

Entrenamiento robótico de la marcha en pacientes con Parálisis Cerebral: definición de objetivos, propuesta de tratamiento e implementación clínica preliminar

C. Bayón¹, O. Ramírez¹, E. Rocon¹

¹Grupo de Ingeniería Neural y Cognitiva, Centro de Automática y Robótica, CAR-CSIC-UPM
cristina.bayon@csic.es

T. Martín-Lorenzo², B. Moral-Saiz², A. Pérez-Somarriba², S. Lerma-Lara², I. Martínez²
²Hospital Infantil Universitario Niño Jesús

Resumen

El uso de dispositivos robóticos para rehabilitación de la marcha se ha incrementado en los últimos años de manera notable. Sin embargo, hay una falta de estudios que proporcionen pautas detalladas sobre cómo usar la robótica de rehabilitación para obtener los máximos beneficios del tratamiento. Esta contribución presenta un programa de entrenamiento detallado para rehabilitación robótica de la marcha de niños con Parálisis Cerebral (PC). Éste está centrado en la consecución de diferentes especificaciones de la International Classification of Functioning, Disability and Health framework, Children and Youth version (ICF-CY). El programa de entrenamiento se divide en 16 sesiones, en las que los pacientes trabajan control motor, fuerza y potencia en sus extremidades inferiores. Resultados de una validación clínica con 4 pacientes pediátricos muestran mejoras en diferentes aspectos de la marcha, tales como velocidad, fuerza, longitud de paso o desempeño según la Gross Motor Function Measure-88. Este estudio fue registrado públicamente con el número ISRCTN18254257 el 23 de Marzo de 2017.

Palabras Clave: Entrenamiento robótico, Terapia, Parálisis Cerebral, Exoesqueleto, Rehabilitación

1 INTRODUCCIÓN

La limitación de la marcha es uno de los mayores problemas sufridos por niños con Parálisis Cerebral (PC) [1]. Ello es consecuencia de un daño producido en el sistema nervioso central (SNC) del paciente, y por tanto, se requiere un entrenamiento funcional óptimo para maximizar las mejoras debidas a la terapia [2], lo que por ende, provocará efectos positivos en la calidad de vida de los pacientes y sus familias [3].

En las últimas décadas, el auge en el desarrollo de exoesqueletos robóticos [4–6], unido a las novedosas estrategias de control para rehabilitación que adaptan la terapia a las necesidades del usuario, ofrece posibilidades prometedoras para intensificar las mejoras debidas al tratamiento robótico [7,8]. Sin embargo, en el caso de población infantil, no existen suficientes evidencias que aseguren que la terapia robótica actual ofrezca mejores resultados por sí misma respecto a la terapia física convencional [9]. Por tanto, son necesarios nuevos enfoques que permitan mejorar la rehabilitación en estos pacientes jóvenes, haciendo de la terapia robótica una clave del cambio.

Una de las mayores limitaciones del uso de la tecnología en la práctica clínica, aparte del elevado coste, es la ausencia de estudios que describan un programa de entrenamiento robótico detallado. La amplia variedad de cambios que pueden ser aplicados a los parámetros de la terapia robótica, dificulta el hecho de especificar los ajustes para llevar a cabo la mejor solución posible. Además, la mayoría de los estudios actuales centran la terapia en las extremidades inferiores exclusivamente, pero teniendo en cuenta que la marcha está influenciada también por la postura superior del cuerpo [10], un programa de entrenamiento adecuado no debería ignorar las funciones de cabeza y tronco durante la marcha.

Esta contribución presenta un detallado programa de entrenamiento de la marcha basado en robots para PC, el cual está basado en la consecución de diferentes especificaciones de la International Classification of Functioning, Disability and Health framework, Children and Youth version (ICF-CY) [11]. Ello contribuirá con respuestas precisas a cómo implementar robótica de rehabilitación siguiendo una guía definida. Finalmente, la terapia propuesta es validada en cuatro pacientes con PC utilizando para ello la plataforma CPWalker [5].

