, temblor, alteración de la marcha, distonía, etc., que no están causados por una enfermedad/lesión neurológica establecida (1). Son una causa común de consulta neurológica (2).

Su diagnóstico se basa en una historia clínica y exploración neurológica sistematizada; en donde se observa inconsistencia interna de los síntomas, incongruencia con otras enfermedades y signos clínicos positivos. Es decir, se trata de una alteración del movimiento que puede modificarse con maniobras de distracción y/o no fisiológicas, puede responder al placebo y no corresponde a los trastornos del movimiento causados por enfermedades neurológicas (1).

## Objetivo

- Promover el conocimiento acerca de los TMF, su diagnóstico, así como su prevalencia.
- Introducir los Trastornos de la Marcha Funcional y sus características clínicas principales.
- Mostrar las bases de la fisioterapia especializada desde el nuevo enfoque biopsicosocial.

## Desarrollo

Históricamente los TMF se han conocido con diferentes nombres: trastorno conversivo, psicógeno, psicosomático, etc. Se concebían como una respuesta física a una dificultad emocional. Pero, en los últimos años ha habido un cambio en su paradigma debido a un mayor conocimiento de sus mecanismos fisiopatológicos.

Gracias al avance de la neurociencia se ha demostrado que hay una alteración en el funcionamiento Sistema Nervioso Central (SNC) (3). Se desarrolla un tipo de neuroplasticidad maladaptativa, en donde, el SNC parece que “registra o aprende” un patrón de movimiento anormal y lo reproduce sin que el paciente tenga control sobre el mismo. Los TMF son patrones de movimiento involuntarios pero aprendidos, inducidos por un foco de atención anormalmente dirigida a uno mismo; y mediado por una alteración en las expectativas del movimiento /síntoma (4).

Dentro de los TMF, la alteración de marcha funcional es uno de los tipos más frecuentes. Puede aparecer aislado, pero con mayor frecuencia se presenta asociada a otros tipos de TMF. Su inicio suele ser brusco, su evolución rápida y los síntomas pueden ser fluctuantes (5).

Es fundamental que los profesionales sanitarios estemos familiarizados con este trastorno y sus características; así como conocer los consensos internacionales de recomendaciones para su correcto abordaje.

### Conclusiones

Los TFM se asocian a niveles altos de discapacidad y mala calidad de vida; el gasto económico que suponen es elevado (1, 6). Por lo tanto, realizar un diagnóstico precoz basado en la presencia de criterios y signos clínicos positivos es fundamental para mejorar el pronóstico de estos pacientes.

En la actualidad se considera un enfoque transdisciplinar el más adecuado; en el cual, la rehabilitación física especializada juega un papel clave (6, 7, 8, 9, 10).

## Referencias

1. Nielsen G, Stone J, Matthews A, Brown M, Sparkes C, Farmer R, et al. Physiotherapy for functional motor disorders: a consensus recommendation. *J NeurolNeurosurg Psychiatry* (2015) (In press) 2015.
2. Stone J. Who is referred to neurology clinics? the diagnoses made in 3781 new patients. *Clin Neurol Neurosurg* 2010;112(9):747-751.
3. Sasikumar S, Strafella A. The neuroimaging evidence of brain abnormalities in functional movement disorders. *Brain* 2021; 144; 2278-2283.
4. Edwards M, Fotopoulou A, Pareés I. Neurobiology of functional (psychogenic) movement disorders. *Curr Opin Neurol* 2013; 26 (4) 442 - 447.
5. Jordbru AA, Smedstad LM. et al. Identifying patterns of psychogenic gait by video recording. *J Rehabil Med* 2012. 44(1):31-35.
6. Nielsen G, Buszewicz M, Stevenson F, Hunter R, Holt K, Dudzic M, et al. Randomised feasibility study of physiotherapy for patients with functional motor symptoms. *J NeurolNeurosurg Psychiatry* 2016;88(6):484-490.
7. Nielsen G, Ricciardi L, Demartini B, Hunter R, Joyce E, Edwards MJ. Outcomes of a 5- day physiotherapy programme for functional (psychogenic) motor disorders. *J Neurol.* 2015; 262(3):674-81.
8. Jacob AE, Kaelin DL, Roach AR, Ziegler CH, Lafaver K. Motor Retraining (MoRe) for Functional Movement Disorders: Outcomes From a 1-Week Multidisciplinary Rehabilitation Program. *PM&R* 2018;10(11):1164-1172.
9. Jordbru A, Smedstad L, Klungsoyr O, Martinsen E. Psychogenic gait disorder: a randomized controlled trial of physical rehabilitation with one-year follow-up. *J Rehabil Med* 2014;2(Supple 1): S53-54.
10. Schmidt T, Ebersbach G et al. Evaluation of Individualized Multi-Disciplinary Inpatient Treatment for Functional Movement Disorders. *Movement Disorders Clinal Practice* 2021; 8 (6): 911-918.



