

Análisis de marcha 3D prequirúrgica en niños con espasticidad sometidos a rizotomía dorsal selectiva

S. Postigo Pozo⁽¹⁾, V.M. Smith Fernández⁽²⁾, M.J. Postigo Pozo⁽³⁾, V.E. Fernández Sánchez⁽³⁾, M.J. Núñez Castaín⁽³⁾, S. Pérez Da Rosa⁽⁴⁾, B. Ros López⁽⁴⁾, M. Prado Novoa⁽¹⁾,

*(1) Dpto. de Ingeniería Mecánica y Mecánica de Fluidos. Universidad de Málaga
spostigo@uma.es*

(2) Dpto. de Anatomía Humana y Medicina Legal. Universidad de Málaga

(3) Servicio de Neurofisiología Clínica. Hospital Regional Universitario Carlos Haya de Málaga

(4) Servicio de Neurocirugía Infantil. Hospital Materno Infantil de Málaga

Tras la incorporación por el Servicio de Neurocirugía Infantil del Hospital Materno Infantil de Málaga de la técnica de intervención quirúrgica denominada rizotomía dorsal selectiva, se ha iniciado la colaboración de un nuevo equipo multidisciplinar formado por neurocirujanos, neurofisiólogos, un anatomista y dos ingenieros, con el fin abordar la intervención con el mayor éxito posible. El equipo de ingenieros y anatomistas han introducido como prueba clínica en fase de pruebas, el análisis de la marcha humana para cada uno de los pacientes que se intervendrá a partir de esta técnica. El objetivo es aportar más información en fase de preoperatorio y poder establecer medidas objetivas postoperatorias que permitan medir la evolución de los pacientes. Este estudio presenta los primeros resultados de pasillo de marcha preoperatorios para los tres primeros pacientes. Se ha empleado un equipo de visión de Vicon con 6 cámaras de infrarrojos, dos plataformas de fuerza y un equipo de electromiografía de superficie dinámica. Se presentan la cinemática del movimiento en el plano sagital. Los resultados encontrados coinciden en gran medida con los datos encontrados en la bibliografía de otros grupos de investigación. Para registrar las magnitudes que no se han podido medir adecuadamente, es decir, la electromiografía y la fuerza de reacción de suelo, se sugieren estrategias que permitan corregir los principales problemas encontrados.

1. INTRODUCCIÓN

La parálisis cerebral es un trastorno que incide sobre la psicomotricidad del paciente que la sufre, impidiéndole desenvolverse en aspectos de la vida cotidiana de manera normalizada y estando en la mayoría de los casos acompañada adicionalmente de problemas sensitivos, cognitivos y de comunicación. La primera descripción de este trastorno data de la década de 1860, sin embargo, no es hasta la década de 1940, cuando algunos tratamientos quirúrgicos y médicos se reconocen como correctores del trastorno mejorando así la calidad de la vida de los niños que lo sufrían [1].

La clasificación de la parálisis cerebral no es sencilla, aunque se pueden realizar tres divisiones principales: espástica (80% de los casos), atetósica (15% de los casos) y atáxica (5% de los casos) [2]. Las personas espásticas, debido a una lesión de la corteza cerebral, manifiestan normalmente incapacidad psicomotriz en una o varias extremidades del cuerpo, dificultando esto a sus actividades diarias, como por ejemplo la marcha humana. La definición más habitual de la espasticidad es seguramente la establecida por Lance: desorden motor caracterizado por un incremento de los reflejos tónicos de estiramiento dependiente de la velocidad, con reflejos tendinosos exagerados, resultado de la hiperexcitabilidad del reflejo de estiramiento, como un componente del síndrome de neurona motora superior [3]. Más recientemente, considerando que esta definición está muy limitada en cuanto a los propósitos clínicos del tratamiento, el consorcio SPASM ha propuesto considerar la espasticidad como: desorden del control sensoriomotor, resultado de lesión de