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 DISPOSITIVO DE REHABILITACIÓN

La plataforma robótica CPWalker es un dispositivo de rehabilitación de la marcha compuesto por un exoesqueleto unido a un andador, el cual permite entrenamiento con desplazamiento real [5]. Tiene implementado un sistema de control parcial de peso del paciente (PBWS), y a través de controladores individuales por articulación, proporciona un alto grado de adaptación a las capacidades del usuario.

En concreto, cada articulación del exoesqueleto puede trabajar siguiendo los modos de control representados en la Figura 1, que de menor a mayor colaboración del paciente son: i) control de posición (P); ii) control de alta impedancia (AI); iii) control de media impedancia (MI); iv) control de baja impedancia (BI); y v) control de fuerza (F).

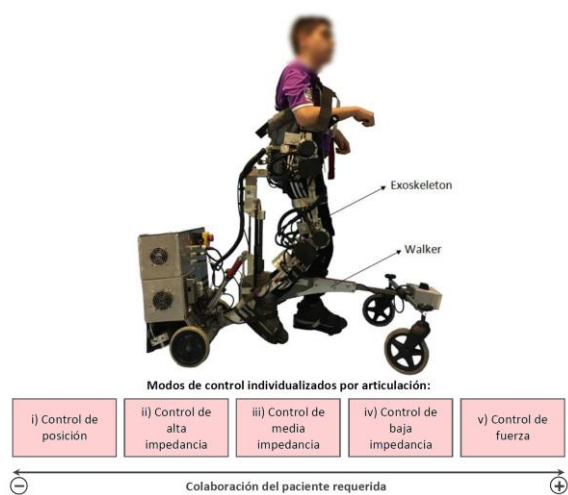


Figura 1. Dispositivo robótico CPWalker (exoesqueleto + andador) y posibles modos de control por articulación

Además del modo de control, el terapeuta puede seleccionar otros parámetros y variables dentro de cada sesión de tratamiento: PBWS, velocidad de marcha y porcentaje de rango de movimiento (ROM). Por otro lado, CPWalker también incluye una estrategia de biofeedback destinada a motivar al paciente para corregir activamente su postura de cabeza y tronco durante la marcha [5,7].

La variedad de modos de control, el número de parámetros ajustables, la facilidad para seleccionar variables de forma individualizada y la posibilidad de implementar diferentes estrategias relacionadas con la marcha en tiempo real, hacen que CPWalker sea una plataforma ideal para validar la propuesta de tratamiento robótico que presenta este manuscrito.

2.2 PROGRAMA DE ENTRENAMIENTO ROBÓTICO

Como se ha comentado en puntos anteriores, la propuesta de entrenamiento robótico está centrada en mejorar las principales funciones de la marcha derivadas de la ICF-CY [11]. Concretamente, los objetivos seleccionados de esta clasificación internacional son: i) movilidad y estabilidad de las articulaciones (b710, b715); ii) potencia muscular (b730); iii) resistencia muscular (b740); iv) control del movimiento voluntario (b760); v) patrón de marcha (b770); vi) conservación de la postura del cuerpo (d415); vii) desempeño de la marcha (d450); viii) funciones propioceptivas (b260); y ix) relaciones personales (d740).

Para alcanzar los objetivos anteriores, los autores realizaron previamente un estudio basado en la National Strength and Conditioning Association (NSCA) youth training guidelines [12], la cual sugiere que ejercicios explosivos de fuerza excéntrica deberían ser el comienzo de un entrenamiento adecuado para asegurar una mayor potencia muscular, con la posterior transferencia de las ganancias a la función de la marcha. De este modo, se determina que los ejercicios del tratamiento propuesto han de ser "multi-articulación", variando su intensidad dependiendo si se trabaja fuerza o potencia: la fuerza llevará asociada ejercicios de una carga alta con velocidad baja, mientras la potencia se trabajará con baja carga pero alta velocidad de movimiento.

