

ORIGINAL

Parámetros de marcha en una muestra de referencia de escolares sanos españoles: descripción multivariante y asimetrías entre ciclos izquierdos y derechos[☆]

I. Pulido-Valdeolivas^{a,b,h}, D. Gómez-Andrés^{a,b,c}, J.A. Martín-Gonzalo^{a,d},
J. López-López^e, E. Gómez-Barrena^f, J.J. Sánchez Hernández^g y E. Rausell^{a,b,*}

^a TRADESMA, Instituto de investigación Hospital Universitario La Paz (IdiPAZ), Madrid, España

^b Departamento de Anatomía, Histología y Neurociencia, Universidad Autónoma de Madrid, España

^c Hospital Infantil, Hospital Universitario La Paz, Universidad Autónoma de Madrid, España

^d Escuela Universitaria de Fisioterapia de la ONCE, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, España

^e Sección de Rehabilitación, Hospital Universitario Infanta Sofía, San Sebastián de los Reyes, Madrid, España

^f Departamento de Cirugía, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, España

^g Departamento de Medicina Preventiva y Salud Pública, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, España

^h Servicio de Neurología, Hospital Universitario La Paz, Universidad Autónoma de Madrid, España

Recibido el 29 de noviembre de 2011; aceptado el 1 de abril de 2012

Accesible en línea el 14 de junio de 2012

PALABRAS CLAVE

Análisis
multivariante;
Marcha;
Niño;
Salud;
Movimiento

Resumen

Introducción: El análisis instrumental de marcha (AIM) es una tecnología de uso creciente en la evaluación de trastornos motores infantiles. La evaluación de pacientes requiere una base de referencia de normalidad, pero existen pocas referencias infantiles españolas.

Objetivo: Descripción de 16 variables de marcha de relevancia clínica en una muestra de referencia de escolares sanos. Estudio de sus relaciones lineales y asimetrías izquierda-derecha.

Sujetos y métodos: Se midieron con AIM 16 variables de marcha en escolares sanos ($n = 27$, 5-13 años). Se estudiaron las asimetrías en cada variable (t de Student, muestras dependientes) y sus intervalos de confianza (95% de la media de diferencia estandarizada derecha menos izquierda, dz). Se representaron los valores y las asociaciones entre variables mediante «heatmap».

Resultados: Se aportan tablas de normalidad para 16 variables del ciclo de marcha. Son significativamente asimétricos los valores medios de flexión mínima de cadera (dz : 0,25 IC del 95%, 0,11-0,39) y de máxima abducción de cadera en el balanceo (dz : -1,05 IC del 95%, -1,71; -0,27). Existen asociaciones funcionales entre las variables de marcha.

Conclusiones: Presentamos una muestra de normalidad de escolares españoles donde se observan asimetrías entre los lados izquierdo y derecho y organización funcional entre sus variables. © 2011 Sociedad Española de Neurología. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

[☆] Trabajo expuesto en el Congreso de Sociedad Española de Rehabilitación y Medicina Física. Toledo, 2011.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: movuam@gmail.com (E. Rausell).

KEYWORDS

Multivariate analysis;
Gait;
Children;
Health;
Movement

Gait parameters in a reference sample of healthy Spanish schoolchildren: multivariate descriptive statistics and asymmetries observed in left and right cycles

Abstract

Introduction: Instrumental gait analysis is an emerging technology used increasingly to evaluate motor disorders in children. Normal reference data is necessary in order to evaluate patients, but there are few reference resources for the Spanish paediatric population.

Objective: We aim to describe the values of 16 clinically relevant gait variables in healthy Spanish schoolchildren, and identify any linear associations or left-right asymmetries.

Subjects and methods: The values of 16 gait variables were determined in schoolchildren ($n=27$, aged 5-13 years) using instrumental gait analysis. We analysed asymmetries for each variable (Student's t-test for dependent samples) and calculated their confidence intervals (95% of the standardised difference in right and left means [SMD]). Values and associations between variables were represented using a heat map.

Results: Our project presents normal values tables for 16 variables in the gait cycle. Significant asymmetries were detected in the mean values for minimum hip flexion (SMD: 0.25 95% CI, 0.11-0.39) and peak hip abduction in swing (SMD: -1.05 95% CI: -1.71 - 0.27). Functional associations among gait variables are present.

Conclusions: We present a reference dataset for Spanish school-aged children in which left-right asymmetries and functional associations may be observed for different variables.

