



EFFECTOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL CPWALKER EN LOS PARÁMETROS BIOMECÁNICOS DE LA REHABILITACIÓN DE LA MARCHA

Carlos Andrés Cifuentes, Luis Felipe Aycardi Cuellar, Marcela Múnera

**Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito
Bogotá, Colombia**

Cristina Bayón, Óscar Ramírez, Eduardo Rocon

**Centro de Automática y Robótica, Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Madrid, España**

Sergio Lerma

**Hospital Infantil Universitario Niño Jesús
Madrid, España**

Anselmo Frizera,

**Universidade Federal do Espírito Santo Vitória
Vitória, Brasil**

Resumen

La Parálisis Cerebral (PC) es la causa más común de discapacidad severa y permanente en la infancia, distorsionando la interacción social y física normal de niños con su entorno, a nivel mundial. El CPWalker es una plataforma robótica a través de la cual los niños con PC pueden experimentar autonomía en la marcha durante terapias de rehabilitación. El objetivo principal de este trabajo es presentar generalidades de la plataforma y su impacto en la rehabilitación de la marcha, mediante la evaluación de su implementación en términos de los efectos sobre parámetros biomecánicos de la marcha patológica. Para lo anterior, se compararon algunos parámetros del ciclo de marcha de 8 pacientes en 3 etapas de evaluación

clínica, encontrando diferencias en algunas variables generales, ángulos pélvicos y fuerzas de propulsión.

Palabras clave: marcha; plataforma robótica; rehabilitación

Abstract

Cerebral Palsy (CP) is the most common cause of severe and permanent disability in childhood, distorting normal social and physical interaction of children with their environment, all around the globe. The CPWalker is a robotic platform through which children with CP can experience gait autonomy during rehabilitation therapies and can increase the level of intensity and frequency of the exercises. This will enable the maintenance of therapeutic methods on a daily basis and lead to significant improvements in the treatment results. The main objective of this work is to present the main components and generalities of the platform and its impact on gait rehabilitation, by evaluating its implementation in terms of the effects on the biomechanical parameters of pathological gait. Some gait cycle parameters of 8 patients were compared in 3 stages of clinical evaluation, finding differences in some general variables, pelvic angles and legs propulsion.

Keywords: *gait; robotic platform; rehabilitation*

1. Introducción

La Parálisis Cerebral (PC) es un desorden del movimiento y postura atribuido a un defecto o lesión en el cerebro en proceso de desarrollo de los niños. La PC se encuentra asociada normalmente a una amplia gama de condiciones físicas como las discapacidades cognitivas, dificultades en la comunicación y ejecución de movimientos finos, desordenes de comportamiento y problemas secundarios del sistema musculoesquelético (Bax et al., 2014).

Estudios de la Organización Mundial de la Salud (OMS) revelan que la parálisis cerebral infantil es la primera causa de discapacidad motora de los niños en el mundo. En el contexto colombiano, si bien no se conocen cifras exactas de incidencia, según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) la cifra de personas con alguna discapacidad es de 2'652.000 habitantes y de estos, se calcula que el 10 por ciento son niños con PC (Gran Fundación, 2011). Teniendo en cuenta este panorama, actualmente se han desarrollado una gran cantidad de ayudas tecnológicas y en especial robóticas que asisten y participan en la rehabilitación de personas con discapacidad en la marcha, teniendo muchas de ellas gran incidencia. Inclusive, la experiencia clínica sugiere que el entrenamiento de marcha que se realiza a niños con deficiencias cognitivas podría realizarse de manera más efectiva, si se implementara robótica de asistencia en las terapias (Fasoli et al., 2012). Sin embargo, muchos de los dispositivos actuales están enfocados sólo en controlar trayectorias de movimiento, olvidando el control postural del usuario y la adaptación de la terapia a

las necesidades específicas de cada paciente, por lo que existe un campo de acción aún inexplorado.

2. Plataforma robótica

El CPWalker (Bayón et al., 2017) es una nueva plataforma robótica en la rehabilitación de la marcha de niños con PC y otros desórdenes del movimiento similares, formada por un caminador inteligente con sistema de control de peso y locomoción autónoma y un exoesqueleto robótico que realiza el movimiento guiado de las articulaciones. Ésta, destaca respecto a otros dispositivos robóticos pediátricos, en el hecho de incluir la posibilidad de mejorar el control postural del paciente durante la marcha, adaptando la terapia a las necesidades demandadas por el usuario; y lo que se conoce como el acercamiento "Top-down", en el cual se integra el sistema nervioso central (SNC) dentro de la rehabilitación (Belda-Lois et al., 2011).