De acuerdo con los objetivos de la ICF-CY y cumpliendo con los requisitos de la NSCA, el tratamiento robótico fue conceptualizado en dos fases, en las cuales las variables ROM, PBWS y velocidad fueron los principales parámetros bajo variación (Figura 2). Los pacientes entrenaron 2 días no consecutivos por semana, durante un total de 8 semanas (16 sesiones, Figura 2), con el objetivo de cumplir con el número de sesiones necesario para generar cambios neurales significativos [13]. Las sesiones consistieron en un calentamiento previo de 10-15 minutos, seguido de ejercicio de suelo con CPWalker durante 60 minutos, incluyendo finalmente 3 minutos de marcha autónoma como enfriamiento. Una descripción de cada fase de 8 sesiones sigue:

i. *Primera fase* (sesión 1 a 8): esta fase trató principalmente de mejorar el control motor, enseñando al paciente la secuencia correcta del movimiento e incrementando la fuerza. Se pidió a los pacientes seguir el movimiento proporcionado por el exoesqueleto con la mínima resistencia posible, empujando el suelo en cada paso e

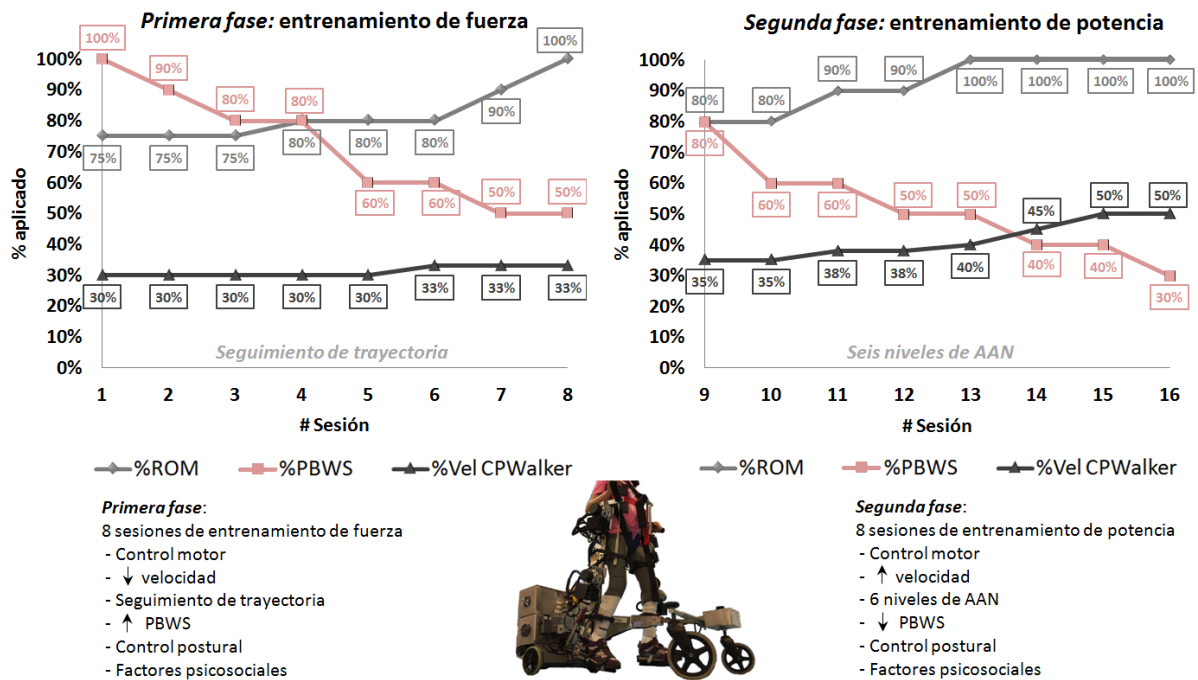


Figura 2. Visión general del programa de entrenamiento robótico. *Primera fase*: sesiones 1 a 8; *Segunda fase*: sesiones 9 a 16. Se hizo una evaluación del progreso de los pacientes antes de comenzar el tratamiento, después de la *primera fase* y al finalizar la *segunda fase*. Las variaciones de velocidad están representadas en porcentajes respecto al total de CPWalker que corresponde con 0.6 m/s.

