

Análisis espacio temporal y hallazgos clínicos de la marcha. Comparación de dos modalidades de tratamiento en niños con parálisis cerebral tipo hemiparesia espástica. Reporte preliminar

Irma Tamara Arellano-Martínez,* Gerardo Rodríguez-Reyes,** Ivet Quiñones-Uriostegui,**
María Elena Arellano-Saldaña***

Resumen

Introducción: la parálisis cerebral es la primer causa de discapacidad infantil. La principal preocupación en estos pacientes es la adquisición y desempeño de la marcha. El propósito de este artículo es comparar los resultados a largo plazo de dos modalidades de tratamiento.

Material y métodos: se realizó una valoración de parámetros de marcha y una evaluación clínica con la escala de valoración de la función motora gruesa y del tono muscular en 14 pacientes con parálisis cerebral-hemiparesia espástica distribuidos aleatoriamente en dos grupos: el primero utilizando una órtesis conductora de marcha (Lokomat®), y el segundo entrenando la marcha dentro de un tanque de hidroterapia. Al término del tratamiento y después del transcurso de un año se realizaron nuevamente las evaluaciones mencionadas.

Resultados: en el total de pacientes se observaron cambios significativos sobre la escala de valoración de la función motora gruesa de II al I ($p = 0.042$) y una correlación positiva entre el perfil funcional de la marcha y la escala de valoración de la función motora gruesa ($r = 0.54$, $p = 0.042$). Los pacientes en el grupo de tratamiento con Lokomat® mostraron mejoría significativa en la simetría de la marcha comparados con el grupo convencional de tratamiento ($p \leq 0.05$). Después de un año solo se observó una tendencia de mejoría en los pacientes tratados con Lokomat®.

Conclusiones: en los dos grupos de tratamiento se observaron beneficios, los efectos residuales en los pacientes tratados con Lokomat® parecen mayores a los de los pacientes del grupo control; los resultados no son concluyentes en relación al tamaño de la muestra, y es necesario ampliar esta investigación.

Palabras clave: parálisis cerebral, órtesis conductora de marcha.

Abstract

Introduction: Cerebral palsy is the most common cause of disability among children. Parent's main concerns are the acquisition and improvement of gait. The aim of this study was to compare long term results of the effect of two modalities of gait training.

Methods: Quantitative measurement of gait and clinical assessment of the gross motor function classification system and Modified Ashworth Scale were performed in 14 patients with Cerebral palsy -spastic hemiplegia and randomizedly assigned into two groups of treatment: the first one using a driven gait orthosis (Lokomat®) and the second a gait training a long a rail inside a hydrotherapy tank. Measurements and assessments, above described, were performed immediately and one year after the treatment concluded.

Results: Significant change was observed in the gross motor function classification system from II to I among children ($p = 0.042$) and a positive correlation between the shape functional of the march and the gross motor function classification system ($r = 0.54$, $p = 0.042$). Patients on the Lokomat® training improved on gait symmetry over patients on the conventional therapy ($p \leq 0.05$). A year after, this intervention showed tendency to kept the gait patterns only on patients treated with the Lokomat®.

Conclusion: Benefit obtained with either modality was evident for both groups. However, residual effects observed on the Lokomat group, either in clinical assessment or gait parameters, were more promising than in the conventional therapy. Due to the size of the sample used in this study the results are not conclusive and more research must be done on this subject in long term time horizon.

Key words: Cerebral palsy, driven gait orthosis.

* Servicio de Parálisis Cerebral y Estimulación Temprana

** Laboratorio de Análisis de Movimiento.

*** Parálisis Cerebral y Estimulación Temprana

De la División de Rehabilitación Pediátrica. Instituto Nacional de Rehabilitación.