© 2011 Sociedad Española de Neurología. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

Introducción

El análisis instrumental del movimiento es el conjunto de tecnologías que permiten cuantificar la actividad motora de un sujeto. El análisis instrumental de la marcha (AIM) comprende una serie de tecnologías que valoran los eventos cinemáticos, cinéticos y electromiográficos durante un ciclo de marcha, es decir, entre 2 taloneos del mismo pie. Para ello, se pueden medir parámetros espaciotemporales (la velocidad y características del paso o de la pisada, como longitud, anchura o frecuencia), parámetros cinemáticos (posiciones angulares de una articulación en un momento o un intervalo de tiempo), parámetros cinéticos (fuerzas, trabajos, potencias, momentos angulares, etc. desarrolladas en un segmento corporal concreto o en el cuerpo en su conjunto) y parámetros de electromiografía dinámica¹.

El desarrollo tecnológico ha aportado viabilidad y difusión a estas tecnologías, por lo que el AIM tiene una relevancia creciente en la comprensión de la fisiología de la marcha humana y de la fisiopatología de sus alteraciones. Su uso ha comenzado a proveer notables cuerpos de teoría basados en la investigación, trasladables a la asistencia clínica de patologías neuropediátricas y a la evaluación del efecto de sus tratamientos^{2,3}.

El estudio cuantitativo de las alteraciones de la marcha requiere establecer datos de referencia de sujetos sanos para: a) comprender el significado fisiológico de las variables; b) extraer aquellas de relevancia clínica, y c) describir adecuadamente cambios de esas variables en la marcha patológica para profundizar en su fisiopatología y abordaje terapéutico. Sin embargo, ninguna publicación describe la marcha de pacientes infantiles en nuestro país, incluyendo datos cinemáticos seleccionados objetivamente.

La marcha es un fenómeno neurobiológico complejo difícil de describir⁴ y el AIM genera una cantidad inabordable

de datos que complica su interpretación⁵. Se han diseñado diversas estrategias para abordar este problema⁵. Una de las más atractivas ha sido la generación de índices que subsumen en un único número conjuntos de variables para expresar el grado de desviación de la marcha de un paciente con respecto a una referencia, como el índice de marcha de Gillette o Gillette Gait Index (GGI, también *Normalcy Index*). En este índice intervienen 16 variables espaciotemporales y cinemáticas⁶ seleccionadas entre un amplio grupo de variables que se consideran de importancia clínica (tabla 1). El GGI, a pesar de sus limitaciones^{7,8}, es uno de los más extendidos⁹⁻¹⁵ para evaluar resultados terapéuticos.

Una de las limitaciones actuales del GGI es que se calcula con datos conjuntos de lados izquierdo y derecho, asumiendo sin fundamento que existe completa simetría. Existen indicios de que tal simetría no es completa¹⁶ y, por lo tanto, es necesario cuantificar el grado de asimetría en cada muestra de referencia.

El objetivo principal de este trabajo es describir las 16 variables de marcha propuestas por Schutte et al.⁶ en un grupo de escolares sanos españoles, con el propósito de proveer una referencia aceptable para la construcción de un GGI que incluya la importancia de las asimetrías y que pueda trasladarse al estudio y evaluación de patologías neurológicas infantiles. Los objetivos secundarios son: describir las asociaciones lineales entre esas variables y proponer un método de representación multivariante para la descripción de muestras.

Sujetos y métodos

El estudio fue aprobado por el comité de ética para la investigación de la Universidad Autónoma de Madrid. El consentimiento para participar en el estudio se obtuvo de

Tabla 1 Las 16 variables de relevancia clínica seleccionadas por Schutte et al

Traducción propuesta para la literatura en castellano	Unidad	Código izqdo.	Código drcho.
Tiempo de apoyo o tiempo hasta el despegue	% del ciclo de marcha	L1	R1
Velocidad de marcha/longitud de miembro inferior	s ⁻¹	L2	R2
Cadencia	pisadas/segundo	L3	R3
Inclinación pélvica media	Grados	L4	R4
Rango de inclinación pélvica	Grados	L5	R5
Rotación pélvica media	Grados	L6	R6
Flexión mínima de la cadera	Grados	L7	R7
Rango de flexión de la cadera	Grados	L8	R8
Abducción máxima durante el balanceo	Grados	L9	R9
Rotación media de la cadera durante el apoyo	Grados	L10	R10
Flexión de la rodilla en el contacto inicial	Grados	L11	R11
Tiempo hasta la flexión máxima de rodilla	% del ciclo de marcha	L12	R12
Rango de flexoextensión de la rodilla	Grados	L13	R13
Dorsiflexión máxima del tobillo en el apoyo	Grados	L14	R14
Dorsiflexión máxima del tobillo en el balanceo	Grados	L15	R15
Ángulo de progresión medio del pie en el apoyo	Grados	L16	R16

AIM: análisis instrumental de marcha; dz: diferencia de medias estandarizada, GGI: Gillette Gait Index; L: «left»; R: «right».

los tutores de los menores y el asentimiento informado se obtuvo de manera oral de los menores capacitados para ello. Para asegurar la privacidad la identificación de los niños fue codificada con numerales.