# Javier Güeita Rodríguez. Programas de ejercicio terapéutico para incrementar la distancia y velocidad de la marcha en niños

PT. PhD. Departamento de Fisioterapia, Terapia Ocupacional, Rehabilitación y Medicina Física. Facultad de Ciencias de la Salud. URJC, Madrid

## Introducción

Las recomendaciones recientes a través de guías de práctica clínica en adultos con patología neurológica ya han mostrado que la cantidad de práctica solamente para mejorar función de caminar (velocidad y distancia) no tiene efectos, no generando eficiencia resolutive a los pacientes. Hace falta más intensidad (1,2).

La marcha es una actividad dinámica que necesita rápidos movimientos articulares y activaciones musculares. Los niños con trastornos neurológicos que deambulan son lentos y tienen poca resistencia a medias/largas distancias. No resuelven sus problemas para caminar debido a debilidad, pobre generación de potencia y pocas mejoras en adaptaciones neuromusculares/cerebro-vasculares tras programas de ejercicios convencionales. Los programas de fuerza actuales han demostrado poca transferencia todavía a reducir limitaciones en actividades de vida diaria. debido a estímulos bajos y programas cortos (3).

## Objetivo

Describir programas para niños que deambulan, pero son lentos y presentan poca resistencia a distancias. Para ello se proponen programas de alta intensidad con ejercicios funcionales orientados a la marcha para optimizar las adaptaciones neuromusculares por velocidad/carga

Describir programas para niños que (aún) no deambulan fuera (pero si dentro del agua).

Para ello se proponen programas de:

- alta intensidad en ejercicios funcionales orientados a la marcha dentro del agua, para optimizar adaptaciones neuromusculares por carga.
- ejercicios de fuerza y velocidad para tareas transferibles a la marcha, para optimizar adaptaciones neuromusculares por velocidad.

## Desarrollo

La propuesta consiste en desarrollar un programa de entrenamiento de potencia y agilidad en niños con trastornos neurológicos,

-para mejorar la biomecánica de marcha (velocidad y distancia recorrida)

-para mejorar la eficiencia de la marcha (adaptaciones neuromusculares, conciencia propioceptiva, repertorizar patrones, etc.) incrementando la eficiencia neuromuscular

-para estimular adaptaciones cerebrovasculares que facilitan el aprendizaje y transferencia al caminar en diferentes entornos

## Conclusiones

Los programas de entrenamiento de potencia en niños con parálisis cerebral han demostrado ser seguros y factibles, pudiendo mejorar la marcha y el desempeño funcional de otras AVDS (4,5).

Los ejercicios de potencia funcionales orientados a la marcha (andar rápido, correr) incrementan el desarrollo de la fuerza en tareas funcionales más que máxima fuerza a velocidad lenta en ejercicios monoarticulares. Igualmente incrementan la fuerza de propulsión y la velocidad de movimiento (6).

Los ejercicios de potencia no orientados a la marcha (pliometría en saltos, balísticos) muestran una prominente evidencia al mejorar la velocidad de la marcha y la función en niños con parálisis cerebral (7).