intentando mantener la máxima flexión y extensión al final de cada ciclo de la marcha. Se dio instrucciones a los niños para hacerles comprender de una mejor forma el patrón de marcha, y durante las sesiones se proporcionó apoyo verbal. Durante toda esta *fase* el modo de control en todas las articulaciones del exoesqueleto fue un control de posición, progresando hacia menor PBWS y mayor ROM a medida que las sesiones eran superadas (Figura 2). El progreso de los parámetros a lo largo de las sesiones fue implementado cuando el personal clínico así lo consideró dependiendo de los niveles de espasticidad, fatiga y control motor presentados en la última sesión realizada. Si el paciente no estaba preparado para saltar al siguiente desafío, la sesión era repetida con los mismos porcentajes anteriores. Se seleccionaron momentos aleatorios de la primera sesión en los que se taparon los ojos del paciente para que éste pudiese sentir la realización del movimiento.

ii. *Segunda fase* (sesión 9 a 16): el objetivo de esta fase fue seguir entrenando el control motor pero ahora incrementando la potencia muscular al mismo tiempo. La contribución del paciente fue muy importante en esta fase para desarrollar neuroplasticidad y preservar la ganancia de control motor obtenida en la *primera fase* [14]. De este modo, se implementaron diferentes niveles de asistencia según necesidad (AAN) relacionados con los distintos modos de control de CPWalker [5] (Tabla 1). El ROM inicial de esta *fase* fue seleccionado al 80%, y alcanzó el 100% en la sesión

13, tiempo en el cual la velocidad fue incrementada (Figura 2). Además, el PBWS de esta fase llegó hasta el 30% del peso total del paciente.

Tabla 1. Niveles de asistencia en cada articulación del exoesqueleto según la fase de tratamiento implementada

	1ª fase		2ª fase				
Nivel	0	1	2	3	4	5	6
Cadera	P	AI	MI	MI	MI	LI	LI
Rodilla	P	P	P	AI	MI	MI	LI

Durante ambas *fases*, la posición de la cabeza y el tronco de los pacientes fueron monitorizadas a través de la estrategia de control postural de CPWalker. Se proporcionó un feedback acústico cada vez que estas posiciones fueron inapropiadas, lo que ayudó a motivar a los niños a mantener una postura correcta durante la marcha rectificando por ellos mismos en caso de ser necesario. Este ejercicio postural permite facilitar el desarrollo de cualquier actividad de la vida diaria, mejora la interacción social del paciente, la participación y la comunicación [10,15].

2.3 MÉTRICAS

Con el objetivo de medir de forma objetiva la evolución de los pacientes, y debido a la falta de homogeneidad entre niños con PC, los autores decidieron evaluar la progresión de la terapia

comparando cada paciente consigo mismo en lugar de mantener un grupo de control. Así los análisis y métricas de evaluación representados en la Tabla 2 se llevaron a cabo para cada usuario en tres ocasiones: antes de comenzar el tratamiento (pre), después de 8 sesiones (medio) y al finalizar el conjunto de 16 sesiones (post).

Tabla 2. Métricas de evaluación y momento de aplicación

Métrica	Pre	Medio	Post
Test 10 m (10mwt) [16]	*	*	*
Test 6 min (6mwt) [17]	*	*	*
Análisis 3D de marcha	*	*	*
Medida fuerza isométrica máxima	*	*	*
Evaluación control selectivo extremidades inferiores (SCALE) [18]	*	*	*
GMFM-88, dimensiones D y E [19]	*		*
Kinesiofobia Cuestionario evaluación funcional Gillette [20]	*		*
Motivación del paciente	Durante cada una de las sesiones		

2.4 PACIENTES

Cuatro pacientes con PC espástica (dos niños, dos niñas, peso 44.75 ± 6.29 kg, altura 1.56 ± 0.29 m y edad 14.50 ± 2.38 años) fueron seleccionados para formar parte del estudio (P1, P2, P3 y P4 en Tabla 3). Los criterios de inclusión para el reclutamiento de pacientes fueron: i) niños entre 11 y 18 años que sufran de diplegia espástica; ii) niveles de la Gross Motor Function Classification System (GMFCS) entre I y IV; iii) peso máximo 75kg; iv) medidas antropométricas de las extremidades inferiores de acuerdo a las limitaciones del exoesqueleto de CPWalker; v) capaces de entender los ejercicios propuestos; y vi) capaces de avisar si surge dolor. Los criterios de exclusión fueron: i) pacientes que hubieran recibido tratamientos concomitantes en un período de 3 meses antes del estudio (ej. cirugía ortopédica o toxina botulínica); ii) niños con deformidades musculoesqueléticas o lesiones superficiales en las extremidades inferiores que puedan ser un problema para el uso del exoesqueleto; iii) pacientes con alteraciones críticas del control

motor como distonía, coreoatetosis o ataxia; iv) comportamientos agresivos; y v) discapacidades cognitivas severas.