neurona motora superior, que da lugar a una activación muscular involuntaria intermitente o sostenida [4]. La respuesta espástica de los músculos se caracteriza por oponerse desmesuradamente a un estiramiento del mismo. Esta oposición provoca en muchas ocasiones el bloqueo del miembro estirado, e incluso a veces, el reflejo que induce la flexión súbita del mismo [5]. La espasticidad se puede clasificar a su vez en función de la parte del cuerpo a la que afecta en: cuadriplejía (los cuatro miembros están afectados), diplejía (los cuatro miembros están afectados aunque más los inferiores), paraplejía (miembros inferiores afectados), hemiplejía (miembros de un lado del cuerpo afectados) y monoplejía (un miembro afectado) [6].

Actualmente existen diversas estrategias para combatir la espasticidad, las cuales se pueden diferenciar según atiendan a solventar el problema de una forma local, regional o más generalizada; de todas ellas destacan: el alargamiento muscular [7], inyecciones localizadas de toxina botulínica [8, 9] bomba de baclofeno intratecal [10] y rizotomía dorsal selectiva [11]. La técnica de la rizotomía dorsal, que consiste en la sección de algunas de las raíces nerviosas encargadas de transmitir la información a los músculos, fue realizada por primera vez por el Dr. Otfried Foerster [12], y debido a sus inconvenientes [5], fue modificada sucesivamente por Gros *et al.*, Fasano y Peacock [13-16] estableciéndose la técnica de rizotomía dorsal selectiva tal y como se conoce hoy en día donde se realiza una sección selectiva de aquellos filetes radiculares dorsales con respuesta patológica y no de toda la raíz nerviosa.

Para los pacientes con diplejía, uno de los aspectos más perjudicados en su vida diaria es la marcha, la cual en muchas ocasiones debe apoyarse en la ayuda de acompañantes, bastones, andadores o incluso ser asistida por una silla de ruedas. Ya que la marcha alterada es una característica de estos pacientes su estudio ha sido de gran ayuda hasta este momento, llegándose a clasificar incluso hasta 4 patrones principales de marcha basados en la posición del tobillo, seguido de la rodilla, cadera y pelvis; estos patrones son el verdadero equino, en salto, aparente equino y marcha en cuclillas [17].

El análisis de la marcha de estos pacientes se realiza en ocasiones de forma visual o analizando videos. Estas técnicas un tanto ambiguas y que no aportan medidas objetivas [18], están siendo sustituidas por el análisis tridimensional de la marcha a partir de sistemas de captura de movimientos unidos a plataformas de fuerza que miden las fuerzas del apoyo del paciente.

La introducción de la rizotomía dorsal selectiva como técnica quirúrgica en el Servicio de Neurocirugía Infantil del Hospital Materno Infantil de Málaga, ha provocado la reciente colaboración con la Universidad de Málaga, a fin de evaluar la marcha humana de los niños sometidos a esta cirugía antes y después de la misma. Con el análisis preoperatorio se pretende aumentar la información de los posibles músculos que causan la espasticidad y con el análisis postoperatorio se pretende examinar la evolución de los pacientes. La combinación de ambas informaciones, junto con los datos que puedan recogerse en el quirófano, permitirá estudiar formas más eficaces de diagnóstico y preparación de la cirugía.

2. METODOLOGÍA

Han formado parte del estudio 3 pacientes, un niño de 5 años (paciente 1) y dos niñas de 4 y 9 años (pacientes 2 y 3). El paciente 1 con asistencia bilateral de acompañante, la paciente 2 con marcha asistida lateralmente con acompañante y la paciente 3 con marcha autónoma.