## Referencias

1. Hornby TG, Reisman DS, Ward IG, Scheets PL, Miller A, Haddad D, Fox EJ, Fritz NE, Hawkins K, Henderson CE, Hendron KL, Holleran CL, Lynskey JE, Walter A; and the Locomotor CPG Appraisal Team. Clinical Practice Guideline to Improve Locomotor Function Following Chronic Stroke, Incomplete Spinal Cord Injury, and Brain Injury. *J Neurol Phys Ther.* 2020;44(1):49-100.
2. Fahey M, Brazg G, Henderson CE, Plawecki A, Lucas E, Reisman DS, Schmit BD, Hornby TG. The Value of High Intensity Locomotor Training Applied to Patients With Acute-Onset Neurologic Injury. *Arch Phys Med Rehabil.* 2022 Jul;103(7S):S178-S188
3. Williams G, Hassett L, Clark R, Bryant A, Olver J, Morris ME, Ada L. Improving Walking Ability in People With Neurologic Conditions: A Theoretical Framework for Biomechanics-Driven Exercise Prescription. *Arch Phys Med Rehabil.* 2019 Jun;100(6):1184-1190
4. Elnaggar RK, Elbanna MF, Mahmoud WS, Alqahtani BA. Plyometric exercises: subsequent changes of weight-bearing symmetry, muscle strength and walking performance in children with unilateral cerebral palsy. *J Musculoskelet Neuronal Interact.* 2019;19(4):507-515
5. Kaya Kara O, Livanelioglu A, Yardimci BN, Soylu AR. The Effects of Functional Progressive Strength and Power Training in Children With Unilateral Cerebral Palsy. *Pediatr Phys Ther.* 2019;31(3):286-295.
6. Schranz C, Kruse A, Belohlavek T, Steinwender G, Tilp M, Pieber T, Svehlik M. Does Home-Based Progressive Resistance or High-Intensity Circuit Training Improve Strength, Function, Activity or Participation in Children With Cerebral Palsy? *Arch Phys Med Rehabil.* 2018;99(12):2457-2464.e4.
7. Drumm M, Fabiano J, Lee E, Jezequel J, Rao AK, Yoon L. Effects of Power Training on Gait, Power, and Function in Children with Cerebral Palsy. *Phys Occup Ther Pediatr.* 2022;42(3):227-241



# María Carratalá Tejada. Aspectos esenciales en el entrenamiento de la marcha en niños

PT. PhD. Departamento de Fisioterapia, Terapia Ocupacional, Rehabilitación y Medicina Física. Facultad de Ciencias de la Salud. URJC, Madrid

## Introducción

Para destacar la importancia del estudio y de la rehabilitación de la marcha, en un reciente trabajo, publicado en agosto del 2022, marcan unas directrices de rehabilitación motora implementables y basadas en evidencia para personas con parálisis cerebral (PC), en el que se hacen fuertes recomendaciones, indicando que los tratamientos de primera línea para los niños y adolescentes con PC deben enfocarse al entrenamiento de la marcha y de las actividades físicas, junto con la terapia intensiva bimanual (1).

Es por ello, que es importante que se estudie de forma profunda que aspectos son esenciales para conseguir una marcha funcional. En primer lugar, las extremidades inferiores deben ser capaces de soportar el peso del cuerpo; la pelvis es la estructura de unión entre la unidad pasajero, y la unidad locomotora, y eso implica que debe tener suficiente estabilidad para coordinar ambos segmentos. Además, debemos de ser capaces de mantener el equilibrio estático, pero también el dinámico, cuando generemos un ritmo locomotor para avanzar y relacionarnos con nuestro entorno, adaptándonos en cada momento a las exigencias ambientales y a los cambios de tarea (2).

## Objetivo

Establecer programas de fortalecimiento muscular como intervención para mejorar la marcha en niños con parálisis cerebral.

## Desarrollo

Los niños con disfunción cerebral presentan anomalías del neurodesarrollo, como espasticidad, contractura, disminución de la coordinación, alteración de la sensibilidad, control voluntario inadecuado y debilidad muscular (3). La debilidad muscular, incluso más que la espasticidad, es la causa más común de los déficits de la función motora. La debilidad muscular es más prominente distalmente, y por norma general, los extensores de la cadera, los extensores de la rodilla y los dorsiflexores del tobillo son