Correspondencia:

Dra. Irma Tamara Arellano Martínez – Dra. María Elena Arellano Saldaña
Av. México-Xochimilco 289 Col.: Arenal de Guadalupe. C.P. 14289 D.F. México.
Tel: 59991000 ext. 13111, 13502

Correo electrónico: ir_ta@yahoo.com - elenarellanomx@yahoo.com.mx

Recibido para publicación: 30-09-2011

Aceptado para publicación: 16-03-2012

Introducción

La parálisis cerebral describe un grupo de desórdenes del desarrollo del movimiento y la postura que son atribuibles a las alteraciones no progresivas, que ocurrieron en el cerebro durante la etapa fetal o infantil con limitación en la actividad¹ y la función motora es la más afectada² con alteraciones en los patrones de la marcha que dependen del sitio de lesión, tipo y severidad del daño cerebral. Las alteraciones neuromusculares predisponen a contracturas musculares, deformidades por torsión ósea, y dinámicas por desbalance muscular.³⁻⁵

En la hemiparesia espástica se afecta la fase postural intermedia “swing” que se manifiesta en la postura, el equilibrio y la marcha; con disminución de la velocidad, el largo de zancada, y ameritan un mayor contacto del pie sobre la tierra.^{5,6} La mayor parte de estos pacientes tienen la habilidad de caminar sin restricciones aunque las actividades motoras más finas se encuentren comprometidas,⁷ particularmente para desplazarse en terrenos irregulares, y en escaleras. De acuerdo con estos conceptos, los pacientes con hemiparesia espástica son ambulatorios colocados dentro del grupo II de la clasificación de la función motora gruesa, que se refiere a: marcha independiente con dificultades para correr, saltar o caminar sobre terreno irregular, con o sin uso de órtesis y el objetivo ideal de tratamiento consistiría en ubicarlos dentro del grupo I de la clasificación de la función motora gruesa y que se refiere a las habilidades para: correr, saltar, desplazarse sobre terrenos irregulares.⁸⁻¹⁵

La órtesis robótica Lokomat® (Lokomat Hocoma. Volketswil Suiza) consta de una banda sin fin electrónica, y dispositivo de sujeción a las piernas del paciente que son guiadas de acuerdo a un programa prediseñado para realizar una marcha fisiológica respetando los parámetros de peso, talla y longitud de segmentos para cada paciente; se complementa con un software de retroalimentación visual.¹⁶ Se han observado las ventajas que ofrece un tratamiento con dicha órtesis sobre los tratamientos convencionales; sin embargo en el paciente pediátrico con parálisis cerebral no existen estudios que determinen la utilidad a largo plazo de los tratamientos aplicados.⁹ A la fecha son pocos los estudios que reportan los beneficios del uso de la órtesis robótica en pacientes pediátricos y en ninguno de los casos se utilizó un instrumento cuantitativo para valorar los resultados del mismo.^{10,11,16}

Material y métodos

Estudio prospectivo en el que se incluyeron niños con parálisis cerebral tipo hemiparesia espástica, que cumplieran con los siguientes criterios: edad de 4 a 14 años, cualquier sexo, sin deficiencia visual o auditiva (normal o corregida), sin déficit cognitivo y/o trastornos de conducta, tipo II de la escala de valoración de la función motora gruesa y que aceptaron participar en el proyecto previa firma de consentimiento informado.

Los pacientes se asignaron de forma aleatoria a dos grupos de tratamiento. Los pacientes del primer grupo fueron sometidos a un tratamiento con la órtesis robótica tipo Lokomat® en los que el manejo consistió en: una medición antropométrica (peso, talla, longitud de segmentos femoral y tibial, selección de arneses), en una sesión de sensibilización para el uso de la órtesis, con 10 sesiones de 30 minu-

tos de duración para reeducación de la marcha utilizando parámetros predeterminados por el equipo y que se calcularon con base en: peso, talla y medición de segmentos de miembros inferiores (segmento femoral y tibial). Se ajustó una velocidad constante con variaciones en la resistencia ofrecida por la órtesis y el control voluntario del paciente.

Los pacientes del segundo grupo recibieron 10 sesiones de 30 minutos de duración con reentrenamiento de la marcha por ciclos, dentro de un tanque terapéutico, bajo las indicaciones de un terapeuta físico y con el apoyo de un cuidador del niño.