Inicialmente a cada uno de los pacientes se le realizó una inspección clínica previa al pasillo de marcha. Para todos los pacientes se registró la cinemática y cinética del movimiento antes de la rizotomía dorsal selectiva, empleando para esto un equipo de análisis de movimiento 3D Vicon (Oxford Metrics®, Oxford, Reino Unido) con seis cámaras de infrarrojo y con una frecuencia de muestreo de 100 Hz. Además, sincronizado con él, dos plataformas de fuerza (Kistler®, Suiza) y un equipo de electromiografía (EMG) de superficie Biopac (Biopac Systems, Inc, Goleta, EEUU) con cuatro canales inalámbricos.

Para la reconstrucción del movimiento se empleó el modelo presentado por Davis [19], que se encuentra implementado como plugin en el software de análisis de movimiento Vicon Nexus (Oxford Metrics®, Oxford, Reino Unido). Se trata de un modelo de las extremidades inferiores y tronco constituido por 7 eslabones rígidos que simulan el comportamiento de tronco, femur, tibia y pie unidos por las articulaciones de cadera, rodilla y tobillo respectivamente [20]. Para cada paciente se registraron en la marcha las fuerzas y momentos de reacción con el suelo al paso por plataforma de fuerzas, junto con la evolución tridimensional de 16 marcadores situados en los puntos anatómicos establecidos por el modelo. Con esos datos se resolvió el problema cinemático y cinético, calculando la posición relativa entre eslabones, las reacciones globales y las potencias en las articulaciones. Simultáneamente y sincronizado con el movimiento registrado por el equipo de video se registró, en tres etapas sucesivas, la electromiografía de superficie de doce músculos de los grupos: flexor-extensor de las piernas derecha e izquierda y adductor-abductor de cadera. Concretamente, se registró la actividad en el Vasto Lateral, Semitendinoso, Gemelo Externo, Tibial anterior, Adductor y Gluteo Mediano; todos ellos del lado izquierdo y derecho (Figura 1). Adicionalmente, y exclusivamente como medida para inspección del ensayo en caso de detectarse anomalías, se registró el movimiento con cámara de video convencional.



Figura 1. Situación de parches para EMG en pierna derecha e izquierda en vasto lateral, semitendinoso, gemelo externo, tibial anterior, gluteos y adductores (imagen de paciente sano voluntario)

Tras realizar diferentes pasadas por el pasillo de marcha a la cadencia elegida como normal por cada uno de los pacientes, se procesaron los movimientos y se evaluaron los resultados en pelvis, cadera, rodilla y tobillo, estableciendo su comparación con resultados de otros niños de la misma franja de edad, sin afección sobre la marcha [21].

3. RESULTADOS

En la revisión previa, el paciente 1 presentó un flexo de cadera acentuado en la extremidad izquierda con aducción de cadera, que propiciaba una marcha en tijera; en rodilla manifestó un flexo bilateral, no pudiendo mantener el peso corporal frente a gravedad; en tobillo mostró un pie equino bilateral, con varo de retropié y adducto de antepié. La paciente 2 presentó un ligero flexo de cadera, más acentuado en la extremidad derecha; en rodilla mostró un ligero flexo más acentuado en la izquierda y en tobillo presentó un pie equino bilateral más acentuado en el lado derecho, con varo de retropié y adducto de antepié en el lado derecho. Finalmente, la paciente 3 manifestó un escaso desarrollo muscular con un desplazamiento anterior del centro de gravedad. También mostró en cadera un predominio de adductor con mucha rotación interna; en rodilla tendencia al recurvatum y en tobillo un ligero pie equino derecho con valgo de retropié izquierdo y un ángulo de paso reducido.

La tabla 1 presenta para un ciclo de marcha completo los resultados de la cadencia, el momento en el que se produce el despegue y el despegue contra-lateral, la longitud, el tiempo y la velocidad de paso. En los pacientes 1 y 2 sólo se presenta el resultado para el ciclo más representativo analizado.