El estudio fue llevado a cabo en el Hospital Infantil Universitario Niño Jesús. El Comité de Ética del hospital dio la aprobación del estudio (R-0032/12), garantizando su cumplimiento con la Declaración de Helsinki. Todos los participantes fueron informados y se requirió un consentimiento informado parental antes de comenzar el tratamiento.

Tabla 3. Descripción de los pacientes

Paciente	Género	Edad	GMFCS	Peso (kg)	Altura (m)
P1	Femenino	12	III	40	1.56
P2	Femenino	16	II	42	1.60
P3	Masculino	17	III	54	1.53
P4	Masculino	13	II	43	1.55

3 RESULTADOS

Debido a razones no relacionadas con el estudio, tres de los cuatro pacientes (P1, P2 y P4) completaron 15 del total de 16 sesiones. Concretamente, P1 perdió la sesión 8, P2 la sesión 7 y P4 la 11. El resto del tratamiento fue completado de forma exitosa.

Las modificaciones de parámetros propuestas en la Figura 2 fueron completadas sin problemas por todos los pacientes. Sin embargo, cada usuario progresó de forma independiente en cuanto a los niveles de asistencia de la Tabla 1 (ver Figura 3).

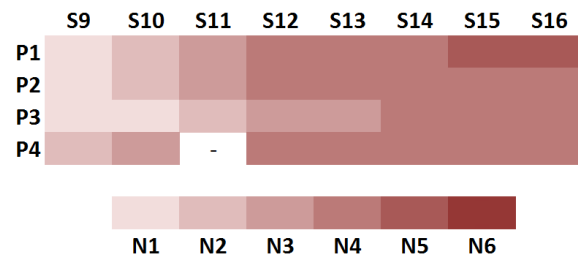


Figura 3. Niveles de asistencia (N1-N6) dependiendo del progreso del paciente en las sesiones de la segunda fase del tratamiento. El paso de un nivel a otro fue dado cuando el paciente alcanzó al menos el 85% del patrón implementado en cada sesión. El nivel para P4 en la sesión 10 no está representado porque este paciente perdió la sesión.

3.1 VELOCIDAD DE MARCHA, RESISTENCIA Y RESPUESTAS GLOBALES

Todos los pacientes mejoraron los resultados en las dimensiones D y E de la GMFM-88. La comparación de los estudios pre y post en esta escala, muestra

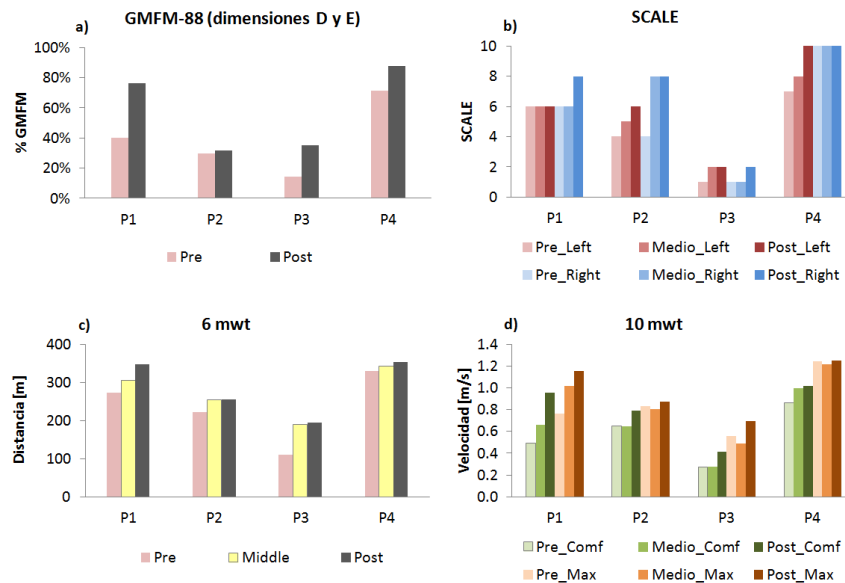


Figura 4. (a) Resultados de la GMFM-88 en dimensiones D y E, (b) SCALE, (c) 6mwt, y (d) 10mwt para los análisis pre, medio y post en los pacientes P1 a P4. La medida de SCALE fue medida bilateralmente (izquierda y derecha). El test de los 10m fue realizado en dos situaciones: velocidad confortable y velocidad máxima.