Reclutamiento de voluntarios

El diagrama de flujo de la [figura 1](#) muestra el protocolo de reclutamiento de 30 voluntarios sanos para el estudio. Los criterios de inclusión en el estudio fueron edad de 5 a 16 años, estadio madurativo Tanner I o II, dominio motor derecho, residencia en Madrid o alrededores, escolarización adecuada para su edad, características cognitivas y conductuales adecuadas para la edad, ausencia de trastornos visuales o auditivos no corregidos, ausencia de patologías ortopédicas conocidas en los 6 meses anteriores, ausencia de patologías neurológicas, cardiovasculares o sistémicas, cribado negativo de patologías ortopédicas no conocidas por medio del protocolo de exploración del

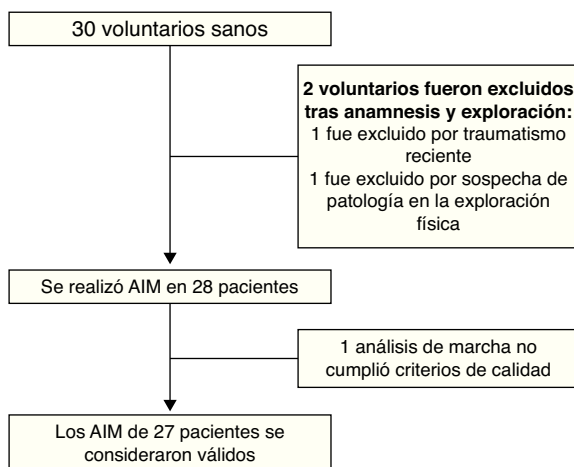
Scottish Rite Hospital¹⁷ y ausencia de alteraciones en el rango de movilidad, la fuerza, el tono y los reflejos de los miembros inferiores. El AIM de 27 niños fue válido para configurar la muestra.

Análisis de marcha

Las sesiones de AIM se realizaron en el laboratorio del grupo de Análisis de Movimiento en la Escuela Universitaria de Fisioterapia de la ONCE-UAM. Los datos cinemáticos y espacio-temporales se obtuvieron con un sistema Codamotion (Charnwood Dynamics Ltd., Reino Unido). Los marcadores-emisores fueron colocados en puntos anatómicos indicados por el fabricante para el módulo de software que calcula los centros de movimiento articulares. Tras un periodo de adaptación a la presencia de los marcadores, los niños caminaban 15-20 veces descalzos y a velocidad espontánea por un pasillo de marcha previamente calibrado de 6 m de largo. Se seleccionaron 4-5 ciclos de marcha izquierdos y otros tantos derechos de cada niño para el análisis posterior. Los criterios de selección de los ciclos fueron: selección de ciclos intermedios del pasillo de marcha, selección de ciclos más cercanos al final de la sesión y la monitorización de total presencia de señal de los emisores durante el ciclo. Se extrajeron los 16 parámetros (tabla 1) de cada ciclo de marcha izquierdo y derecho. Para cada variable (32 parámetros) y cada individuo, se calculó la media derecha y la media izquierda de los 5 ciclos.

Método estadístico de descripción de las variables de la muestra

- Descripción univariante de la muestra: para la descripción de cada variable en la muestra se utilizaron: la media y la desviación típica en las que su distribución se ajustaba a la normalidad y la mediana y el rango para que aquellas variables que no se ajustaba a la normalidad ($p < 0,1$ en el test Kolmogorov-Smirnov).

**Figura 1** Flujo de selección de pacientes.

- Diferencias izquierdas-derecha: se realizaron comparaciones entre los valores izquierdos y derechos absolutos en cada una de las 16 variables mediante el test t de Student para muestras dependientes. Para evitar el efecto de las comparaciones múltiples, el valor p se corrigió para 16 comparaciones mediante el método propuesto por Sidak et al. (p corregida = 0,0032)¹⁸. Se calculó el intervalo de confianza del 95% para la diferencia estandarizada de medias («dz»)¹⁹ entre los datos derechos e izquierdos de cada variable, utilizando el método bootstrap acelerado corregido por sesgos y 999 muestras de remuestreo²⁰.
- Descripción multivariante de la muestra: se generó un heatmap. Los datos de los niños fueron normalizados y expresados en términos de Z-score en cada variable. El método de clasificación utilizado para pacientes y para variables fue el agrupamiento jerárquico utilizando la distancia euclídea como media de disimilitud y la media como criterio.

Paquetes estadísticos

Los cálculos univariantes se realizaron utilizando SPSS 16.0 para Windows OS. El resto de los estudios estadísticos se realizaron con R (y sus paquetes *Rmcd*, *boot*, *simpleboot* y *ggplot* (función *heatmap.2*). Este programa estadístico ha sido recientemente aceptado por la FDA para su utilización en ensayos clínicos (*The R Foundation for Statistical Computing*, 2008).

