



ORIGINAL

Reproducibilidad de las variables temporales y cinéticas del análisis computarizado de la marcha en sujetos normales

F. Valencia^a, J. Lema^b, J. Plata^c y A. Uribe^{d,*}

^a Fisioterapeuta, Fundación Universitaria María Cano, Medellín, Colombia

^b Ingeniero, Fundación Universitaria María Cano, Medellín, Colombia

^c Fisiatra, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

^d Ortopedista Infantil, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

Recibido el 17 de septiembre de 2011; aceptado el 10 de octubre de 2011

Disponible en Internet el 26 de noviembre de 2011

PALABRAS CLAVE

Marcha;
Cinemática;
Índice de la marcha
del Gillette;
Índice de desviación
de la marcha

Resumen El laboratorio de análisis de movimiento se ha convertido en el estándar para el análisis del paciente con trastornos de la marcha.

El propósito de este estudio fue evaluar la variabilidad entre pruebas, de los parámetros temporales y cinemáticos que componen el índice de la marcha de Gillette (*Gillette gait index* [GGI]) y el índice de desviación de la marcha (*Gait deviation index* [GDI]) en pacientes normales, además de si el GDI es consistente en las diferentes mediciones para analizar la marcha en pacientes sin alteración.

Materiales y métodos: Para evaluar nuestra hipótesis se tomó una muestra por conveniencia de 20 individuos sanos, a cada individuo se le realizaron dos estudios de análisis de marcha, con un intervalo de dos semanas entre cada estudio. Para evaluar la reproducibilidad de las pruebas se utilizó el coeficiente de correlación intraclase (CCI).

Resultados: Se encontró una buena concordancia en la mayoría de las variables utilizadas excepto en los parámetros transversos en cadera y sagitales en tobillo en donde el CCI fue de 0,49 y 0,53.

Conclusión: En conclusión, encontramos que la realización del análisis de marcha mediante el laboratorio de análisis de movimiento presenta una buena reproducibilidad y concordancia entre pruebas realizadas en diferentes días en pacientes normales, lo que nos permite recomendarlo como un método confiable para evaluar de manera objetiva alteraciones de la marcha.

© 2011 Asociación Española de Fisioterapeutas. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: alejandrouriberios@une.net.co (A. Uribe).

KEYWORDS

Gait;
Kinematics;
Gillette gait index;
Gait deviation index

Reproductability of the temporal and kinetic variables of the computerized analysis of gait in normal subjects

Abstract The movement analysis laboratory has become the standard to analyze gait disorders of the patient.

This study has aimed to evaluate the intra-test variability of the spatiotemporal and kinematic parameters that make up the Gillette gait index (GGI) and the Gait deviation index (GDI) in normal patients. We have also investigated the consistency of the GDI in different measurements to analyze gait in normal patients.

Materials and methods: A sample of 20 healthy subjects was used to evaluate our hypothesis. Each subject underwent two gait analysis with an interval of two weeks between each analysis. The intraclass correlation coefficient (ICC) was used to evaluate the reproducibility of the tests.

Results: Good agreement was found in most of the variables used with the exception of the transverse parameters for the hip and sagittal parameters for the ankle in which the ICC was 0.49 and 0.53, respectively.

Conclusion: In conclusion, we found that the gait analysis procedure carried out using the motion analysis laboratory has good reproducibility and agreement among tests conducted on different days in normal subjects. This allows us to recommend this procedure as a reliable method to objectively evaluate gait alterations.

© 2011 Asociación Española de Fisioterapeutas. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

Introducción

El laboratorio de análisis de movimiento se ha convertido en el estándar para el análisis de paciente con trastornos de la marcha¹⁻⁴.

En un mismo individuo existe una variabilidad normal entre las variables cinéticas y cinemáticas de la marcha, que depende de los factores como la edad, el peso, la velocidad, los cambios en el estado de ánimo del individuo y las condiciones medioambientales, entre otros^{5,6}. Múltiples estudios han reportado que la variabilidad posiblemente sea explicada también por errores propios de la realización del examen; entre las causas de error están: la colocación de los marcadores en las referencias anatómicas, el movimiento del marcador y cambios en la medición de los segmentos corporales. Además, se ha cuestionado si la medición de la marcha de un individuo en un ambiente controlado es representativa de sus movimientos, gestos y comportamientos en la vida diaria⁷⁻⁹.