Como se aprecia en la Figura 1, la plataforma cuenta con una interfaz que monitorea la generalidad de los patrones de marcha. En ella se destacan el sensor láser (LRF, sus siglas en inglés) con el cual se determinan parámetros como la cadencia, la longitud de paso y la velocidad de marcha entre otros; el sistema de elevación y soporte para el usuario para adecuar e intervenir la postura durante el ciclo de marcha; galgas, potenciómetros y sensores inerciales (IMU, sus siglas en inglés) para un monitoreo general del paciente y un PC-104, un computador embebido en el que se realiza la integración sensorial y las estrategias generales de control (Cifuentes et al., 2016)(Bayón et al., 2017).

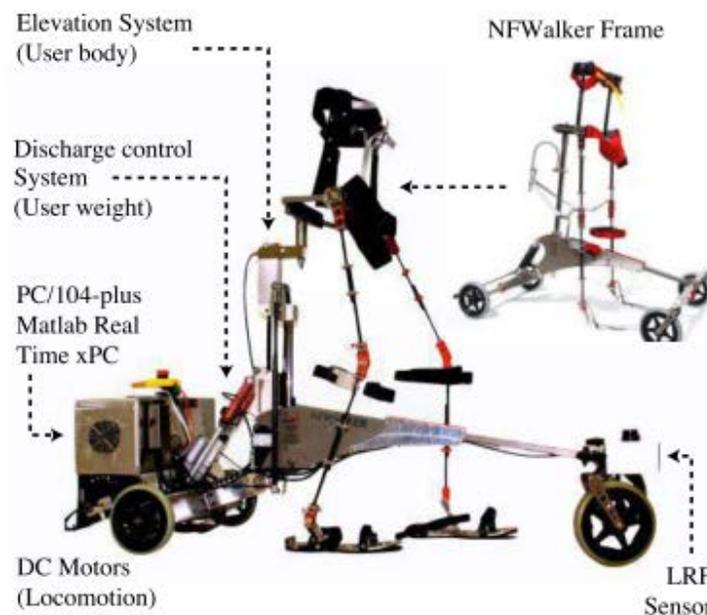


Figura 1. Plataforma robótica CPWalker (Cifuentes et al., 2016).

3. Evaluación clínica

El estudio realizado con la plataforma tuvo lugar en el Hospital Niño Jesús de Madrid-España, e incluyó un total de 8 pacientes pediátricos con diplegia espástica (6 de ellos debido a PC y 2 debido a daño cerebral adquirido). El estudio fue dividido en 3 etapas con el fin de determinar el impacto del uso de CPWalker en los diferentes parámetros biomecánicos de la marcha. En las 3 etapas se implementó el protocolo G-Walk del sensor inercial G-Sensor de la empresa BTS (BTS Bioengineering, 2015) con el fin de mantener un registro de la actividad de los pacientes en términos de la biomecánica de la marcha. En la Figura 2 se muestra la preparación realizada para el procedimiento de una de las etapas de evaluación.

Primero, los pacientes caminaron en línea recta en un cuarto del hospital, alrededor de 2 minutos, con la ayuda pertinente para cada uno de acuerdo con la clasificación del grado de independencia en la marcha especificado en la Tabla 1. Después, con la plataforma caminaron por rutas determinadas en el hospital, por entre 5 a 15 minutos, teniendo en cuenta que el exoesqueleto se encontraba en modo pasivo y que la única estrategia de control implementada fue la del caminador. Por último, se repitió la primera etapa para evaluar posibles cambios de su uso en la terapia a corto plazo.

Categoría	Definición
A	Caminan con muletas
B	Caminan soportados por otra persona
C	Caminan solos

Tabla 1. Clasificación de pacientes por el grado de independencia en la marcha.

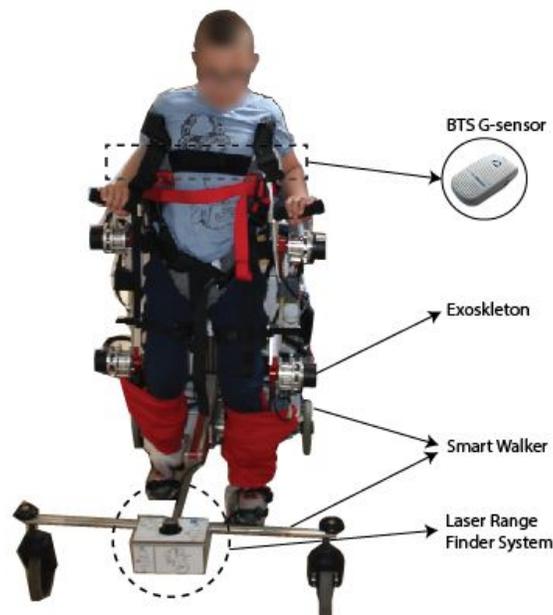


Figura 2. Preparación para la etapa 2 del estudio clínico.