más débiles que sus antagonistas (4). Es por ello, que el trabajo de potenciación se convierte en un elemento esencial para el entrenamiento de la marcha con estos niños. Una forma adecuada de potenciación debe incluir aumentos progresivos de la carga y de la intensidad dentro de los programas de fortalecimiento. Este tipo de ejercicios, donde hay un aumento continuo de la carga, se conocen como ejercicios de resistencia progresiva, donde los músculos se sobrecargan de forma manual, mecánica o por carga de peso (5). Para aumentar la efectividad, deben programarse intervenciones donde el fortalecimiento se realice de forma funcional orientándolo a tareas que incluyan un enfoque multiarticular en cadena cinética cerrada (6). A este respecto, Abd-Elfattah y cols., en junio de 2022, publicaron un trabajo, que exponía las mejoras del ejercicio de fortalecimiento con peso, cargando en cadena cinética cerrada versus ejercicios de fortalecimiento sin carga. En este trabajo, se encontraron mejoras significativas en los extensores de cadera y de rodilla y en la capacidad funcional de la marcha medido con la prueba *The six-minute walk test (6MWT)*. La edad media de los niños del estudio era de 11 años, y los autores sugerían la necesidad de comenzar en edades muy tempranas para trabajar la musculatura implicada en la marcha (6).

## Conclusiones

De este modo, se propone, trabajar desde que el niño tiene capacidad para mantenerse en bipedestación (aunque sea con apoyos), con ejercicios progresivos (iniciándose con mínima asistencia, pasando por que soporte su peso corporal, y posteriormente, añadiéndole peso, de forma progresiva), en cadena cinética cerrada, en tareas que serán fundamentales para desempeñar actividades de la vida diaria, como caminar, subir escaleras y de movilidad general. Dichas tareas incluyen cuclillas, subidas a un escalón, sentarse-levantarse, ponerse de pie desde el suelo y ejercicios en planos inestables.

## Referencias

1. Demont A et al. Evidence-based, implementable motor rehabilitation guidelines for individuals with cerebral palsy. *Neurology*. 2022;99(7):283-97.
2. Carratalá-Tejada M, Molero-Sánchez A, Molina Rueda F. Relación entre los parámetros biomecánicos de la marcha y sus funciones. En: Molina Rueda F, Carratalá Tejada M. *La Marcha Humana: Biomecánica, Evaluación y Patología* (págs. 43-50). Madrid: Panamericana; 2020.
3. Gormley, M.E., Jr. Treatment of neuromuscular and musculoskeletal problems in cerebral palsy. *Pediatr. Rehabil.* 2001, 4, 5–16.
4. Aye T, Thein S, Hlaing, T. Effects of strength training program on hip extensors and knee extensors strength of lower limb in children with spastic diplegic cerebral palsy. *J. Phys. Ther. Sci.* 2016; 28:671–6.
5. Scholtes VA et al. Lower limb strength training in children with cerebral palsy— A randomized controlled trial protocol for functional strength training based on progressive resistance exercise principles. *BMC Pediatr.* 2008; 8:41.
6. Abd-Elfattah HM, Ameen FH, Elkalla, RA, Aly SM, Abd-Elrahman NAF. Loaded Functional Strength Training versus Traditional Physical Therapy on Hip and Knee Extensors Strength and Function Walking Capacity in Children with Hemiplegic Cerebral Palsy: Randomized Comparative Study. *Children.* 2022; 9:946. <https://doi.org/10.3390/children9070946>



# Miguel Benito García. Sinergias musculares en la locomoción humana.

PT. MSc. Centro de Terapia Especializada en Neurología (TEN)

## Introducción

En la literatura actual, se sugiere que los patrones de coordinación funcional muscular, también conocidos como sinergias musculares, forman parte del control neural que reduce la necesidad de controlar cada uno de los músculos de manera independiente (1). Las sinergias musculares son flexibles, permitiendo movimientos complejos como la locomoción; se necesitan de cuatro a cinco sinergias musculares durante partes específicas del ciclo de la marcha para conseguir una marcha eficiente (2).

Las personas con alteraciones neurológicas centrales con frecuencia desarrollan disfunciones en el comportamiento sensitivo-motor durante la locomoción. En relación con las sinergias musculares, se ha observado que estas se encuentran disminuidas, fusionadas entre ellas y con tiempos alterados en su coordinación (3).

El concepto Bobath incorpora las teorías contemporáneas de control motor a los principios de su práctica clínica, proporcionando la base teórica para interpretar la postura, el análisis funcional del movimiento humano y la recuperación después de una lesión del sistema nervioso central (4).