En los últimos años se han propuesto índices como el índice de desviación de la marcha (*Gait deviation index* [GDI]) y el índice de la marcha de Gillete (*Gillete gait index* [GGI]) para evaluar las desviaciones de la marcha; estos índices han sido validados en pacientes con parálisis cerebral (PCI)¹⁰⁻¹³ y se ha utilizado para analizar otras enfermedades en niños y adultos^{12,13}. Al igual que otros autores consideramos que los parámetros temporales y cinemáticos utilizados en el GDI y el GGI son relevantes para el análisis de cualquier paciente con alteración de la marcha pues incluye las variables que con mayor frecuencia se evalúan para el análisis de la desviación del patrón de marcha^{8,10-13}.

El propósito de este estudio fue evaluar la variabilidad entre pruebas de los parámetros temporales y cinemáticos que componen el GGI y el GDI en pacientes normales, utilizando el protocolo de Davis, además de evaluar si el GDI

es consistente en las diferentes mediciones para analizar la marcha en pacientes normales¹⁴⁻¹⁶.

Materiales y métodos

El propósito de este estudio fue evaluar la variabilidad entre pruebas de los parámetros temporales y cinemáticos que componen el GGI en sujetos normales, se eligieron estas variables por ser las que con mayor frecuencia se reportan en la literatura para evaluar la reproducibilidad de los estudios de análisis del movimiento permitiéndonos comparar nuestros resultados con la literatura internacional^{18,9,14,17-19}. Además, se evaluó si el GDI^{10,20} es consistente en las diferentes evaluaciones para medir la marcha en sujetos normales.

Para evaluar nuestra hipótesis se tomó una muestra por conveniencia de 20 individuos sanos (10 varones y 10 mujeres) mayores de 18 años, sin antecedentes de enfermedades ortopédicas o neurológicas que afecten a sus extremidades inferiores y la capacidad para caminar o realizar desplazamientos.

A cada individuo se le realizaron dos estudios de análisis de marcha, con un intervalo de dos semanas entre cada estudio; se les aplicó el protocolo Davis para la marcha, con un equipo SMART-D/BTS con 6 cámaras optoelectrónicas, tres cámaras vixta de vídeo convencional y dos plataformas de fuerza. A cada individuo se le realizaron 15 pruebas con el fin de obtener los datos requeridos para el estudio. Se realizaron este número de pruebas considerando reportes previos que encontraron que el registro de más de 10 ciclos aumenta la confiabilidad del examen²¹.

Se analizaron las variables temporales y cinemáticas que componen el GGI y GDI para observar cuales variables tienen mayor cambio; las medidas de tendencia central se informan en medias y si respectiva desviación estándar. Finalmente para evaluar la reproducibilidad de las pruebas se

Tabla 1 Promedio de los parámetros temporales y cinemáticos

Sexo (H/M)	10/10
Edad ($\pm$ SD)	23,45 ($\pm$ 3,06)
% despegue del pie ($\pm$ SD)	61,77 ($\pm$ 2,87)
Velocidad m/s ($\pm$ SD)	1,23 ($\pm$ 0,16)
Cadencia ($\pm$ SD)	1,79 ($\pm$ 0,15)
Inclinación pélvica media en grados ($\pm$ SD)	10,7 ($\pm$ 7,26)
Rango de inclinación pélvica en grados ($\pm$ SD)	3,01 ($\pm$ 1,01)
Rotación pélvica media en grados ($\pm$ SD)	0,061 ($\pm$ 3,12)
Flexión mínima de cadera en grados ($\pm$ SD)	-2,88 ($\pm$ 11,46)
Rango total de flexo extensión de cadera ($\pm$ SD)	42,59 ($\pm$ 4,62)
Abducción pico en balanceo en grados ($\pm$ SD)	-13,44 ($\pm$ 3,50)
Rotación media de cadera en apoyo ($\pm$ SD)	5,86 ($\pm$ 7,30)
Flexión de rodilla en el contacto inicial en grados ($\pm$ SD)	12,29 ($\pm$ 7,73)
Porcentaje del tiempo pico de la flexión de rodilla ($\pm$ SD)	72,54 ($\pm$ 1,72)
Rango total de flexo extensión de rodilla ($\pm$ SD)	58,64 ($\pm$ 6,33)
Pico de dorsiflexión de tobillo en apoyo ($\pm$ SD)	5,07 ($\pm$ 4,23)
Pico de dorsiflexión de tobillo en balanceo ($\pm$ SD)	14,56 ($\pm$ 4,01)
Ángulo medio de progresión del pie en apoyo ($\pm$ SD)	-9,33 ($\pm$ 5,82)