Resultados

Descripción univariante de la muestra

Las variables de marcha de 14 niños y 13 niñas fueron finalmente analizadas. Las medianas y rangos fueron: edad 8 años (rango 6-13 años), altura 136 cm (118-160 cm), peso 32 kg (20-53 kg), y el índice de masa corporal 17,36 kg/m² (14,12- 20,7 kg/m²). En la *figura 2* se definen la media y la desviación típica de las 16 variables de marcha en nuestra muestra.

Asimetrías entre el lado izquierdo y lado derecho

La *figura 2* muestra el resultado de la comparación univariante de las variables medias izquierdas y derechas. El valor medio derecho de *flexión mínima de cadera* (V7) es significativamente mayor que el izquierdo (dz: 0,25°, IC del 95%, 0,11°-0,39°; $p = 0,00155$), pudiendo ser la diferencia de lados pequeña o moderada. El valor medio izquierdo de *máxima abducción de la cadera* (V9) es significativamente mayor que el derecho (dz: 1,05°, IC del 95%, 0,27°-1,71°; $p = 0,00297$). El intervalo de confianza de esta diferencia es amplio pudiendo ser la diferencia de lados desde muy grande a moderada o pequeña. Las variables *máxima dorsiflexión en fase oscilante* (V15) y *ángulo medio de la progresión del pie* (V16) muestran tendencia, no significativa, a ser asimétricas. Otras variables, en cambio, tienen intervalos de confianza de su diferencia izquierda-derecha estrechos que

oscilan en torno a cero, lo que indica que tienen marcada tendencia a ser simétricas.

Representación multivariante de los datos

La *figura 3* representa nuestra propuesta de representación multivariante de muestras para resultados de AIM, mediante clasificación jerárquica. Los colores del «heatmap» indican el valor del Z score para cada variable en cada niño (representados por su código de identificación en la vertical derecha).

El dendrograma superior agrupa variables cuyos valores estandarizados son similares. El parecido en los valores estandarizados es mayor cuanto más bajo se sitúa el nodo que las une. Esta representación gráfica permite explorar la existencia de grupos de variables que tienden a variar de manera conjunta, que podrían representar dimensiones funcionales de la marcha, y que describimos brevemente a continuación.

El grupo formado por la *flexión mínima de la cadera* (V7 izquierda y derecha) y la *inclinación pélvica media* (V4 izquierda y derecha), que representaría el funcionamiento sagital del sistema «lumbopélvico femoral».

El grupo *velocidad normalizada de la marcha* (V2) y la *cadencia de pisada* (V3) se asocia con fuerza, siendo destacable cómo se relacionan esas variables con el *rango de flexión de la rodilla* (V13); el valor funcional del grupo de variables espaciotemporales podría interpretarse como de «control propositivo de la marcha» y su asociación con V13 (izquierda y derecha) indica que el sistema nervioso podría valerse de forma primaria de modificaciones de este parámetro para aumentar o disminuir la velocidad y cadencia de la marcha.

El grupo de variables *dorsiflexión máxima en la fase de apoyo* (V14), *en la fase oscilante* (V15) y la *flexión de la rodilla en el apoyo* (V11) del mismo lado se asocian en la dimensión funcional de control del ángulo del tobillo durante el taloneo. Esta asociación confirma las observaciones clínicas sobre la calidad del taloneo, que depende de la flexión de la rodilla en el contacto inicial, siendo más plantigrada la marcha cuanto mayor es la flexión de la rodilla.

El grupo que representa las distribuciones de tiempos dentro del ciclo —*porcentaje del ciclo en fase de apoyo* (V1) y *porcentaje de ciclo hasta la flexión máxima de la rodilla* (V12)— y el grupo de variables angulares de la articulación de la cadera —*el rango de flexión de la cadera* (V8) y la *rotación media de la cadera* (V10)— se asocian con fuerza. En lo que respecta al primer grupo, el valor de V1 es, durante el ciclo de marcha, la mayor contribución del valor de V12, pero para que la marcha sea normal ha de darse la condición de que estos valores nunca pueden ser iguales. Si se altera el valor normal de su diferencia, la consecuencia es un tiempo de apoyo demasiado largo, o una extensión insuficiente al final del ciclo. V8 y V10 deben estar asociados para regular la dirección y estabilidad mediolateral de la extremidad en la marcha. La asociación de los 2 grupos indica la existencia de un mecanismo regulador común.