	Paciente 1		Paciente 2		Paciente 3	
	Izq.	Drch.	Izq.	Drch.	Izq.	Drch.
Cadencia (pasos/min)	81.6	73.6	121	140	152±31.5	152±31.3
Despegue (% ciclo de marcha)	65.9	72.3	56.6	54.7	53.5±6.59	56.0±7.26
Despegue contra-lateral (% ciclo de marcha)	--	16.32	8.08	--	28.7±35.2	48.8±43.7
Long. de paso (m)	0.19	0.44	0.57	0.58	0.85±0.073	0.85±0.077
Tiempo de paso (s)	1.47	1.63	0.98	0.96	0.83±0.16	0.84±0.17
Velocidad (m/s)	0.13	0.27	0.58	0.61	1.11±0.28	1.08±0.33

Tabla 1. Resumen de parámetros principales del ciclo de marcha

La cinemática de flexo-extensión en el plano sagital para pelvis, cadera, rodilla y tobillo se muestra en la figura 2. Se observa la evolución temporal para pierna derecha (azul) e izquierda (verde), así como la cinemática en pacientes sanos de edad equivalente (negro) [21]. En los resultados destaca la diferencia respecto de la normalidad en la flexión de rodilla para el paciente 1, con un ángulo aumentado en 50°. Las pacientes 2 y 3 muestran valores globales más parecidos a la normalidad, aunque con una flexión plantar aumentada.

Los resultados de cinética no están disponibles ya que la configuración de plataformas no ha permitido el registro adecuado de las pisadas. Los pacientes debido a la longitud reducida del paso realizaban dobles pisadas en las plataformas invalidando toda la cinética. Los registros de EMG mostraron en su mayoría un perfil de actividad continua en los músculos registrados como el de la figura 3.