Se realizaron tres evaluaciones: antes de iniciar el tratamiento, al terminar el tratamiento y un año después de la valoración inicial, a cada intervención inicial; a cada paciente de ambos grupos se le valoraron aspectos clínicos que incluyen: tono muscular en miembros pélvicos (escala de Ashworth modificada), función motora gruesa, y espacioc temporal de la marcha con el GaitRITE System del que se analizaron las siguientes variables: diferencial de tiempo entre pasos (expresado en segundos -STD-), diferencial de la longitud del paso (expresado en centímetros, -SLD-), velocidad (cm/s), ciclos de la marcha, longitud de pasos (cm) y zancada (cm), y perfil funcional de la marcha, que mide la eficiencia de la marcha y otorga un puntaje global en un rango del 0 a 100 por ciento donde el 100% es el puntaje que describe una marcha altamente eficiente.

De los expedientes clínicos electrónicos disponibles en el Sistema de Administración Intrahospitalaria se obtuvo la información para elaborar un registro de las valoraciones y las intervenciones realizadas dentro de las áreas de consulta externa o del programa de tratamiento en el área de intrahospitalaria en el periodo que comprendió el término de la intervención inicial y el transcurso de un año a la evaluación final.

Se realizó estadística descriptiva y comparativa para identificar diferencias significativas entre las variables descritas, antes y después del tratamiento y entre grupos. Se utilizó una prueba de Kolmogorov-Smirnov para determinar normalidad de las distribuciones y se empleó una prueba de Wilcoxon para comparar los parámetros espacioc temporales de la marcha. Para cuantificar el grado de asociación se utilizaron las pruebas de correlación de Pearson y Spearman. Se consideró un intervalo de confianza del 95% y un nivel de significancia menor $p \leq 0.05$.

Resultados

Al inicio del estudio, los pacientes contaban con los siguientes antecedentes: 5 pacientes (4 del grupo Lokomat® y 1 del grupo en tanque terapéutico) utilizaban una órtesis tobillo-pie articulada. 3 pacientes del grupo Lokomat® con-

taban con el antecedente de un evento quirúrgico del miembro pélvico afectado (alargamiento del tendón de Aquiles) y 4 pacientes (1 del grupo en tanque terapéutico y 3 en el grupo Lokomat®) contaban con antecedente de una aplicación de toxina botulínica al miembro pélvico afectado en un rango de tiempo mayor o igual seis meses. La distribución etaria, por sexo, lado afectado y tipo de tratamiento asignado se detallan en el Cuadro I.

Una vez terminado el tratamiento, en el total de pacientes, se observó mejoría clínica significativa al cambiar del grupo funcional II al I de la escala de valoración de la función motora gruesa en 3 pacientes del grupo tratado con Lokomat y 1 paciente del grupo tratado en el tanque terapéutico ($p = 0.042$) (Figura 1). El tono muscular del tobillo afectado mejoró en 10 pacientes (5 pacientes por grupo) al menos un nivel de la escala de Ashworth modificada ($p = 0.008$) (Cuadro II). En el análisis cinemático se observó una mejoría significativa en los valores del perfil funcional de la marcha de 74.5% a 82.6% ($p = 0.024$), la velocidad de la marcha de 87.9 cm/s a 75.08 cm/s ($p = 0.008$) cuadro II y de manera global existe una correlación significativa entre la categoría de la escala de valoración de la función motora gruesa y el perfil funcional de la marcha ($r = 0.549$, $p = 0.042$).