La mayoría de las variables están asociadas con su correspondiente variable contralateral (p. ej., L4 con R4), pero existen relaciones entre variables que incumplen esta norma como por ejemplo, la existente entre la *abducción máxima*

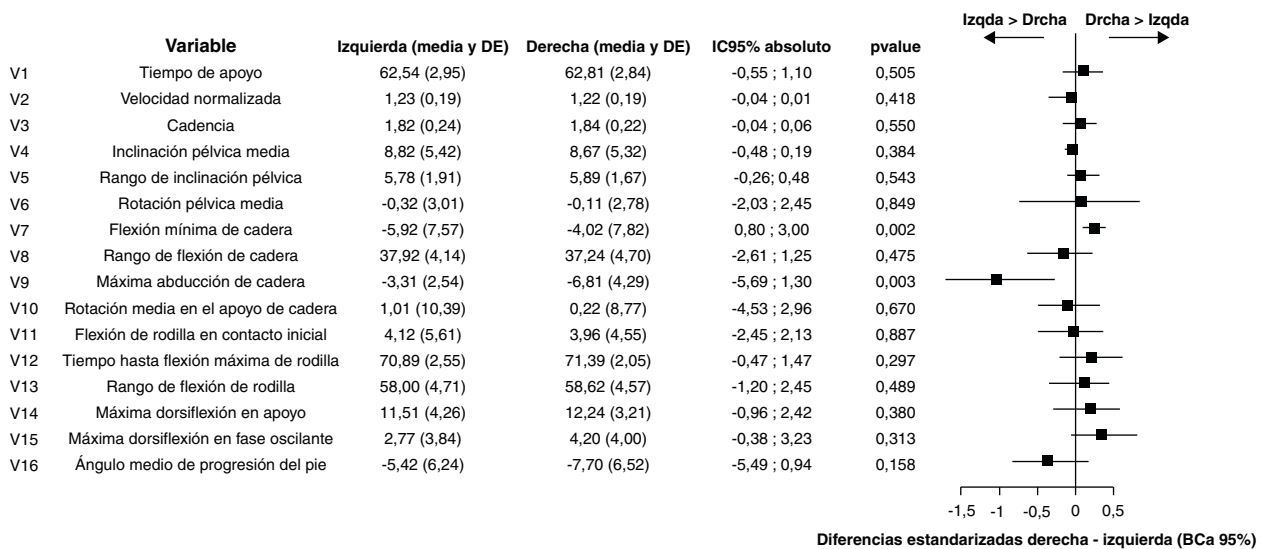


Figura 2 Forest plot de las diferencias derechas-izquierdas. En la tabla de la izquierda, se muestran la media y la desviación estándar para los valores izquierdos y para los valores derechos. El IC del 95% absoluto hace referencia al intervalo de confianza para el 95% de la diferencia absoluta de los valores derechos menos los valores izquierdos. El valor p hace referencia a la significación estadística del test t de Student para valores pareados. Obsérvense diferencias estadísticamente significativas para la flexión mínima de la cadera y la máxima abducción de la cadera. En el Forest plot, se muestran la media (cuadrado) y el intervalo de confianza para el 95% obtenido por bootstrap de la diferencia estandarizada para valores pareados de la diferencia derecha e izquierda.

de la cadera (V9) de un lado con la *rotación pélvica media* (V6) del lado contrario. Esta asociación es también observable clínicamente durante la marcha.

El dendrograma lateral de la [figura 3](#) agrupa a niños con perfiles de marcha similares. Los perfiles son más similares cuanto más hacia la derecha está el nodo que los une. Aunque existe cierta jerarquización en los datos y es difícil realizar una interpretación en grupo tan claros como se ha realizado para las variables de marcha, se muestran indicios de heterogeneidad en los perfiles de marcha infantil dependiente de la desviación de la normalidad de los valores de los parámetros en los grupos funcionales descritos anteriormente. Por ejemplo, el grupo de niños 10, 6, 4, 11, 17 y 18, se caracterizan por que los valores de los parámetros de la dimensión sagital lumbopélvica se mantienen entre -1 y -3 desviaciones estándar de la media. O los niños 25, 9 y 16, se caracterizan porque los valores de los parámetros V11, V14 y V15 de la dimensión que controla el ángulo del tobillo en el taloneo oscilan entre 0 y $+3$ desviaciones estándar de la media.

Discusión

Validez de la muestra y de la técnica

Presentamos una muestra de 27 niños seleccionados con criterios de inclusión y exclusión estrictos y expresos a priori (véase métodos), incluyéndose un rango de edad muy concreto y representativo de una época evolutiva concreta en el desarrollo de la marcha infantil^{21,22}. El efecto de esta estrategia de selección de la muestra se manifiesta en el 6,7% (2 de 30 niños) de exclusiones de la muestra inicial por presentar algún criterio de exclusión.