## Objetivos

Revisar el marco teórico de control motor que da soporte a las sinergias musculares en el control postural y la locomoción.

Relacionar el conocimiento actual de las sinergias locomotoras con la aplicación práctica del concepto Bobath.

Describir las sinergias locomotoras básicas que garantizan un patrón de marcha eficiente.

Utilizar la perspectiva de las sinergias musculares en la evaluación y tratamiento después de lesiones del sistema nervioso central.

## Desarrollo

Además de haberse encontrado sinergias musculares que dan soporte a la locomoción, la literatura actual también describe este control motor para otras actividades tales como el alcance, agarre, transferencias y tareas posturales (p.e. mantener la bipedestación) (5) (6) (7). Aunque las sinergias posturales tienen características específicas para cada tarea, se han descrito sinergias transversales comunes que aparecen en diversas actividades, tales como caminar y levantarse / sentarse, mantener la bipedestación y el alcance (8). Este hallazgo da soporte a uno de los principios clave del concepto Bobath sobre la interacción entre el control postural y el movimiento selectivo para el análisis y el tratamiento del movimiento funcional (9).

Para su abordaje, se proponen intervenciones basadas en la eficiencia de las sinergias fundamentales transversales a las actividades posturales y de movimiento, para su posterior reclutamiento en tareas más complejas, como es la locomoción (10). De igual manera, se sugiere que el fraccionamiento gradual de sinergias musculares fusionadas tras la lesión neurológica podría generar control de la flexibilidad en la tarea (11).

## Conclusiones

A través de demostraciones clínicas basadas en práctica informada por la evidencia en relación con el control motor sinérgico, se podrían incorporar los principios de tratamiento y de razonamiento clínico del concepto Bobath.

El conocimiento de las sinergias locomotoras básicas que garantizarían un patrón de marcha eficiente podría servir como marco para la evaluación y tratamiento después de lesiones del sistema nervioso central.

## Referencias

1. Munoz-Martel V, Santuz A, Ekizos A, Arampatzis A. Neuromuscular organisation and robustness of postural control in the presence of perturbations. *Sci Rep*. 2019;9(1):12273.
2. Shin SY, Kim Y, Jayaraman A, Park HS. Relationship between gait quality measures and modular neuromuscular control parameters in chronic post-stroke individuals. *J Neuroeng Rehabil*. 2021;18(1):58.
3. Van Criekinge T, Vermeulen J, Wagemans K, Schröder J, Embrechts E, Truijen S, Hallemans A, Saeys W. Lower limb muscle synergies during walking after stroke: a systematic review. *Disabil Rehabil*. 2020;42(20):2836-45.
4. Vaughan-Graham J, Cott C. Defining a Bobath clinical framework - A modified e-Delphi study. *Physiother Theory Pract*. 2016;32(8):612-27.
5. Madarshahian S, Latash ML. Synergies at the level of motor units in single-finger and multi-finger tasks. *Exp Brain Res*. 2021 Sep;239(9):2905-23.
6. Yoshida K, An Q, Yozu A, Chiba R, Takakusaki K, Yamakawa H, et al. Visual and Vestibular Inputs Affect Muscle Synergies Responsible for Body Extension and Stabilization in Sit-to-Stand Motion. *Front Neurosci*. 2019;12:1042.
7. Israely S, Leisman G, Carmeli E. Neuromuscular synergies in motor control in normal and poststroke individuals. *Rev Neurosci*. 2018;29(6):593–612.
8. Huang B, Chen W, Liang J, Cheng L, Xiong C. Characterization and Categorization of Various Human Lower Limb Movements Based on Kinematic Synergies. *Front Bioeng Biotechnol*. 2022 Jan 20;9:793746.
9. Vaughan-Graham J, Patterson K, Zabjek K, Cott CA. Important Movement Concepts: Clinical Versus Neuroscience Perspectives. *Motor Control*. 2019 Jul 1;23(3):273-93.
10. Saito H, Yokoyama H, Sasaki A, Kato T, Nakazawa K. Flexible Recruitments of Fundamental Muscle Synergies in the Trunk and Lower Limbs for Highly Variable Movements and Postures. *Sensors*. 2021;21(18):6186.
11. Cheung VCK, Cheung BMF, Zhang JH, Chan ZYS, Ha SCW, Chen C-Y, et al. Plasticity of muscle synergies through fractionation and merging during development and training of human runners. *Nat Commun*. 2020;11(1):4356.