En los pacientes asignados al grupo Lokomat®, el tono del tobillo afectado disminuyó en 5 pacientes ($p = 0.46$). La velocidad mejoró de 68.8 cm/s (DS \pm 48.6) a 65.8 cm/s (DS \pm 8.3) ($p = 0.025$) y la longitud de zancada del miembro pélvico izquierdo disminuyó de su valor inicial de 86.1 cm (DS \pm 1.7) a 79.5 cm (DS \pm 5.4) ($p = 0.025$); el porcentaje del ciclo de la fase postural intermedia mejoró acercándose a valores que corresponden a un ciclo de marcha sin pato-

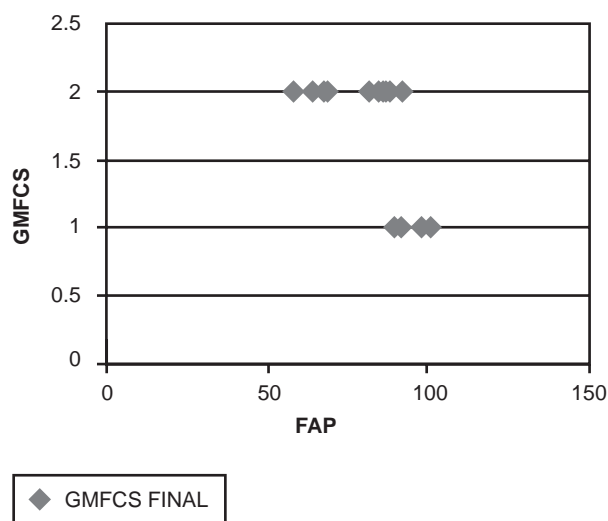


Figura 1. Correlación del incremento en el perfil funcional de la marcha (FAP) y el cambio de la Gross Motor Function Classification System (GMFCS) II a GMFCS I.

logía de 45.8% (DS \pm 13.6) del ciclo de la marcha a 49.1% ciclo de la marcha (DS \pm 11.8) ($p = 0.046$) de un esperado de 60% ciclo de la marcha; además de presentar una correlación entre el nivel de la escala de valoración de la función motora gruesa y el perfil funcional de la marcha mayor al resultante al total de la muestra ($r = 0.732$, $p = 0.039$).

En los pacientes del grupo en tanque terapéutico únicamente se presentaron cambios en el tono del tobillo afectado ($p = 0.050$) y en el perfil funcional de la marcha de

Cuadro I. Asignación de pacientes ingresados

Características demográficas de la muestra de estudio					
Paciente	Edad (años)	Sexo	GMFCS	Grupo de tratamiento	Lado afectado
1	6	Femenino	II	Lokomat	Derecho
2	7	Femenino	II	Lokomat	Derecho
3	7	Femenino	II	Lokomat	Derecho
4	7	Femenino	II	Lokomat	Derecho
5	6	Masculino	II	Tanque terapéutico	Derecho
6	7	Masculino	II	Tanque terapéutico	Derecho
7	6	Masculino	II	Tanque terapéutico	Derecho
8	12	Femenino	II	Lokomat	Izquierdo
9	9	Masculino	II	Tanque terapéutico	Derecho
10	4	Masculino	II	Tanque terapéutico	Derecho
11	5	Femenino	II	Lokomat	Izquierdo
12	6	Masculino	II	Lokomat	Izquierdo
13	12	Masculino	II	Lokomat	Izquierdo
14	9	Femenino	II	Tanque terapéutico	Izquierdo

GMFCS = Gross Motor Function Classification System

Cuadro II. Mejoría en el tono muscular del tobillo afectado al término del tratamiento por grupo estudiado

Tono muscular (EAM)	Lokomat (n = pacientes)		Tanque Terapéutico (n = pacientes)		Valor p
0	0	2	0	1	0.008
1	3	3	1	3	
1+	5	2	3	1	
2	1	1	2	1	

EAM = escala de Ashworth modificada, no se incluyen las graduaciones 3 y 4 de la escala ya que implican deformidades fijas y/o limitación severa del rango articular valorado.

68.6% (± 1.9) a 81.0% (± 1.6) ($p = 0.026$). En el resto de los parámetros no se observaron cambios estadísticamente significativos. (Cuadro III).