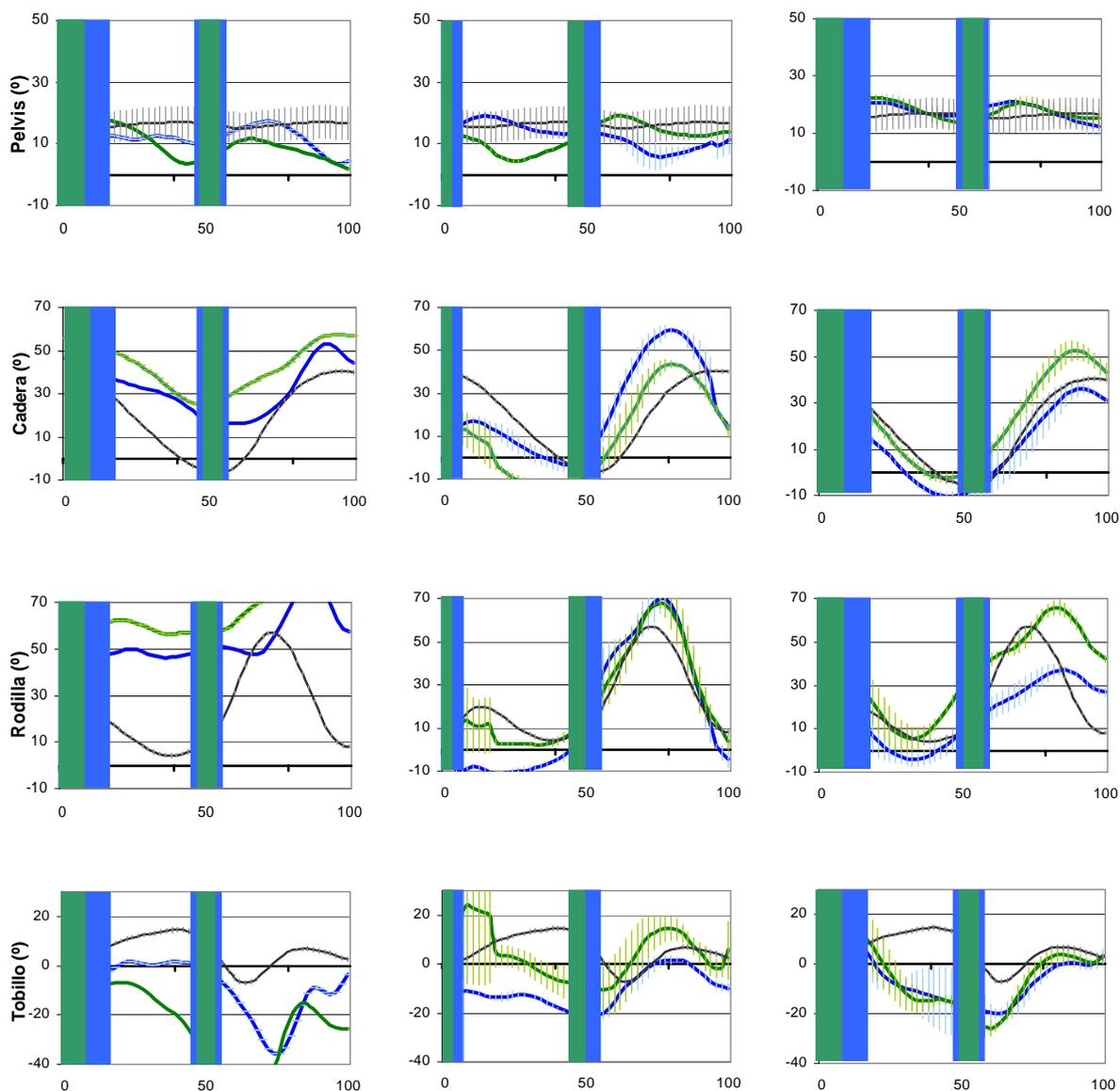


Figura 2. Resultados cinemáticos en el plano sagital para pelvis, cadera, rodilla y tobillo, en pierna izquierda (verde) y derecha (azul), de los tres pacientes analizados. La línea continua de color negro muestra la tendencia de normalidad

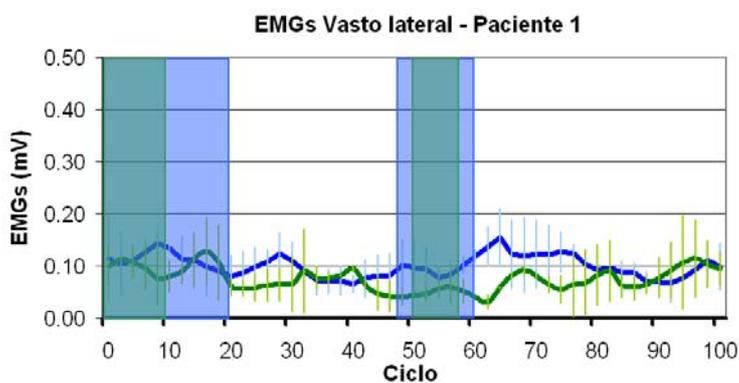


Figura 3. EMG del Vasto Lateral para el Paciente 1

4. DISCUSIÓN

Las inspecciones clínicas realizadas previamente a cada paciente revelaron las características morfológicas de los mismos en su posición de bipedestación. Se observó como todos ellos presentaban algunas de las características propias de la espasticidad, como son: miembros inferiores en tijera, recurvatum de rodilla, pie equino, varo de retropié, adducto de antepié, etc [7, 17].

Existen distintos grupos de investigación que han publicado resultados de la evolución de sus pacientes sometidos a rizotomía dorsal selectiva [5, 22-30]. Los pacientes 2 y 3 muestran velocidades de marcha entre los valores 0.58 y 1.11 m/s, lo cual es coherente con el rango de resultados mostrado por Thomas et al. [28], que registra velocidades de marcha de 0.51 m/s para niños con marcha dependiente y Bosacarino et al. [30], que registra velocidades de hasta 1.4 m/s en niños con marcha independiente. En contra, nuestro paciente 1 muestra velocidades inferiores a las medidas por estos autores, lo cual es coherente con la gran dependencia respecto al acompañante que el paciente mostró durante la prueba de marcha. Del mismo modo se observa que los resultados de longitud de paso mostrados por los pacientes 2 y 3, entre 0.57 y 0.85 m, presentan normalidad frente a los resultados medidos en otros pacientes por Abel et al. [24] con 0.56 m y por Bosacarino et al. con 1.26m [30]. Por su lado el paciente 1 muestra, además de una velocidad menor de la habitual, pasos más cortos, justificados también por su dependencia respecto del acompañante. Éste, sin saber que afectaba a los resultados, para conseguir la marcha del paciente orientaba sus brazos, marcando así el orden de pisada.