# Luis Perales López. Aislamiento clínico de la marcha automática en sujetos adultos sanos desde la Locomoción Refleja

PT. PhD. Coordinador del servicio de neurorrehabilitación de la Fundación Numen

## Introducción

La marcha humana se considera actualmente un proceso de aprendizaje donde el entorno prevalece sobre los programas motores genéticos (1). Así el estudio de la propia marcha, en sujetos sanos constituye la base para su comprensión y manejo en los procesos de rehabilitación del adulto (2). De los tres niveles de procesamiento neural de la marcha: cognitivo, emocional y automático (3), es este último el más complejo de estudiar de forma aislada en adultos sanos. A esto contribuye que el procesamiento automático surge, supuestamente, como resultado de la integración de su aprendizaje, y no como expresión de una programación genética predeterminada en nuestra especie (4). En la actualidad la evidencia apoya que en la mejora del procesamiento automático de la marcha en pacientes neurológicos es necesario el entrenamiento repetitivo de alta intensidad donde se incorporen tareas duales que distraigan las funciones cognitivas de los procesos de control postural que deben operar de forma automática para ser más eficientes (5). La Locomoción refleja de Vojta como recurso terapéutico en adultos neurológicos ha mostrado resultados positivos en la rehabilitación de la marcha (6-8). Sin embargo, a pesar de que se ha comprobado su potencial neuromodulador en sujetos sanos (9-10) estos estudios no han valorado el potencial de transferencia de esta neuromodulación directamente al patrón de marcha.

## Objetivo

Estudiar el efecto de cuatro intervenciones en relación a su potencial de neuromodulación de los circuitos neurales que controlan el procesamiento automático de la marcha.

## Desarrollo

Con un diseño ECA, se estudió una muestra de 120 sujetos adultos sanos, (53 hombres y 67 mujeres con media 32,58 años SD 11,63) con asignación aleatorizada a los grupos de intervención por orden de entrada al estudio (tapiz rodante, Motomed, 1ª posición de Vojta y Control). El planteamiento de estudio fue un pre-post empleando como

variable de resultado principal el test 6 minutos walk, con la singularidad de que en el test post-intervención se solicitó a los sujetos no realizar NINGUN movimiento voluntario. Además, se registró EMGs en ocho músculos, y se analizó la cinemática del plano sagital con software Kinovea en dos fases del ciclo del paso: oscilación media y apoyo medio.

## Resultados

Los datos preliminares de este estudio (pendiente de publicación) indican una activación de la marcha refleja solamente en el grupo Vojta en el test 6 min. walk post-intervención, con una activación EMG significativamente superior a la producida en el mismo tramo de marcha voluntaria del test 6 min walk pre-intervención. Dentro del grupo Vojta hubo alta variabilidad en calidad cinemática, intensidad y distancia recorrida de forma refleja.

## Conclusión

La 1ª posición de la locomoción refleja según Vojta inicia y reproduce de forma automática el patrón de marcha en sujetos adultos sanos frente al resto de intervenciones que no tuvieron ningún efecto en el test 6 min walk post-intervención. Este estudio puede contribuir a realizar nuevos planteamientos teórico-clínicos que ayuden a comprender mejor el patrón de marcha, su origen, y en consecuencia, su rehabilitación en personas con disfunciones de la marcha.