Después de un año de realizada la intervención, en caso de los pacientes del grupo Lokomat® el total de los pacientes ($n = 8$) recibieron un seguimiento durante el año posterior a la conclusión de su tratamiento. El 50% de los pacientes recibe un promedio de 3 visitas a la consulta externa por año y el resto recibe una variedad de consulta que va de 1 a 4 consultas por año. De este grupo de pacientes el 75% ($n = 6$) fueron hospitalizados dentro de la Unidad Infantil para aplicación de toxina botulínica. A ninguno de estos pacientes se le sometió a un procedimiento quirúrgico en este periodo de tiempo.

Al final del estudio los pacientes que utilizan alguna variedad de órtesis tobillo-pie asciende a 5; esto significa un incremento de 2 pacientes usuarios de órtesis con respecto a los 3 pacientes al momento de inicio del estudio. De los pacientes que no fueron hospitalizados, un paciente (2.25%) recibió terapia dentro de la institución dirigida al reentrenamiento de la marcha.

Para el caso de los pacientes asignados al grupo en tanque terapéutico el promedio de valoraciones a la consulta externa asciende a 4 y sólo el 33% de los pacientes ($n = 2$)

amerita tratamiento intrahospitalario para aplicación de toxina botulínica y el 16.7% de la muestra ($n = 1$) amerita tratamiento quirúrgico por una deformidad fija del tobillo afectado en equino (elongación de tendón de Aquiles). La mitad de los pacientes ($n = 3$) utilizó una órtesis tobillo-pie al final de la evaluación.

En la valoración a un año de concluido el tratamiento, de los efectos positivos o negativos de las intervenciones iniciales comparadas con la final, no se encontró un efecto estadísticamente significativo.

En la revaloración anual no persistió el cambio en la escala de valoración de la función motora gruesa del grupo II al grupo I en los pacientes del grupo A, aunque el nivel de escala de valoración de la función motora gruesa se mantiene en II para el total de la muestra.

Se compararon los resultados de las valoraciones inicial y la inmediata al término del tratamiento contra la valoración anual, y en ninguno de los casos los resultados de la valoración anual fueron inferiores al momento de captar a cada paciente, sin embargo no se encontraron resultados estadísticamente significativos para las variables estudiadas. De igual manera se estudió la tendencia en estos pacientes a mantener los cambios obtenidos al término del tratamiento, encontrándose la mayor estabilidad en las siguientes varia-

Cuadro III. Cambios en el análisis de la marcha por grupo de tratamiento

	Grupo Lokomat			Grupo tanque terapéutico		
	Promedio (\pm DS)		Valor p	Promedio (\pm DS)		Valor p
	Inicial	Final		Inicial	Final	
Velocidad (cm/s)	68.8(48.6)	65.8(8.3)	0.025	92.2(27.0)	86.5(27.3)	>0.05
Zancada izquierda (cm)	86.1(1.7)	79.5(5.4)	0.025	83.8(9.7)	88.02(1.8)	>0.05
Postural intermedia (%GC)	45.8(13.6)	49.1(11.8)	0.046	42.9(18.0)	51.9 (7.0)	>0.05
FAP(%)	77.5 (1.5)	83.0(1.4)	>0.05	68.6(1.9)	81.0 (1.6)	0.026

FAP perfil funcional de la marcha; GC: ciclo de marcha.

bles del análisis de la marcha: perfil funcional de la marcha, diferencial de tiempo entre pasos (expresado en segundos), y diferencial de longitud del paso (expresado en centímetros).

En la valoración inicial del perfil funcional de la marcha de los pacientes con tratamiento con Lokomat® el promedio obtenido era de 77.5% (DS \pm 1.5) con una mejoría hacia 83.2% (DS \pm 1.4) después del tratamiento inicial; en la revaloración anual del perfil funcional de la marcha fue de 87.3% (DS \pm 1.3) que contrasta con la ganancia inicial de los pacientes del grupo de tratamiento en tanque terapéutico de 68.6% (DS \pm 1.9) a 80.2% (DS \pm 1.4) para un perfil funcional de la marcha al término de un año de 82.6% (DS \pm 7.0) (Figura 2). En el diferencial de tiempo entre los pasos, los pacientes tratados con Lokomat® presentaron un promedio de 0.44s (DS \pm 0.9) contra 0.43s (DS \pm 0.7) en los pacientes de tanque terapéutico; la mejoría inicial fue más evidente para los pacientes de la terapia convencional con un diferencial de tiempo entre los pasos diferencial de tiempo entre los pasos de 0.12s (DS \pm 0.1) contra los 0.23s (DS \pm 0.2) de los pacientes del otro grupo; sin embargo, después de la revaloración anual estos pacientes tienden a presentar un diferencial de tiempo entre los pasos menor a la intervención inicial con 0.16s (DS \pm 0.1) contra los 0.21s (DS \pm 7.6) de los pacientes del grupo de terapia en tanque terapéutico (Figura 3).