analizaron las mismas variables entre las diferentes pruebas por medio del coeficiente de correlación intraclase (CCI), el cual se define como la proporción de la variabilidad total que se debe a la variabilidad de los sujetos y proporciona información acerca de la magnitud de esta concordancia, con su respectivo intervalo de confianza (IC del 95%). Los resultados del CCI se encuentran entre 0 y 1, los valores que se acercan a la unidad significan que los resultados del análisis son concordantes²²⁻²⁵.

Resultados

Índice de desviación de la marcha

El promedio del GDI en la población fue de 100,04 ($\pm$ 9,34). La concordancia entre las diferentes pruebas evaluadas mediante el CCI fue de 0,909 (IC del 95%: 0,862-0,941).

Variables cinemáticas y temporales

En la **tabla 1** se reportan los valores promedio de la medición de las diferentes variables y su respectiva desviación estándar. Es importante recordar que la pelvis se toma como una

Tabla 2 Coeficiente de correlación intraclase entre pruebas

Coeficiente de correlación intraclase entre pruebas	CCI (IC del 95%)
% despegue del pie	0,82 (0,65-0,90)
Velocidad m/s	0,94 (0,88-0,97)
Cadencia	0,96 (0,92-0,98)
Inclinación pélvica media en grados	0,87 (0,76-0,93)
Rango de inclinación pélvica en grados	0,88 (0,77-0,93)
Rotación pélvica media en grados	0,66 (0,35-0,82)
Flexión mínima de cadera en grados	0,83 (0,67-0,91)
Rango total de flexo extensión de cadera	0,892 (0,795-0,94)
Abducción pico en balanceo en grados	0,714 (0,46-0,85)
Rotación media de cadera en apoyo	0,49 (0,042-0,73)
Flexión de rodilla en el contacto inicial en grados	0,54 (0,12-0,75)
Porcentaje del tiempo pico de la flexión de rodilla	0,79 (0,6-0,89)
Rango total de flexo extensión de rodilla	0,93 (0,87-0,96)
Pico de dorsiflexión de tobillo en apoyo	0,63 (0,3-0,8)
Pico de dorsiflexión de tobillo en balanceo	0,53 (0,11-0,75)
Ángulo medio de progresión del pie en apoyo	0,89 (0,78-0,94)

unidad y en los parámetros de la cadera, la rodilla y el pie cada extremidad se analiza como un segmento aparte.

Variabilidad interpruebas

Se midieron un total de 16 variables incluidas en el GGI y se evaluó la variación de la medición de un individuo en dos ocasiones mediante el CCI. En la **tabla 2** se encuentra el valor del CCI de las diferentes variables.

Se encontró mayor variabilidad en la medición de la rotación media de la cadera en apoyo (CCI: 0,49). En los resultados se observa mayor variabilidad en los parámetros sagitales observando que en la cadera y rodilla hay mayor variabilidad en los parámetros que se evalúan durante el apoyo y en tobillo los evaluados durante el balanceo.

Discusión

El estudio de la marcha busca discriminar entre características normales y las anormales de la misma. La medición repetida de las diferentes variables busca evaluar si las intervenciones terapéuticas (terapia física, cirugía, ortesis y otras) producen un cambio en la misma reduciendo el gasto energético del paciente^{1-4,26-29}. Conocer la magnitud del error de la medición repetida disminuye el riesgo de sobre interpretar las diferencias encontradas como significativas^{8,9,30,31}.