4. Análisis del impacto

El estudio realizado, evidenció que existen diferencias en los patrones de marcha de las tres categorías en que se clasificaron a los pacientes, principalmente en el análisis de las variables controladas con la estrategia de velocidad implementada en el caminador, como se observa en la Tabla 2.

Paciente	Categoría	Velocidad media	Desviación estándar
1	A	0.265	0.019
2	A	0.203	0.027
3	B	0.361	0.097
4	B	0.211	0.054
5	B	0.202	0.056
6	B	0.111	0.040
7	C	0.315	0.018
8	C	0.294	0.016

Tabla 2. Velocidades durante marcha con plataforma.

Los pacientes con muletas registraron una velocidad de marcha menor a los que caminaban solos, como era de esperar, y ambos grupos presentaron una desviación estándar relativamente pequeña, evidenciando una marcha con velocidades constantes. Los pacientes del grupo C, en cambio, presentaron una desviación estándar considerablemente mayor a los otros dos grupos y además una velocidad media de marcha en un rango mucho mayor, lo que es un indicador de las fluctuaciones existentes en la marcha de estos pacientes. Debido a que la única estrategia de control activa fue la del caminador, se puede pensar que, en futuros estudios, cuando se incluya la corrección basada en la actuación activa del exoesqueleto, se podrá ayudar en la corrección y el acompañamiento del efecto observado.

Por otro lado, la terapia con la plataforma mostró incidencia en algunos parámetros biomecánicos de la marcha, sin depender de manera directa de la categoría en que los pacientes fueron clasificados. A todos estos se les aplicó una prueba estadística no paramétrica para comparar el rango medio de variables relacionadas (Wilcoxon), con un alfa (α) de 5%, pues como era de esperarse ninguno presentó una distribución normal, y en las Tablas 3,4 y 5 se muestra la lista de los parámetros que se vieron modificados durante la terapia.

Parámetro	p-valor Antes/Durante terapia	p-valor Antes/Después terapia	Efecto durante la terapia
Cadencia	0.015	0.203	Disminuyó
Velocidad	0.007	0.148	Disminuyó
Longitud de zancada	0.015	0.984	Disminuyó

Tabla 3. Parámetros espacio-temporales modificados durante la terapia.

Categoría	Parámetro	p-valor Antes/Durante terapia	p-valor Antes/Después terapia	Efecto durante la terapia
Fuerza de propulsión	Derecho	0.023	0.941	Disminuyó
Fuerza de propulsión	Izquierdo	0.031	0.945	Disminuyó

Tabla 4. Parámetros del ciclo de marcha general modificados durante la terapia.

Parámetro	Lado	p-valor Antes/Durante terapia	p-valor Antes/Después terapia	Efecto durante la terapia
Rango de inclinación	Derecho	0.007	0.781	Disminuyó
Rango de inclinación	Izquierdo	0.023	0.656	Disminuyó
Rango de oblicuidad	Derecho	0.015	0.156	Disminuyó
Rango de oblicuidad	Izquierdo	0.015	0.843	Disminuyó
Rango de rotación	Derecho	0.015	0.734	Disminuyó
Rango de rotación	Izquierdo	0.015	0.496	Disminuyó

Tabla 5. Parámetros de ángulos pélvicos modificados durante la terapia.

Todos los resultados mostraron un aumento en la estabilidad durante la marcha con la plataforma y una disminución de la asimetría de los patrones marcha de los pacientes. Si bien no se encontraron cambios significativos en las variables entre el antes y el después de la terapia, los cambios que se apreciaron durante la intervención con el CPWalker son prometedores en el campo de la rehabilitación motora. Se puede esperar de la plataforma, una contribución a la rehabilitación de los músculos del tronco (en términos de la dinámica y ergonomía durante la marcha) y al aprendizaje de patrones normales de la marcha (incluyendo parámetros espacio-temporales y rangos de movimiento pélvico) tomando como indicios los resultados de la terapia aplicada. Sin embargo, los efectos específicos de la misma se verán con mayor claridad a largo plazo, producto de un trabajo más consistente en el tiempo y son necesarios investigaciones a futuro.