## Referencias

1. Shumway-Cook Anne, H. Woollacott Marjorie. (1995). Control Motor. Williams & Wilkins
2. Molina F, Carratalá M. La marcha humana, Biomecánica, Evaluación y patología. Editorial Panamericana 2020.
3. Takakusaki K. Functional Neuroanatomy for Posture and Gait Control. *J Mov Disord.* 2017 Jan;10(1):1-17. doi: 10.14802/jmd.16062. Epub 2017 Jan 18. PMID: 28122432; PMCID: PMC5288669.
4. Vojta V, Schweizer E. El descubrimiento de la motricidad ideal. Ediciones Morata 2011.
5. Ahmed U, Karimi H, Amir S, Ahmed A. Effects of intensive multiplanar trunk training coupled with dual-task exercises on balance, mobility, and fall risk in patients with stroke: a randomized controlled trial. *J Int Med Res.* 2021 Nov;49(11):3000605211059413. doi: 10.1177/03000605211059413.
6. Epple, C., Maurer-Burkhard, B., Lichti, M. et al. Vojta therapy improves postural control in very early stroke rehabilitation: a randomised controlled pilot trial. *Neurol. Res. Pract.* 2, 23 (2020). <https://doi.org/10.1186/s42466-020-00070-4>.
7. Carratalá-Tejada M, Cuesta-Gómez A, Ortiz-Gutiérrez R, Molina-Rueda F, Luna-Oliva L, Miangolarra-Page JC. Reflex Locomotion Therapy for Balance, Gait, and Fatigue Rehabilitation in Subjects with Multiple Sclerosis. *J Clin Med.* 2022 Jan 23;11(3):567. doi: 10.3390/jcm11030567.
8. Perales Lopez L, Valdez Palmero N, Garcia Ruano L, San Leon Pascual C, White Orile P, Vegue Down A, Gor Garcia-Fogeda MD, Toré S. The implementation of a reflex locomotion program according to Vojta produces short-term automatic postural control changes in patients with multiple sclerosis. *J Bodyw Mov Ther.* 2021. 26: 401-405. ISSN 1360-592, <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2021.01.001>
9. Hok P, Opavský J, Kutín M, Tüdös Z, Kaňovský P, Hluštík P. Modulation of the sensorimotor system by sustained manual pressure stimulation. *Neuroscience.* 21 de 2017;348:11-22.
10. Sanz-Esteban I, Calvo-Lobo C, Ríos-Lago M, Álvarez-Linera J, Muñoz-García D, Rodríguez-Sanz D. Mapping the human brain during a specific Vojta's tactile input: the ipsilateral putamen's role. *Medicine (Baltimore).* 2018;97(13):e0253. doi:10.1097.



Marcela Gonzalez-Rubio<sup>1</sup>, D.M Mariscal<sup>1,2</sup>, G. Torres-Oviedo<sup>1,2</sup>

## Uso de la cinta de marcha con correa dividida para el estudio de la adaptación sensoriomotora

<sup>1</sup>Dept. of Bioengineering, University of Pittsburgh, Pittsburgh, PA; <sup>2</sup>Center for the Neural Basis of Cognition, University of Pittsburgh, Pittsburgh, PA

### Introducción

El ser humano tiene la capacidad de adaptar sus patrones motores dependiendo a las demandas del ambiente. De modo que este es capaz de aprender y retener nuevos patrones de marcha con paradigmas de cinta de marcha con correa dividida (en inglés, *Split belt treadmill*); es decir, existe una correa para cada extremidad inferior controladas independientemente. De este modo es posible estudiar en el laboratorio como el sistema nervioso central aprende nuevos patrones de marcha y como enfocar posibles tratamientos para el reentrenamiento de la marcha si existe alguna afección motora. En la literatura se ha caracterizado la adaptación de la marcha con este tipo de paradigmas utilizando medidas cinemáticas como la asimetría de paso (1).

### Objetivo

Caracterizar las entradas sensoriales al sistema motor durante la marcha y la estructura de la adaptación de la actividad muscular con cada paso.

### Desarrollo

Debido a las dificultades en la medición de las entradas sensoriales, no se ha identificado si la sensibilidad a los cambios en un estímulo (asimetrías en velocidad a la que se mueve cada pierna en la marcha) depende de la intensidad del estímulo (velocidad media) (2). Para comprobarlo, se analizó la marcha de los sujetos sobre un *Split belt treadmill* sometiéndoles a un cambio de velocidad en ambas piernas (3) bajo diferentes velocidades media de marcha (lento: 0.7, medio 1.05, y rápido 1.4m/s). Sus respuestas a: “¿qué pierna se mueve con una velocidad menor?” fueron analizadas con regresión logarítmica con objeto de analizar la sensibilidad de los participantes a las asimetrías de velocidad.