El laboratorio de análisis de movimiento (LAM) consiste en la medida sistemática de las características que componen la marcha humana. Mediante el análisis de los datos

obtenidos de los parámetros temporales, la cinemática, la cinética y la evaluación clínica estandarizada, se evalúan las alteraciones de la marcha de manera integral^{3,4,32}.

En el momento, su principal aplicación se realiza en análisis de trastornos de la marcha secundarios a trastornos neuromusculares, especialmente la parálisis cerebral infantil, pero también ha sido útil en evaluar otro tipo de condiciones como son pacientes amputados, pacientes con alteraciones angulares y rotacionales, en evaluación del gesto deportivo en deportistas de alto rendimiento y en general, cualquier paciente en el que se quiera analizar de manera detallada el movimiento^{3,4,28,29,33-35}.

El uso del análisis de la marcha para aumentar la sensibilidad en la detección de las alteraciones de la marcha de un paciente, tiene tres objetivos específicos: en primer lugar identificar variaciones significativas del patrón de marcha, se puede definir si estas alteraciones son explicadas de una enfermedad primaria o son mecanismos compensatorios, y en tercer lugar permite decidir si estas variaciones requieren algún tipo de tratamiento^{1,3,4,10,30}.

Por lo anterior es fundamental disminuir y/o controlar los errores sistemáticos secundarios a la realización del examen, por lo que es necesario detectar las causas del error^{9,36-40}.

Esta investigación se centró en la variación de los parámetros entre estudios realizados con dos semanas de diferencia, pues esto refleja la reproducibilidad intrínseca del estudio en dos momentos diferentes^{7,9,14,41}. Además, se realizó un análisis de las variables que presentaban mayor variación con el fin de detectar posibles causas de error con el fin de optimizar hacia el futuro la realización del examen.

La reproducibilidad del estudio tiene múltiples causas de error como son: errores intrínsecos del sistema, colocación de los marcadores, movimientos de los marcadores en la piel, cambios de la marcha del individuo en las diferentes sesiones entre otros, no es posible aislar cada una de estas causas, por lo que al realizar un análisis global es posible detectar las zonas con mayor diferencia en la evaluación^{8,9,17,36,37,39,42,43}.

Los resultados de este trabajo son similares a los reportados en la literatura encontrando mayor variación en los parámetros transversos de cadera y rodilla y en los sagitales en tobillo^{8,14,16,17,38}. (tablas 2 y 3). Diferentes autores atribuyen los cambios en la cadera a la dificultad de la localización del marcador en el trocánter mayor que afecta estos parámetros, como estrategias para mejorar esto se plantea la utilización de dispositivos mecánicos que ayudan en la localización de los marcadores, la estandarización de protocolos de colocación los mismos y que el examen sea realizado por personal con experiencia^{8,17,39,41-45}. En cuanto al tobillo y pie se recomienda la utilización de dispositivos de alineación que colaboren con la triangulación de los marcadores^{46,47}.

La medición de las diferencias entre las pruebas nos permite evaluar que tipo de errores metodológicos se presentan durante la realización del estudio y de esta manera planear estrategias encaminadas a mejorar los protocolos para la realización del estudio y aumentar la objetividad del mismo^{8,42,46}.

A pesar de la variación en estos valores, tal y como se observa en la tabla 2, la mayoría de los parámetros analizados tienen un buen coeficiente de correlación intra-clase, lo que nos muestra como el laboratorio de análisis de