En cuanto a la validez de la medida, los ciclos de marcha han sido seleccionados con criterios expresos y previos a la realización del experimento y se ha utilizado la media de 5 ciclos para intentar controlar la variabilidad intrínseca de la marcha. También se establecieron criterios de control para evitar errores en el posicionamiento de los marcadores. El efecto de ese control se ha manifestado en la exclusión del 3,3% (1 de 30 niños) de la muestra inicial.

Como limitación, cabe citar que el tamaño muestral del estudio es reducido aunque similar a estudios publicados^{6,9,12}. Respecto de este punto, queremos destacar que, a pesar de una muestra pequeña, hemos aportado medidas de efecto que permitirán futuras aproximaciones metanalíticas¹⁹ y que esto no ha impedido obtener diferencias significativas e intervalos de confianza estrechos en las comparaciones de algunos parámetros, aun aplicando las correcciones estadísticas pertinentes. Este estudio asume que sus resultados constituyen una primera aproximación exploratoria que aporta una base inicial sólida para futuros estudios con muestras mayores que provean un conocimiento más detallado del efecto de la edad y el sexo en las muestras de referencia.

Validez de las medidas

Los 16 parámetros cinemáticos adoptados de Schutte et al.⁶ están sujetas a limitaciones ya que ni su popularidad ni el método empleado para su selección aseguran que sean representativas ni de todo el ciclo de marcha ni de la realidad propia de cada laboratorio o de cada tipo de muestra de referencia^{7,8,23}. Sin embargo, las hemos asumido como tales por las siguientes razones: a) son variables de relevancia clínica y de uso frecuente en el AIM; b) su número no es excesivo y permite comparaciones múltiples univariantes

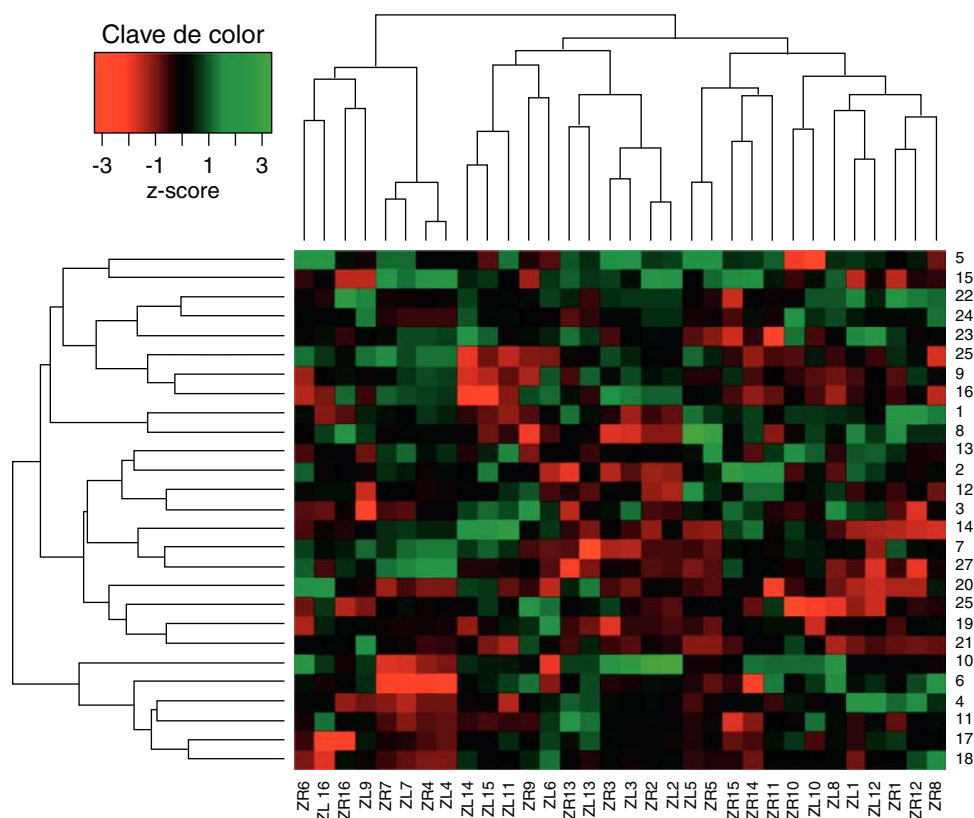


Figura 3 Heatmap donde se representa de manera multivariante la muestra de normalidad de 27 sujetos. En la parte superior, se representa el dendrograma de las variables cuyo código precedido por una Z (indicando que es un z-score) se encuentra en la parte inferior. En la parte izquierda, se representa el dendrograma de los sujetos cuyo código numérico aleatorio se representa en la parte derecha. Tanto las variables como los sujetos se representan ordenados según el resultado de la clasificación jerárquica. Cada bloque de color representa el valor de una variable concreta para un sujeto determinado a través de una escala que se representa en la clave de color de la esquina superior izquierda.

con un nivel de significación que permita detectar efectos moderados; c) son variables seleccionadas con un criterio estadístico fundamentado, y d) existen muestras publicadas que permiten comparaciones entre laboratorios.