En relación a la cinemática analizada los 3 pacientes muestran valores similares a los que se encuentran en los estudios anteriores mencionados, siendo el paciente 1 el que más se diferencia. Por ejemplo el paciente 1, en referencia al rango de movimiento de la pelvis, muestra valores superiores de hasta 15.4° frente a los 10° medidos por Bosacarino et al. [30]. Este paciente muestra rangos de flexión en cadera y rodilla fuertemente reducidos frente a la tendencia de pacientes sanos, aunque los rangos son similares a los 39° medidos por Vaughan et al. [5] para cadera y rodilla en niños espásticos. El paciente 3, sin embargo, muestra tendencias normalizadas de flexo-extensión en cadera y un rango de movilidad reducida de 41° similar al de Vaughan et al. [5]. Este paciente muestra además un recurvatum en rodilla derecha durante la fase de apoyo, tal y como se observa también para el paciente 2. La cinemática de la articulación del tobillo en los tres pacientes analizados es muy diferente, siendo el paciente 3, con 36°, el que presenta un rango de movimientos más parecido al registrado por Thomas et al. de 37° [28]. El paciente 1 es el que mayor flexión plantar presenta de los tres, que unido a su fuerte flexión de rodilla se podría clasificar como "jump gait" según la clasificación mostrada por Rodda et al. [17] de los patrones de marcha en el plano sagital para niños con diplejía espástica. Según esta clasificación el paciente 3 presentaría un patrón de marcha verdadero equino.

Se destacan como principales problemas en los ensayos, la dificultad en la medida de la fuerza de suelo por las dobles pisadas que todos los pacientes presentaban y por otros factores similares, lo que ha impedido registrar las fuerzas de reacción de suelo que hayan permitido valorar la cinética del movimiento. Ello lleva a sugerir a los investigadores la necesidad inexcusable de un estudio cualitativo previo del patrón de marcha del paciente, fácilmente a través de la observación directa o de un video de su marcha en cadencia natural. En base a esas observaciones, será necesario adaptar las dimensiones útiles de las plataformas de fuerzas antes de que el paciente acuda al laboratorio. La adaptación deberá ser particular para cada paciente, posiblemente a través de estructuras flexibles que anulen parte de la superficie útil de las plataformas, puesto que la adquisición de plataformas de fuerzas de diferentes tamaños será una solución enormemente más costosa.

Respecto al análisis electromiográfico no se han podido obtener resultados concluyentes por presentar un patrón muy espástico todos los músculos medidos. En el futuro se atenderá mejor a la medida de estas magnitudes a fin de complementar adecuadamente los estudios de marcha. Además se propone estudiar la elaboración de algoritmos para la detección del momento de activación y desactivación de los distintos grupos musculares sobre la línea base espástica. Estudiando la eficacia de esos algoritmos en la identificación de posibles co-

contracciones o facilitación recíproca entre grupos musculares, factores que pueden influir en las decisiones quirúrgicas en la rizotomía [31]

5. CONCLUSIONES

Tras la introducción de técnica de intervención de rizotomía dorsal selectiva por el Servicio de Neurocirugía Infantil del Hospital Materno Infantil de Málaga, se ha iniciado la colaboración de un equipo multidisciplinar de neurocirujanos, neurofisiólogos, anatomistas e ingenieros para abordar la intervención con el mayor éxito posible. El equipo de ingenieros y anatomistas han introducido el análisis de la marcha humana a cada uno de los pacientes que se intervendrá por esta técnica a fin de aportar más información preoperatoria y poder establecer medidas objetivas postoperatorias que permitan medir la evolución de los pacientes. Este estudio presenta los primeros resultados de pasillo de marcha preoperatorios para los tres primeros pacientes y sugiere modificaciones con respecto al ensayo para pacientes sanos que buscan solventar los principales problemas encontrados, tanto en la realización del ensayo como en el estudio de sus resultados .