Tabla 3 Comparación de los parámetros con la literatura internacional

Parámetro	Estudio LAM-FUMC	Assi et al. ¹⁴	Romei et al. ¹⁸	Schutte et al. ¹⁹
Despegue del pie (%) (± SD)	61,77 (± 2,87)	58,09 (± 1,83)	58,36 (± 1,96)	61,87 (± 2,67)
Velocidad (m/s) (± SD)	1,23 (± 0,16)	1,52 (± 0,30)	1,63 (± 0,13)	1,43 (± 0,21)
Cadencia (Paso/s) (± SD)	1,79 (± 0,15)	1,88 (+/- 0,23)	1,91 (± 0,31)	1,94 (± 0,11)
Inclinación pélvica media (grados) (± SD)	10,7 (± 7,26)	8,10 (± 4,00)	9,43 (± 5,20)	9,26 (± 4,26)
Rango de inclinación pélvica (grados) (± SD)	3,01 (± 1,01)	3,2 (± 1,60)	3,81 (± 1,25)	3,57 (± 1,60)
Rotación pélvica media (grados) (± SD)	0,061 (± 3,12)	-0,04 (± 2,52)	-0,78 (± 3,19)	0,15 (± 2,51)
Flexión mínima de cadera (grados) (± SD)	-2,88 (± 11,46)	-5,10 (± 6,50)	-6,59 (± 6,00)	-11,14 (± 6,75)
Rango total de flexo extensión de cadera (grados) (± SD)	42,59 (± 4,62)	43,30 (± 4,5)	38,98 (± 4,24)	45,00 (± 5,15)
Abducción pico de flexo extensión de cadera (grados) (± SD)	-13,44 (± 3,50)	-8,00 (± 3,50)	-0,16 (± 3,53)	-0,30 (± 3,27)
Rotación media de cadera en apoyo (grados) (± SD)	5,86 (± 7,30)	31,90 (± 14,00)	2,03 (± 8,98)	10,91 (± 7,33)
Flexión de rodilla en el contacto inicial (grados) (± SD)	12,29 (± 7,73)	8,50 (± 6,50)	6,24 (± 4,54)	6,83 (± 4,69)
Porcentaje del tiempo pico de la flexión de rodilla (%) (± SD)	72,54 (± 1,72)	71,70 (± 2,30)	70,06 (± 1,85)	71,40 (± 2,70)
Rango total de flexo extensión de rodilla (grados) (± SD)	58,64 (± 6,33)	53,60 (± 8,00)	56,34 (± 4,60)	54,44 (± 10,59)
Pico de dorsiflexión de tobillo en apoyo (grados) (± SD)	5,07 (± 4,23)	17,00 (± 6,80)	11,68 (± 3,76)	13,31 (± 6,45)
Pico de dorsiflexión de tobillo en balanceo (grados) (± SD)	14,56 (± 4,01)	9,00 (± 5,60)	3,82 (± 4,08)	3,21 (± 4,88)
Ángulo medio de progresión del pie en apoyo (grados) (± SD)	-9,33 (± 5,82)	-8,40 (± 6,70)	-11,26 (± 6,50)	-9,76 (± 6,46)

movimiento, presenta valores consistentes en evaluaciones repetidas, lo que lo hace útil para evaluar los cambios de la marcha de un individuo a lo largo del tiempo y además, permite evaluar los cambios que se presentan después de alguna intervención ortésica, farmacológica o quirúrgica⁴⁸.

El GDI es una herramienta que ha mostrado utilidad y fácil utilización en el análisis de la marcha en pacientes con parálisis cerebral, aunque este índice no se ha validado en adultos, los parámetros que considera son los que con mayor frecuencia se evalúan para definir alteraciones de la marcha^{10-12,14}.

El objetivo del presente trabajo no fue evaluar cual es el valor del GDI para pacientes normales, pues esto requiere de un estudio de mayor magnitud, pero es importante anotar que se encontró que estos índices son consistentes en las diferentes evaluaciones, lo que nos indica que los índices son útiles para el seguimiento de los pacientes. Es necesario realizar más investigaciones para definir con mayor certeza la utilidad de este índice en adultos y en afecciones diferentes a la parálisis cerebral infantil¹¹⁻¹³.

En conclusión, encontramos que la realización del análisis de la marcha mediante el laboratorio de análisis de movimiento presenta una buena reproducibilidad y concordancia entre pruebas realizadas en diferentes días a pacientes normales, lo que nos permite recomendarlo como un método fiable para evaluar de manera objetiva las alteraciones de la marcha.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