Discusión de la asimetría izquierda-derecha en las variables de marcha

En nuestra muestra de referencia hemos detectado las variables con diferencias estadísticamente significativas izquierda-derecha (V7 y V9), otras con una diferencia que tienden a la significación (V15 y V16) y varias con intervalos de confianza estrechos alrededor del cero (V3 y V4). Conviene recordar que lo que se está midiendo es asimetría y no lateralidad (todos los niños eran diestros según anamnesis y exploración).

La mayor parte de los trabajos publicados en población de edad escolar solo hablan de diferencias entre los parámetros espaciotemporales. Wheelwright et al.²⁵ estudiaron la simetría de la longitud de la pisada, del tiempo de la fase oscilante, del tiempo de apoyo bipodal y de la velocidad máxima de cada pie y demostraron diferencias importantes

en el apoyo bipodal. No observaron relaciones de las asimetrías con la edad, el sexo, la altura o la longitud de pierna. Lythgo et al.²⁶ estudiaron la simetría de la longitud del paso y de la pisada y el tiempo de pisada, el tiempo de apoyo monopodal y el tiempo de apoyo bipodal demostrando diferencias pequeñas que no se relacionan con la edad.

Se han definido dos cuerpos de hipótesis para explicar asimetrías¹⁶: según el primero, la asimetría es local y expresa adaptaciones musculares secundarias a la lateralidad o a sutiles diferencias osteoarticulares, y según el segundo, es global, y expresa la presencia de 2 programas motores distintos aunque coordinados. Nuestros resultados no apoyan definitivamente ninguno de los 2. Sin embargo, es notable que los parámetros más asimétricos de nuestra muestra, V7 y V9 son valores puntuales y extremos en el ciclo de marcha, lo que apoya la hipótesis local. Lo mismo ocurre con V15. Además la tendencia a la simetría en los parámetros V1 a V5, que expresan medias o rangos de movimiento en el ciclo de marcha, también la apoya, aunque son menos sensibles para detectar asimetrías¹⁶. La fuerte tendencia a la asimetría de V16, que es una media de movimiento en el ciclo, por otro lado, es más compatible con la segunda hipótesis.

A pesar de las dificultades en la interpretación neurobiológica de resultados es necesario evaluar la presencia de asimetrías en los valores izquierdos y derechos de marcha antes de asumir que se pueden promediar. Nuestro estudio supone una aportación más a esta afirmación y debería tenerse en cuenta a la hora de elaborar programas terapéuticos.

«Heatmap» como herramienta descriptiva de muestras de referencia

Este estudio utiliza la representación tipo «heatmap» para expresar la descripción multivariante de nuestra muestra. Es una herramienta consolidada en otras disciplinas²⁴ y permite valorar en una gráfica sencilla la relación de variables y del agrupamiento de sujetos.

El dendrograma superior de nuestra figura 3 aporta información clave para comprender el significado fisiológico de los parámetros. Los grupos de variables pueden representar dimensiones funcionales dentro de la marcha normal y deberían interpretarse de manera conjunta tanto en AIM de sujetos normales como de pacientes.

El dendrograma de casos (izquierda) nos insinúa que existen perfiles de marcha determinados en la población infantil, aunque no sea posible definirlos claramente utilizando esta técnica.

La principal limitación del análisis jerárquico de agrupamiento es su carácter puramente descriptivo o exploratorio. Por lo tanto, los resultados mostrados deben completarse con el empleo de otras técnicas que permitan demostrar sólidamente lo que se intuye con el análisis jerárquico.

Aplicabilidad de los resultados

El AIM es una tecnología con utilidad creciente en las patologías neurológicas. Estudios descriptivos de las muestras de referencia son importantes para conocer la fisiología del fenómeno que estudiamos. La metodología presentada en este artículo puede ser útil para estudiar la marcha de diferentes afecciones y puede mejorar el conocimiento de la fisiopatología en cada condición. El mayor conocimiento de la fisiología de la marcha normal y de la fisiopatología de la marcha en condiciones de enfermedad permitirá ampliar la utilidad del AIM hacia la personalización de los abordajes terapéuticos y hacia posibilidades de diagnóstico precoz al mejorar la descripción del curso evolutivo de las enfermedades³.

Financiación

Agencia de Evaluación de Tecnologías Sanitarias (PI05/90123) y Escuela de Fisioterapia de la ONCE-UAM.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Agradecimientos

A los voluntarios y a sus familias.