mejoras del 36.60% para P1, 1.87% para P2, 20.81% para P3 y 16.23% para P4 (Figura 4-a).

La evaluación SCALE también mostró resultados favorables al final del tratamiento robótico (Figura 4-b), donde la mayoría de medidas fueron incrementadas o mantenidas en el nivel máximo de 10 puntos.

Finalmente, tanto la distancia caminada en el 6mwt como la velocidad alcanzada en el 10mwt se incrementaron después del período de rehabilitación (Figura 4-c y d). En el 10mwt se evaluaron dos situaciones: velocidad confortable y velocidad máxima. Las progresiones concretas de cada paciente fueron: P1 (6mwt: 26.92%; 10mwt_{comf}: 94.69%; 10mwt_{max}: 51.84%); P2 (6mwt: 14.86%; 10mwt_{comf}: 21.85%; 10mwt_{max}: 5.18%); P3 (6mwt: 75.68%; 10mwt_{comf}: 52.21%; 10mwt_{max}: 24.60%) and P4 (6mwt: 7.27%; 10mwt_{comf}: 18.60%; 10mwt_{max}: 0.81%).

3.2 PROGRESIÓN DE LA FUERZA

Para cuantificar la fuerza máxima realizada por cada paciente, se tomaron tres medidas con un dinamómetro manual microFET2 (Hoggan Scientific LLC, USA) para diferentes movimientos requeridos: dorsiflexión, flexión plantar, flexión-extensión de rodilla, flexión-extensión de cadera, abducción y adducción. Posteriormente, se realizó la media de las medidas tomadas. Concretamente, las mejoras generales (incluyendo todos los movimientos requeridos) fueron: P1: 129.77±58.71%; P2: 61.39±58.55%; P3: 70.54±83.68% and P4: 34.41±30.41%.

3.3 VARIABILIDAD CINEMÁTICA Y ESPACIOTEMPORAL

El análisis cinemático de la marcha en 3D, y en concreto los índices "Gait Profile Score" (GPS) y "Gait Deviation Index" (GDI), dan una visión del acercamiento de la marcha de un paciente respecto a la normalidad. Como puede observarse en la Figura 5, todos los pacientes obtuvieron resultados más cercanos a la normalidad en ambos índices para ambas extremidades (izquierda y derecha), comparando los análisis pre y post.

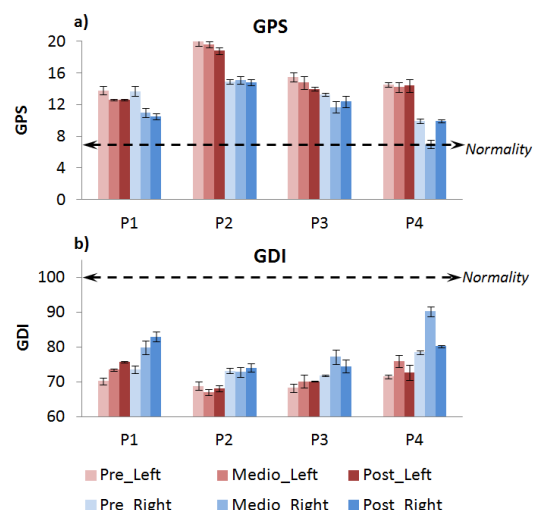


Figura 5. (a) GPS y (b) GDI para los análisis pre, medio y post en los pacientes P1 a P4. Las gráficas muestran la media ± desviación estándar de forma bilateral. La normalidad en GPS (<7) y en GDI (>100).