- Schwartz M, Viehweger S, Novacheck J, Gage J. Comprehensive treatment of ambulatory children with cerebral palsy: an outcome assessment. *Journal of Pediatric Orthopaedics*. 2004;24:45-53.
- Gitiérrez E, Bartonek A, Haglund A, Saraste H. Kinetics of compensatory gait in persons with myelomeningocele. *Gait and Posture*. 2005;21:12-23.
- Gage J, DeLuca P, Renshaw T. Gait analysis: principle and applications with emphasis on its use in cerebral palsy. *Instruccional course lectures*. 1995;45:491-507.
- Chang F, Rhodes J, Flynn K, Carollo J. The Role of gait analysis in treating gait abnormalities in cerebral palsy. *Orthop Clin N Am*. 2010;41:489-506.
- Van der Liden M, Hazlewood M, Robb J. Kinematic and kinetic gait characteristics of normal children walking at range of clinically relevant speeds. *J Pediatric Orthop*. 2002;22:800-6.
- Desloovere K, Wong P, Swings L, Callewaert B, Vandenuecker H, Leardini A. Range of motion and repeatability of knee kinematics for 11 clinically relevant motor task. *Gait Posture*. 2010;32:597-602.
- Gorton G, Herbert D, Gannotti M. Assessment of the kinematic variability among 12 motion analysis laboratories. *Gait Posture*. 2009;29:398-402.
- McGinley J, Baker R, Wolfe R, Morris M. The reliability of three-dimensional kinematic gait measurements: a systematic review. *Gait Posture*. 2009;29:360-9.
- Schwartz MH, Trost JP, Wervey RA. Measurement and management of errors in quantitative gait data. *Gait Posture*. 2004;20:196-203.
- Schwartz MH, Rozumalski A. The gait deviation index: a new comprehensive index of gait pathology. *Gait Posture*. 2008;28:351-7.
- Cretual A, Bervet K, Ballaz L. Gillette gait index in adults. *Gait Posture*. 2010;32:307-10.
- Molloy M, Mc Dowell B, Kerr C, Cosgrove A. Further evidence of validity of the Gait deviation index. *Gait Posture*. 2010;31:479-82.
- Baker R, McGinley J, Schwartz M, Beynon A, Rozumalski A, Graham K, et al. The gait profile score and movement analysis profile. *Gait Posture*. 2009;30:265-9.
- 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.
- Cappozzo A, Croce D, Leardini A, Chiari L. Human movement analysis using stereophotogrammetry. Part 1: theoretical background. *Gait Posture*. 2005;21:186-96.
- Davis RB, Ounpuu S, Tyburski D, Gage JR. A gait analysis data collection and reduction technique. *Hum Movement Sci*. 1991;10:575-87.
- Kadaba MP, Ramakrishnan HK, Wootton ME, Gainey J, Gorton G, Cochran GVB. Repeatability of kinematic, kinetic, and electromyography data in normal adult gait. *J Orthop Res*. 1989; 849-60.
- Eve L, Mc Nee A, Shortland. Extrinsic and intrinsic variation in kinematic data from the gait of healthy adult subjects. *Gait Posture*. 2006;24:57-9.
- 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.
- 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.
- Monaghan K, Delahunt E, Caulfield B. Increasing the number of gait trial recordings maximises intra-rater reliability of the CODA motion analysis system. *Gait Posture*. 2007;25: 303-15.
- Hernández Aguado I, Porta Serra M, Miralles M, García Benavides F, Bolívar F. La cuantificación de la variabilidad en las observaciones clínicas. *Med Clin (Barc)*. 1990;95:424-9.
- Prieto L, Lamarca R, Casado A. La evaluación de la fiabilidad en las observaciones clínicas: el coeficiente de correlación intraclass. *Med Clin*. 1998;110:142-5.
- Greenland S. Variance estimation for epidemiologic effect estimates under misclassification. *Stat Med*. 1988;7:745-57.
- Steinwender G, Saraph V, Sheiber S, Zwick E, Hackl K. Intra-subject repeatability of gait analysis data in normal and spastic children. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2000;15:134-9.
- Yavuzer G, Oken O, Elhan A, Stam H. Repeatability of lower limb three-dimensional kinematics in patients with stroke. *Gait Posture*. 2008;27:31-5.
- Frasen M, Crosbie J, Edmonds J. Reliability of gait measurements in people with osteoarthritis of the knee. *Phys Ther*. 1997;77:944-53.
- Bell KJ, Ounpuu S, DeLuca PA, Romness MJ. Natural progression of gait in children with cerebral palsy. *Journal of Pediatric Orthopaedics*. 2002;22:677-82.
- Gough M, Eve LC, Robinson RO, Shortland AP. Short-term outcome of multilevel surgical intervention in spastic diplegic cerebral palsy compared with the natural history. *Developmental Medicine & Child Neurology*. 2004;46:91-7.
- Ounpuu S, Davis R, De Luca P. Joint kinetics: methods, interpretation and treatment decision making in children with cerebral palsy and myelomeningocele. *Gait and posture*. 1996;4: 62-78.
- Stolze H, Kuhtz-Burchbeck JP, Mondwurf C, Jöhnk K, Friege L. Retest reliability of spatiotemporal gait parameters in children and adults. *Gait Posture*. 1998;7:125-30.