En las magnitudes que se han conseguido medir se han observado resultados similares a los que muestra la bibliografía. En las magnitudes que no se han podido registrar se adoptarán estrategias que permitan su futura medida.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Jon R. Davids. *Quantitative gait analysis in the treatment of children with cerebral palsy*, J. of Pediatric Orthopaedics, 26 (2006), 557-559.
- [2] Eiben RM and Crocker AC. Cerebral palsy within the spectrum of developmental disabilities. In: Thompson GH, Rubin IL, and Bilenker RM, eds. *Comprehensive Management of Cerebral Palsy*. New York: Grune & Stratton, 1983:19-24.
- [3] JW Lance. Symposium synopsis. In: RG Feldman, RR Young, WP Koells, editors. *Spasticity: Disordered Motor Control*. Chicago: Year Book, Medical Publishers (1980), 485-495
- [4] A Pandyan, M Gregoric, M Barnes. Spasticity, clinical perceptions and neurological realities and meaningful measurement. *Disabil Rehabil*; 27 (2005), 2-6.
- [5] C.L. Vaughan, N Subramanian, M.E. Busse. *Selective dorsal rhizotomy as a treatment option for children with spastic cerebral palsy*. *Gait and Posture*, 8 (1998), 43-59.
- [6] Levitt S. *Treatment of Cerebral Palsy and Motor Delay*. London: Blackwell, 1977.
- [7] J. Rodda, H.K. Graham. *Classification of gait patterns in spastic hemiplegia and spastic diplegia: a basis for a management algorithm*. *European Journal of Neurology*, 8 Supl. 1 (2001), 98-108.
- [8] R. Boyd, H.K. Graham. *Botulinum toxin A in the management of children with cerebral palsy: indications and outcome*. *European Journal of Neurology* 4 (1997), S15-S22
- [9] H.K. Graham, K.R. Aoki, I. Autti-Rämö et al.. *Recommendations for the use of botulinum toxin type A in the management of cerebral palsy*. *Gait Posture* 11 (2000). 67-79
- [10] A.L. Albright. *Intrathecal baclofen in cerebral palsy movement disorders*. *J Child Neurol* 11 (1996), S29-S35.
- [11] N.G. Langerak, R.P. Lamberts, A.G. Fieggen, J.C. Peter, W.J. Peacock, C.L. Vaughan. *Selective dorsal rhizotomy: long-term experience from Cape Town*. *Child's Nervous System*. 23,9 (2007), 1003-1006.
- [12] O. Foerster. *On the indications and results of the excision of posterior nerve roots in men*. *Surg Gynecol Obstet* 16, 5 (1913), 463-474.
- [13] C. Gros, G. Ouaknine, B. Vlahovitch. Frerebeau. *La radicotomie sélective postérieure dans le traitement neuro-chirurgical de l'hypertonie pyramidale*. *Neuro-Chirurgie*. 13 (1967), 505-518.