En el caso del diferencial de la longitud del paso los resultados previos a la intervención fueron para el tratado en Lokomat® de 21.6 cm (DS \pm 5.2) y 33.9 cm (DS \pm 5.6) para los tratados en el tanque terapéutico; posterior al tratamiento se observa una disminución del caso del diferencial de la longitud del paso que significa una mayor simetría durante la marcha con 7.2 cm (DS \pm 7.4) y 9.1 cm (DS \pm 7.6) por grupo. Nuevamente, la tendencia en este caso es la disminución gradual de los valores iniciales en los pacientes tratados en el Lokomat® con cifras de

4.9 cm (DS \pm 5.7) y 9.1 cm (DS \pm 7.1) por cada grupo. (Figura 4). Para el resto de las variables no fue posible determinar una tendencia estadística significativa, particularmente en el caso de la longitud de zancada y la simetría de los ciclos de la marcha como fue observado después del tratamiento inicial.

Discusión

Es bien conocido que los pacientes adultos con secuelas de evento vascular cerebral con hemiparesia presentan cambios en la postura y simetría de la marcha con ciclos cercanos a los valores normales esperados para cada individuo cuando se re-entrena la marcha con una órtesis robótica tipo Lokomat® en programas de tratamiento de entre seis y ocho semanas, no existen a la fecha reportes de programas cortos de tratamiento para pacientes no institucionalizados tanto en población adulta como pediátrica.^{8,17}

Para los pacientes pediátricos, son pocos los estudios en los que se valoran las intervenciones de tratamiento en una selección homogénea en cuanto a función motora gruesa y topografía de la parálisis cerebral. En la bibliografía consultada no se comparan los diferentes métodos de tratamiento y sus efectos terapéuticos tanto en el área clínica como la cuantitativa y en nuestro estudio en el que se seleccionaron pacientes con la variedad topográfica y patológica de hemiparesia espástica.

En cuando a la re-educación de la marcha en el paciente con parálisis cerebral, solo existe un estudio con una muestra homogénea de pacientes, en las que se analiza la variedad de diparesia espástica (afección de los miembros inferiores, con grados variables de afección en el tronco y las extremidades superiores con afectación siempre menor que en los miembros inferiores) entrenados en una banda sin fin para re-educación de la marcha con variación pro-

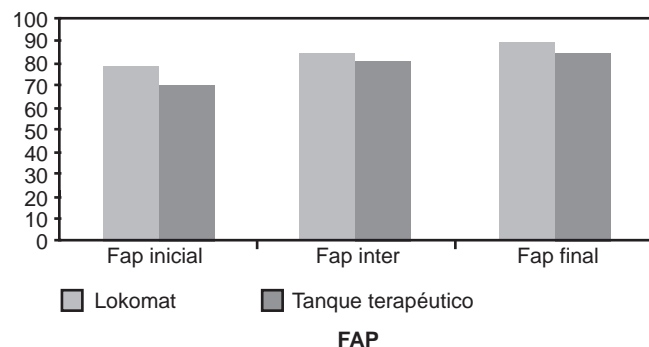


Figura 2. Tendencias para el perfil funcional de la marcha (FAP), se observa mayor estabilidad en los pacientes asignados al grupo A (Lokomat®).