Bibliografía

1. Perry J. Gait analysis: normal and pathological function. Thorofare: SLACK; 1992.
2. Gage JR. The treatment of gait problems in cerebral palsy. London: Mac Keith. Distributed by Cambridge University Press; 2004.
3. Wren TA, Gorton 3rd GE, Ounpuu S, Tucker CA. Efficacy of clinical gait analysis: A systematic review. *Gait Posture*. 2011;34:149–53.
4. Barthelemy D, Grey MJ, Nielsen JB, Bouyer L. Involvement of the corticospinal tract in the control of human gait. *Prog Brain Res*. 2011;192:181–97.
5. Lai DT, Begg RK, Palaniswami M. Computational intelligence in gait research: a perspective on current applications and future challenges. *IEEE Trans Inf Technol Biomed*. 2009;13:687–702.
6. Schutte LM, Narayanan U, Stout JL, Selber P, Gage JR, Schwartz MH. An index for quantifying deviations from normal gait. *Gait Posture*. 2000;11:25–31.
7. Tulchin K, Campbell S, Browne R, Orendurff M. Effect of sample size and reduced number of principle components on the Gillette Gait Index. *Gait Posture*. 2009;29:526–9.
8. McMulkin ML, MacWilliams BA. Intersite variations of the Gillette Gait Index. *Gait Posture*. 2008;28:483–7.
9. Romei M, Galli M, Motta F, Schwartz M, Crivellini M. Use of the normalcy index for the evaluation of gait pathology. *Gait Posture*. 2004;19:85–90.
10. Wren TA, Do KP, Hara R, Dorey FJ, Kay RM, Otsuka NY. Gillette Gait Index as a gait analysis summary measure: comparison with qualitative visual assessments of overall gait. *J Pediatr Orthop*. 2007;27:765–8.
11. Gordon AB, Baird GO, McMulkin ML, Caskey PM, Ferguson RL. Gait analysis outcomes of percutaneous medial hamstring tenotomies in children with cerebral palsy. *J Pediatr Orthop*. 2008;28:324–9.
12. Assi A, Ghanem I, Lavaste F, Skalli W. Gait analysis in children and uncertainty assessment for Davis protocol and Gillette Gait Index. *Gait Posture*. 2009;30:22–6.
13. Cretual A, Bervet K, Ballaz L. Gillette Gait Index in adults. *Gait Posture*. 2010;32:307–10.
14. Syczewska M, Dembowska-Baginska B, Perek-Polnik M, Kalinowska M, Perek D. Gait pathology assessed with Gillette Gait Index in patients after CNS tumour treatment. *Gait Posture*. 2010;32:358–62.
15. Dreher T, Wolf S, Braatz F, Patikas D, Doderlein L. Internal rotation gait in spastic diplegia –critical considerations for the femoral derotation osteotomy. *Gait Posture*. 2007;26:25–31.
16. Sadeghi H, Allard P, Prince F, Labelle H. Symmetry and limb dominance in able-bodied gait: a review. *Gait Posture*. 2000;12:34–45.
17. Herring JA, Tachdjian MO. Texas Scottish Rite Hospital for Children. Tachdjian's pediatric orthopaedics. 4th ed. Philadelphia: Saunders/Elsevier; 2008.
18. Abdi H. Bonferroni test. En: Salkind N, editor. *Encyclopedia of measurement and statistics*. Thousand Oaks: Sage; 2007. p. 103–7.
19. Nakagawa S, Cuthill IC. Effect size, confidence interval and statistical significance: a practical guide for biologists. *Biol Rev Camb Philos Soc*. 2007;82:591–605.
20. Efron B, Tibshirani R. An introduction to the bootstrap. New York: Chapman & Hall; 1993.

21. Hillman SJ, Stansfield BW, Richardson AM, Robb JE. Development of temporal and distance parameters of gait in normal children. *Gait Posture*. 2009;29:81–5.
22. Holm I, Tveter AT, Fredriksen PM, Vollestad N. A normative sample of gait and hopping on one leg parameters in children 7-12 years of age. *Gait Posture*. 2009;29:317–21.
23. Schwartz MH, Rozumalski A. The Gait Deviation Index: a new comprehensive index of gait pathology. *Gait Posture*. 2008;28:351–7.
24. Bergkvist A, Rusnakova V, Sindelka R, Garda JM, Sjogreen B, Lindh D, et al. Gene expression profiling –Clusters of possibilities. *Methods*. 2010;50:323–35.
25. Wheelwright EF, Minns RA, Law HT, Elton RA. Temporal and spatial parameters of gait in children. I: Normal control data. *Dev Med Child Neurol*. 1993; 35:102–13.
26. Lythgo N, Wilson C, Galea M. Basic gait and symmetry measures for primary school-aged children and young adults whilst walking barefoot and with shoes. *Gait Posture*. 2009; 30:502–6.