32. Ounpuu M, Gage J, Davis B. Three dimensional lower extremity joint kinetics in normal pediatric gait. *Journal of Pediatric Orthop.* 1991;11:341–9.
33. Vrieling A, Keeken H, Schoppen T, Otten E, Halbertsma J, Hof A, et al. Gait termination in lower limb amputees. *Gait Posture.* 2008;27:82–90.
34. Newman C, Walsh M, O'Sullivan R, Jenkinson A, Bennet D, Lynch B, et al. The characteristics of gait in Charcot Marie Tooth disease types I and II. *Gait Posture.* 2007;26:120–7.
35. Higginson B. Methods of running gait analysis. *Curr Sports Med Rep.* 2009;8:136–41.
36. Chester V, Tingley M, Biden E. Comparison of two normative paediatric gait databases. *Dynamic Medicine.* 2007;6:1–8.
37. Maynard V, Bakheit A, Oldham J, Freeman J. Intra-rater and inter-rater reliability of gait measurements with CODA mpx30 motion analysis system. *Gait and Posture.* 2003;17:59–67.
38. Noehren B, Manal K, Davis I. Improving between-day kinematic reliability using a marker placement device. *J of Orthop Research.* 2010:1405–10.
39. McGinley J, Baker R, Wolfe R. Quantification of kinematic measurement variability in gait analysis. *Gait & Posture.* 2006;24S:55–7.
40. Chiari L, Della C, Leardini A, Carpozzo A. Human movement analysis using stereophotogrammetry. Part 2: instrumental errors. *Gait Posture.* 2005;21:197–211.
41. Maynard AM, Bakheit B, Oldman B, Freeman A. Intra-rater and inter-rater reliability of gait measurements with CODA mpx30 motion analysis system. *Gait and Posture.* 2003;17:59–67.
42. Della C, Leardini A, Chiari L, Carpozzo A. Human movement analysis using stereophotogrammetry. Part 4: assessment of anatomical landmark misplacement and its effects on joint kinematics. *Gait Posture.* 2005;21:226–37.
43. Della C, Leardini A, Chiari L, Carpozzo A. Human movement analysis using stereophotogrammetry. Part 3. Soft tissue artifact assessment and compensation. *Gait Posture.* 2005;21:212–25.
44. Charlton I, Tate P, Smyth, Roren L. Repeatability of an optimised lower body model. *Gait Posture.* 2004;20:213–21.
45. Leardy A, Sawacha Z, Paolini G, Ingrosso S, Nativo R, Benedetti M. A new anatomically based protocol for gait analysis in children. *Gait Posture.* 2007;26:560–71.
46. Besier T, Sturnieks D, Alderson J, Lloyd D. Repeatability of gait data using a functional hip joint centre and a mean helical knee axis. *J Biomech.* 2003;36:1159–68.
47. Reinbolt J, Schutte J, Fregly B, Koh B, Haftka R, George A, et al. Determination of patient-specific multi-joint kinematic models through two-level optimization. *J Biomech.* 2005;38:621–6.
48. Thomason P, Baker R, Dodd K, Taylor N, Selber O, Wolfe R, et al. Single-event multilevel surgery in children with spastic diplegia: a pilot randomized controlled trial. *J Bone Joint Surg Am.* 2011;93:451–60.