5. Referencias

Artículos de revistas

- Bax, M., Goldstein, M., Rosenbaum, P., Leviton, A., Paneth, N., Dan, B., Jacobsson, B. and Damiano, D. (2014). Proposed definition and classification of cerebral palsy , April 2005, Executive Committee for the Definition of Cerebral Palsy, 571–576. <http://doi.org/10.1017/S001216220500112X>
- Bayón, C., Ramírez, O., Serrano, J. I., Castillo, M. D. Del, Pérez-Somarriba, A., Belda

- Lois, J. M., ... Rocon, E. (2017). Development and evaluation of a novel robotic platform for gait rehabilitation in patients with Cerebral Palsy: CPWalker. *Robotics and Autonomous Systems*, 91, 101–113. <http://doi.org/10.1016/j.robot.2016.12.015>
- Belda-Lois, J.-M., Mena-del Horno, S., Bermejo-Bosch, I., Moreno, J. C., Pons, J. L., Farina, D., ... Rea, M. (2011). Rehabilitation of gait after stroke: a review towards a top down approach. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 8(1), 66. <http://doi.org/10.1186/1743-0003-8-66>
- Fasoli, S. E., Ladenheim, B., Mast, J., & Krebs, H. I. (2012). New Horizons for Robot Assisted Therapy in Pediatrics. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 91(11), S280–S289. <http://doi.org/10.1097/PHM.0b013e31826bcff4>

Memorias de congreso

- Cifuentes, C. A., Bayon, C., Lerma, S., Frizera, A., & Rocon, E. (2016). Human-Robot Interaction Strategy for Overground Rehabilitation in Patients with Cerebral Palsy, 737–742. <http://doi.org/10.1109/BIOROB.2016.7523713>

Fuentes electrónicas

- Gran Fundación. (2011). Parálisis cerebral infantil tiene tratamiento. Retrieved April 17, 2017, from <http://www.granfundacion.org/index.php/component/content/article/42discapacidad/174-paralisis-cerebral-infantil-tiene-tratamiento-.html>
- BTS Bioengineering. (2015). BTS Bioengineering | BTS G-WALK. Retrieved April 16, 2017, from <http://www.btsbioengineering.com/products/kinematics/bts-g-walk/>

Sobre los autores

- **Carlos Andrés Cifuentes:** Ingeniero Electrónico, Master en Ingeniería Biomédica, Doctor en Ingeniería Eléctrica de Universidade Federal do Espírito Santo Vitória, Brasil. Profesor del programa de Ingeniería Biomédica en la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito y profesor visitante en la Universidade Federal do Espírito Santo Vitória, Brasil. carlos.cifuentes@escuelaing.edu.co
- **Luis Felipe Aycardi Cuellar:** Ingeniero Biomédico. Joven Investigador Colciencias. luis.aycardi-c@escuelaing.edu.co
- **Marcela Múnera:** Bioingeniera, Master en Ingeniería Mecánica, Doctora en Mecánica y Biomecánica de la Universidad de Reims Champagne-Ardenne, Francia. Profesora del programa de Ingeniería Biomédica en la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. marcela.munera@escuelaing.edu.co
- **Cristina Bayón:** Ingeniera Industrial, Ingeniera Mecánica, actualmente desarrollando su tesis de doctorado en el Consejo Superior de Investigaciones Científicas en Madrid, España. cristina.bayon@csic.es

- **Óscar Ramírez:** Estudio medio en Equipamiento Técnico, Estudio superior en Desarrollo de Productos Electrónicos. oscar.ramirez@csic.es
- **Sergio Lerma:** Fisioterapeuta, Master en Estudio y Tratamiento de Dolor. Profesor del programa de Fisioterapia en CSEU de La Salle-UAM. Universidad Autónoma de Madrid. Hospital Infantil Universitario Niño Jesús, España. slermalara@yahoo.es
- **Anselmo Frizera:** Ingeniero Eléctrico, Doctor en Ingeniería Electrónica de la Universidad de Alcalá, España. Profesor en la Universidade Federal do Espírito Santo Vitória, Brasil. anselmo@ele.ufes.br
- **Eduardo Rocon:** Ingeniero Eléctrico, Doctor en Robótica de la Universidad Politécnica de Madrid. Investigador en el Consejo Superior de Investigaciones Científicas en Madrid, España. e.rocon@csic.es

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2017 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)