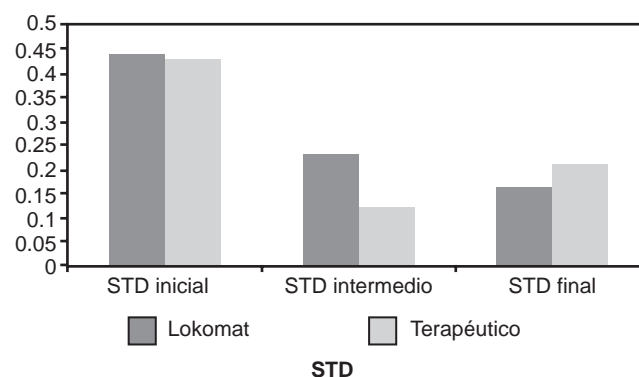


Figura 3. Tendencias para la diferencia de tiempo entre pasos (STD), medido en segundos. Descenso progresivo en el tiempo inicial para los pacientes del grupo A.

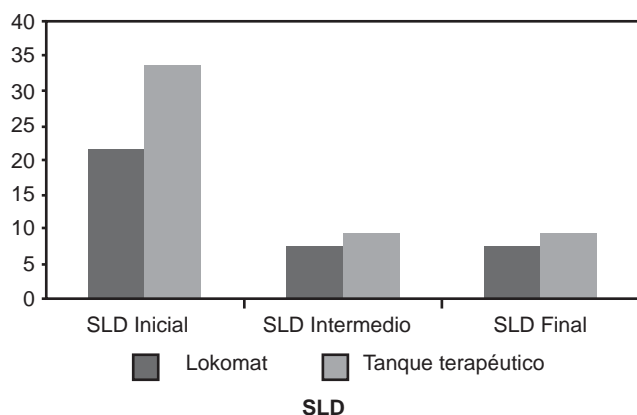


Figura 4. Tendencias para la diferencia de la longitudinal de pasos (SLD). Descenso progresivo en la longitud inicial para los pacientes del grupo A.

gresiva de la velocidad acorde al criterio del terapeuta a cargo, observándose dificultades para uniformar un criterio de tratamiento que no exceda la tolerancia del ejercicio de cada niño; en este caso, no solo se eligió una manifestación clínica uniforme, sino que se eligieron dos métodos de tratamiento: uno convencional fácilmente tolerado por el paciente y su familiar responsable (tanque terapéutico), y un método nuevo para el paciente al que de inicio se sensibilizaba y que permitía la adecuación de intensidad, duración y velocidad de acuerdo a las características de cada paciente.

La escala de valoración de la función motora gruesa es la herramienta de clasificación motora más útil en el seguimiento y valoración de tratamiento de los pacientes con parálisis cerebral, en dos de cuatro estudios publicados, se han reportado cambios positivos dentro de la escala ante el uso de una órtesis robótica^{12,13} con el inconveniente de integrar una muestra de una gran variabilidad de pacientes calificados dentro de la escala de valoración de la función motora gruesa desde I hasta IV (ambulatorios y no ambulatorios) que dificulta la comparación en la función motora gruesa y la habilidad de la marcha con los pacientes incluidos en este estudio, además de que no se incluyó un grupo control. En cuanto a las características del tratamiento administrado, en este caso se trató únicamente de pacientes externos en sesiones continuas en un periodo corto de tiempo (diez sesiones en dos semanas), y se obtuvieron cambios similares a los descritos para pacientes en unidades hospitalarias de rehabilitación con tratamientos aplicados 3 a 4 veces por semana con una duración de 45 minutos por sesión en el curso de dos y hasta 3 semanas.

Conclusiones

De la valoración al término de tratamiento se observó una mejoría clínica y funcional para las dos modalidades de tratamiento, sin lograr establecer una conclusión definitiva de la superioridad de un método contra el otro. Al término de un año, la tendencia estadística muestra una mayor permanencia de los cambios en la simetría de la marcha para los pacientes que recibieron tratamiento con la órtesis robótica.