En cuanto a la media de mejoras para los cuatro pacientes en los parámetros espaciotemporales, fueron: $21.46 \pm 33.79\%$ en velocidad media, $2.84 \pm 13.96\%$ para cadencia y $17.95 \pm 20.45\%$ en longitud de paso.

3.4 VARIABLES CUALITATIVAS

La motivación de los usuarios fue evaluada por el personal encargado del estudio cada día de terapia. La medida media de motivación alcanzada por cada paciente en una escala de 0 a 10 puntos fue: 9.4 para P1, 8.6 para P2, 9.44 para P3 y 8.87 para P4. Además, tres de los cuatro pacientes disminuyeron su índice de kinesiofobia después de las 16 sesiones robóticas.

Los familiares de los cuatro pacientes rellenaron un cuestionario de evaluación funcional (Gillette) al comienzo del tratamiento y al final del mismo. Los resultados de estos cuestionarios muestran que todos los familiares piensan que la fuerza y la movilidad de los pacientes mejoró gracias a la terapia robótica. Además, la mitad de ellos incluyeron la resistencia como otro de los parámetros mejorados en el tratamiento. El 100% de los familiares encuestados se mostraron satisfechos con la terapia llevada a cabo en CPWalker, y aseguraron que la volverían a repetir.

Respecto a la opinión de los pacientes, en general todos los niños describieron el tratamiento como "muy divertido", "el robot te hace sentirte más independiente y ligero" y "seguro".

4 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El principal objetivo de este paper fue proporcionar una primera aproximación sobre la implementación de una terapia robótica definida, la cual pueda cubrir los aspectos clínicos más importantes de la ICF-CY. Esta propuesta fue evaluada en cuatro pacientes pediátricos con PC, lo cual proporcionó resultados preliminares de nuestra investigación.

De acuerdo a los resultados, las mejoras más importantes correspondieron a los pacientes P1 y P3, que por su parte eran los niños con niveles más afectados de la GMFCS (III en ambos casos). En general, se alcanzaron valores más altos de velocidad de marcha y respuestas globales en distintos test realizados.

La parte más importante del tratamiento fue la *segunda fase*, donde se adaptó el nivel de asistencia a cada usuario según su progreso en la terapia.

Las mayores contribuciones de esta propuesta se dan en la posibilidad de ejercitar diferentes funciones de la marcha de una forma ordenada, individualizada por articulación y al mismo tiempo que se desarrolla un entrenamiento con desplazamiento real. Respecto al control postural llevado a cabo en paralelo al entrenamiento de marcha, consideramos que fue un factor clave del estudio.

Esta propuesta de tratamiento robótico puede ser implementada en cualquier dispositivo de rehabilitación de la marcha preparado para ello.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto de Biomecánica de Valencia su colaboración en el desarrollo del proyecto CPWalker. También se aprecia el aporte de la doctora Deborah Gaebler en el desarrollo de la propuesta de tratamiento.

Agradecemos a la empresa Made for Movement por su donación con el dispositivo NF-Walker.

Finalmente, damos gracias a todos los pacientes y familiares que colaboraron en este estudio.

Referencias

- [1] Palisano R, Rosenbaum P, Walter S, Russell D, Wood E, Galuppi B. Gross Motor Function Classification System. *Dev Med Child Neurol* 1997;39:214–23.
- [2] Dietz V. Clinical Aspects for the Application of Robotics in Locomotor Neurorehabilitation. In: Reinkensmeyer DJ, Dietz V, editors. *Neurorehabilitation Technol.*, Springer; 2016, p. 209–21. doi:10.1007/978-3-319-28603-7_11.
- [3] Meyer-Heim A, van Hedel HJ a. Robot-assisted and computer-enhanced therapies for children with cerebral palsy: current state and clinical implementation. *Semin Pediatr Neurol* 2013;20:139–45. doi:10.1016/j.spen.2013.06.006.
- [4] van Asseldonk EHF, van der Kooij H. Robot-Aided Gait Training with LOPES. In: Dietz V, editor. *Neurorehabilitation Technol.*, London: Springer London; 2012, p. 379–96. doi:10.1007/978-1-4471-2277-7_21.
- [5] Bayón C, Ramírez O, Serrano JI, Castillo MD Del, Pérez-Somarriba A, Belda-Lois JM, et al. Development and evaluation of a novel robotic platform for gait rehabilitation in patients with Cerebral Palsy: CPWalker. *Rob Auton Syst* 2017;91:101–14. doi:10.1016/j.robot.2016.12.015.
- [6] Bartenbach V, Gort M, Riener R. Concept and Design of a Modular Lower Limb Exoskeleton. 6th IEEE RAS/EMBS Int. Conf. Biomed. Robot. Biomechatronics, 2016, p. 649–54. doi:10.1109/BIOROB.2016.7523699.
- [7] Bayón C, Lerma S, Ramírez O, Serrano JI, Del Castillo MD, Raya R, et al. Locomotor training through a novel robotic platform for gait rehabilitation in pediatric population: short report. *J Neuroeng Rehabil* 2016;13:98. doi:10.1186/s12984-016-0206-x.
- [8] Rüdts S, Moos M, Seppey S, Riener R,