La predicción de la ley de Weber, donde la sensibilidad a las asimetrías en velocidad es mayor cuando la velocidad media es menor, se cumple cuando la velocidad media de

marcha es menor a la velocidad media de referencia (1.05 m/s). Este conocimiento puede ser utilizado a la hora de diseñar entrenamientos con *split belt treadmill*, tal que la sensibilidad a asimetrías en velocidad se maximice.

Por otro lado, los estudios sobre cinemática han mostrado que existen al menos dos procesos que describen la adaptación y desadaptación de la marcha (4). Es por esto, que se cree que se necesitan al menos dos procesos a nivel neuromuscular: un proceso reactivo asociado al control del equilibrio al introducir un cambio en la velocidad de las extremidades inferiores (perturbación) (5,6), y un proceso específico al contexto que se caracteriza por nuevos patrones de marcha después de la exposición sostenida a este tipo de perturbación (5). En este sentido, la medición de la actividad muscular de 14 músculos por extremidad y utilizando una regresión lineal para cuantificar el reclutamiento de actividad muscular reactiva y de contexto se encontró que, durante la adaptación de la marcha: 1) al principio de la perturbación el componente reactivo es prominente, pero decae con el tiempo; y 2) con el paso del tiempo en una perturbación sostenida, se incrementa el reclutamiento de patrones de contexto.

## Conclusiones

Los resultados preliminares nos ayudan a caracterizar los mecanismos involucrados en la adaptación sensoriomotora. Primero, se demostró que las entradas sensoriales al sistema motor (variable interna del sistema) se rigen por la Ley de Weber cuando la velocidad media de marcha es menor a 1.05m/s. Estudios futuros son necesarios para determinar porque a velocidades mayores no se observa este tipo de relación entre la sensibilidad a cambios en el estímulo y su intensidad. Segundo, el análisis neuromuscular durante los paradigmas en *split belt treadmill* demuestran que, existe un proceso reactivo, que corresponde a la introducción y eliminación de un cambio de velocidad en las piernas, y un proceso específico de contexto, el cual se asocia con memorias motoras formadas por las demandas de la cinta de marcha.

## Referencias

1. Reisman DS, Block HJ, Bastian AJ. Interlimb coordination during locomotion: what can be adapted and stored? *J Neurophysiol*. 2005 Oct 1;94(4):2403–15.
2. Wolfe JM, Kluender KR, Levi DM, Bartoshuk LM, Herz RS, Klatzky RL, et al. Psychophysical methods. In: *Sensation & Perception*. 5 th. Sinauer Associates; 2018. p. 8–10.
3. Iturralde PA, Gonzalez-Rubio M, Torres-Oviedo G. High-human acuity of speed asymmetry during walking. *bioRxiv* [Internet]. 2020; Available from: <https://doi.org/10.1101/2020.10.28.359281>
4. Roemmich RT, Long AW, Bastian AJ. Seeing the Errors You Feel Enhances Locomotor Performance but Not Learning. *Curr Biol* [Internet]. 2016;26(20):2707–16. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2016.08.012>
5. Finley JM, Bastian AJ, Gottschall JS. Learning to be economical: The energy cost of walking tracks motor adaptation. *J Physiol*. 2013;591(4):1081–95.
6. Ogawa T, Kawashima N, Ogata T, Nakazawa K. Predictive control of ankle stiffness at heel contact is a key element of locomotor adaptation during split-belt treadmill walking in humans. *J Neurophysiol* [Internet]. 2014;111:722–32. Available from: [www.jn.org](http://www.jn.org)
7. Iturralde PA, Torres-Oviedo G. Corrective muscle activity reveals subject-specific sensorimotor recalibration. *eNeuro* [Internet]. 2019;6(2):e0358-18.2019 1–15. Available from: <https://doi.org/10.1523/ENEURO.0358-18.2019>

**Cita:** María Carratalá Tejada. Francisco Molina Rueda. Actualización de las estrategias de evaluación e intervención de los trastornos de la marcha humana. Actas de las II Jornadas Nacionales e Internacionales de la Marcha Humana. Departamento de Fisioterapia, Terapia Ocupacional, Rehabilitación y Medicina Física. Alcorcón, Madrid, 28 de octubre de 2022.

Edita: Servicio de Publicaciones de la URJC

ISBN: 978-84-09-50971-3

<https://hdl.handle.net/10115/22108>