No es posible determinar el efecto único a largo plazo de una intervención terapéutica en los niños, debido a que la naturaleza evolutiva de la parálisis cerebral y los cambios en cuanto a talla y peso de cada paciente, que exigen al especialista en rehabilitación una revisión y adecuación terapéutica constante de las intervenciones dirigidas a cada paciente para mantener y/o mejorar su status dentro de la escala de valoración de la función motora gruesa. Es por lo tanto, necesario incrementar el tamaño de la muestra estudiada, para observar la uniformidad en los resultados obtenidos y valorar las modificaciones necesarias del tratamiento en cuanto al número y frecuencia de sesiones.

Referencias

1. Kerr Graham H, Selber P. Musculoskeletal aspects of cerebral palsy. *J Bone Joint Surg Br* 2003;85B(2):157-166.
2. Bax M, Goldstein M, Rosenbaum P, Leviton A, Paneth N, Dan B, et al. Proposed definition and classification of cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol* 2005;47(8):571-576.
3. Gage JR, Deluca PA, Renshaw TS. Gait analysis: Principles and Applications. Emphasis on its use in cerebral palsy. *J Bone Joint Surg Am* 1995;77A:1607-1623.
4. Molenaers G, Desloovere K, Fabry G, De Cock P. The effects of quantitative gait assessment and botulinum toxin A on musculoskeletal surgery in children with cerebral palsy. *J Bone Joint Surg Am* 2006;88(1):161-170.
5. Farmer SE. Key factors in the development of lower limb coordination: implications for the acquisition of walking in children with cerebral palsy. *Disabil Rehabil* 2003;25(14):807-816.
6. Allum, JH, Carpenter MG. A speedy solution for balance and gait analysis: angular velocity measured at the centre of body mass. *Curr Opin Neurol* 2005;18(1):15-21.
7. Ledebt A, Becher J, Kapper J, Rozendaal RM, Bakker R, Leenders IC, et al. Balance Training with Visual Feedback in Children with Hemiplegic Cerebral Palsy: Effect on Stance and Gait. *Motor Control* 2005;9(4):459-468.
8. Mauritz KH. Gait training in hemiplegia. *Eur J Neurol* 2002;9(Suppl 1):23-29.
9. Riener R, Lünenburger L, Colombo G. Human-centered robotics applied to gait training and assessment. *J Rehabil Res Dev* 2006;43(5):679-694.
10. Dursun E, Dursun N, Alican D. Effects of biofeedback treatment on gait in children with cerebral palsy. *Disabil Rehabil* 2004;26(2):116-120.

11. Dodd KJ, Foley S. Partial body-weight-supported treadmill training can improve walking in children with cerebral palsy: a clinical controlled trial. *Dev Med Child Neurol* 2007;49(2):101-105.
12. Kerr C, Parkes J, Stevenson MBS, Cosgrove AP, McDowell BC. Energy efficiency in gait, activity, participation and health status in children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol* 2008;50(3):204-210.
13. Meyer-Heim A, Borggraefe I, Ammann-Reiffer C, Berweck S, Sennhauser FH, Colombo G, et al. Feasibility of robotic-assisted locomotor training in children with central gait impairment. *Dev Med Child Neurol* 2007;49(12):900-906.
14. Palisano R, Rosenbaum P, Walter S, Russell D, Wood E, Galuppi B. Development and reliability of a system to classify gross motor function in children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol* 1997;39(4):214-223.
15. Rodda J, Graham HK. Classification of gait patterns in spastic hemiplegia and spastic diplegia: a basis for a management algorithm. *Eur J Neurol* 2001;8(Suppl 5):98-108.
16. Hidler J, Hamm LF, Lichy A, Groah SL. Automating activity-based interventions: The role of robotics. *J Rehabil Res Dev* 2008;45(2):337-344.
17. Nilsson L, Carlsson J, Danielsson A, Fugl-Meyer A, Hellström K, Kristensen L, et al. Walking training of patients with hemiparesis at an early stage after stroke: a comparison of walking training on a treadmill with body weight support and walking training on the ground. *Clin Rehabil* 2001;15(5):515-527.