- Marchal-Crespo L. Towards More Efficient Robotic Gait Training: A Novel Controller to Modulate Movement Errors. 6th IEEE RAS/EMBS Int Conf Biomed Robot Biomechatronics 2016:884–9.
- [9] Lefmann S, Russo R, Hillier S. The effectiveness of robotic-assisted gait training for paediatric gait disorders: systematic review. *J Neuroeng Rehabil* 2017;14:1. doi:10.1186/s12984-016-0214-x.
- [10] Wallard L, Dietrich G, Kerlirzin Y, Bredin J. Robotic-assisted gait training improves walking abilities in diplegic children with cerebral palsy. *Eur J Paediatr Neurol* 2017;1–8. doi:10.1016/j.ejpn.2017.01.012.
- [11] World Health Organization. International Classification of Functioning, Disability and Health, children and youth version. World Health Organization; 2007.
- [12] Faigenbaum, Avery D. Kramer, W. Blimkie C. Youth Resistance Training: updated position statement paper from the National Strength and Conditioning Association. *J Strength Con Res* 2009;23:60–79. doi:10.1519/JSC.0b013e31819df407.
- [13] Damiano DL, Abel MF, Di AD, Mf A. Functional outcomes for strenght training in spastic cerebral palsy. *Arch Phys Med Rehabil* 1998;79:119–25.
- [14] Van Asseldonk EHF, Veneman JF, Ekkelenkamp R, Buurke JH, Van Der Helm FCT, Van Der Kooij H. The effects on kinematics and muscle activity of walking in a robotic gait trainer during zero-force control. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng* 2008;16:360–70. doi:10.1109/TNSRE.2008.925074.
- [15] Dewar R, Love S, Johnston LM. Exercise interventions improve postural control in children with cerebral palsy: a systematic review. *Dev Med Child Neurol* 2014. doi:10.1111/dmcn.12660.
- [16] Rehabilitation Measures Database. Timed 10-Meter Walk Test. Timed 10-M Walk Test n.d. www.rehabmeasures.org (accessed August 11, 2016).
- [17] Crapo RO, Casaburi R, Coates AL, Enright PL, MacIntyre NR, McKay RT, et al. ATS statement: Guidelines for the six-minute walk test. *Am J Respir Crit Care Med* 2002;166:111–7. doi:10.1164/rccm.166/1/111.
- [18] Fowler EG, Staudt LA, Greenberg MB, Oppenheim WL. Selective Control Assessment of the Lower Extremity (SCALE): Development, validation, and interrater reliability of a clinical tool for patients with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol* 2009;51:607–14. doi:10.1111/j.1469-8749.2008.03186.x.
- [19] Russell DJ, Rosenbaum PL, Avery LM, Lane M. Gross motor function measure (GMFM-66 and GMFM-88) user’s manual. Press, Cambridge University; 2002.
- [20] Gorton GE, Stout JL, Bagley AM, Bevans K, Novacheck TF, Tucker CA. Gillette Functional Assessment Questionnaire 22-item skill set: Factor and Rasch analyses. *Dev Med Child Neurol* 2011;53:250–5. doi:10.1111/j.1469-8749.2010.03832.x.