- [14] V.A. Fasano, R. G. Barolat, A. Ivaldi, A. Sguazzi. *La radicotomie postérieure fonctionnelle dans le traitement de la spasticité cérébrale*. Neuro-Chirurgie 22, 1 (1976), 23–34.
- [15] W.J. Peacock, R.W. Eastman. *The neurosurgical management of spasticity*. South African Medical Journal 29 (1981) 849–850.
- [16] W. J. Peacock, L.J. Arens. *Selective posterior rhizotomy for the relief of spasticity in cerebral palsy*. South African Medical Journal 62, (1982), 119–124.
- [17] J.M. Rodda, H.K. Graham, L. Carson, M. P. Galea, R. Wolfe. *Sagittal gait patterns in spastic diplegia*. The Journal of Bone & Joint Surgery. 86, 2 (2004), 251-258.
- [18] C.M. Kawamura, M.C. Morais, M. Moreira, S. K. Paula Asac, Y. Julianod, N. Ferreira. *Comparison between visual and three-dimensional gait analysis in patients with spastic diplegic cerebral palsy*. Gait and Posture, 25 (2007), 18-24.
- [19] RB Davis III, S Ounpuu, D Tyburski, JR Gage. *A gait analysis data collection and reduction technique*. Human Movement Science 10 (1991) 575-587
- [20] *Vicon Plug-in Gait Product Guide*. Foundation Notes Revision 2.0 March 2010. For use with Plug-in Gait Version 2.0 in Vicon Nexus.
- [21] B.W. Stansfield, S.J. Hillman, M.E. Hazlewood, J.E. Robb *Regression analysis of gait parameters with speed in normal children walking at self-selected speeds*. Gait and Posture, 23, (2006), 288-294
- [22] N. Subramanian, C.L. Vaughan, J.C. Peter, L.J. Arens. *Gait before and ten years after rhizotomy in children with cerebral palsy spasticity*. Journal of Neurosurgery 88, 6 (1998), 1014–1019.
- [23] C.L. Vaughan, B. Berman, L.A. Staudt, W.J. Peacock. *Gait analysis of cerebral palsy children before and after rhizotomy*. Pediatr Neurosci 14, 6 (1988); 297–300.
- [24] M.F. Abel, D.L. Damiano, J.F. McLaughlin, K.M. Song, C.S. Graubert, K.F. Bjornson. *Comparison of functional outcomes from orthopaedic and neurosurgical interventions in spastic diplegia*. Neurosurgical Focus, 4, 1 (1998); article 2.
- [25] J. Adams, L.D. Cahan, J. Perry, L.M. Beeler. *Foot contact pattern following selective dorsal rhizotomy*. Pediatric Neurosurgery, 23 (1995); 76–81.
- [26] L.D. Cahan, J.M. Adams, L. Beeler, J. Perry. *Clinical electrophysiologic and kinesiologic observations in selective dorsal rhizotomy in cerebral palsy*. Neurosurgery State of the Art Reviews, 4, 2 (1989); 477–484.
- [27] L.D. Cahan, J.M. Adams, J. Perry, L.M. Beeler. *Instrumented gait analysis after selective dorsal rhizotomy*. Developmental Medicine and Child Neurology, 32 (1990); 1037–1043.
- [28] S.S. Thomas, M.D. Aiona, R. Pierce, J.H. Piatt. *Gait changes in children with spastic diplegia after selective dorsal rhizotomy*. Journal of Pediatric Orthopedics, 16 (1996); 747–752.
- [29] S.S. Thomas, M.D. Aiona, C.E. Buckon, J.H. Piatt. *Does gait continue to improve 2 years after selective dorsal rhizotomy?* Journal of Pediatric Orthopedics, 17 (1997); 387–391.
- [30] L.F. Boscarino, S. Ounpuu S, R.B. Davis, J.R. Gage, P.A. DeLuca. *Effects of selective posterior rhizotomy on gait in children with cerebral palsy*. Journal of Pediatric Orthopedics, 13 (1993); 174–179.
- [31] SR Pierce, MF Barbe, AE Barr, PA Shewokis, and RT Lauer. *Roles of Reflex Activity and Co-contraction During Assessments of Spasticity of the Knee Flexor and Knee Extensor Muscles in Children With Cerebral Palsy and Different Functional Levels*. Phys Ther 88 (2008),1124-1134