



REHABILITACIÓN ROBÓTICA DE LA MARCHA CON LOKOMAT EN COLOMBIA: ESTADO ACTUAL Y OPORTUNIDADES DE LA ROBÓTICA SOCIAL

Alexandra Marroquín Alonso, Laura Jiménez, Juan Sebastián Lara Ramírez, Marcela Múnera, Maria C. Gómez, Luis E. Rodríguez, Sandra Rodríguez Cheu, Carlos A. Cifuentes

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Clínica Universidad La Sabana,
Mobility Group
Bogotá, Colombia

Resumen

El uso de los robots ha contribuido en áreas de rehabilitación motora y cognitiva. En rehabilitación física, los avances en dispositivos robóticos para asistencia de la marcha cada día están mostrando ser una alternativa importante y efectiva, como lo es el Lokomat, que ya ha sido evaluado clínicamente y ha mostrado buenos avances en la rehabilitación de la marcha en pacientes con algún tipo de lesión neurológica. Teniendo en cuenta las ventajas de la rehabilitación física con Lokomat, se realizó un diagnóstico para conocer cómo se está desarrollando esta terapia en Colombia y qué perspectiva tienen los pacientes sobre este dispositivo mediante una encuesta y observaciones que también permitieron identificar variables que se podrían implementar en la terapia. Por otro lado, la robótica de asistencia social también ha mostrado muchas aplicaciones en la terapia ocupacional y ha mostrado importantes resultados. Considerando los beneficios de estas aplicaciones robóticas, se plantea también una propuesta de integración de un robot social a la terapia de rehabilitación física.

Palabras clave: rehabilitación de la marcha; Lokomat; robótica de asistencia social

Abstract

The use of robots has contributed in areas of motor and cognitive rehabilitation. In physical rehabilitation, advances in robotic devices for gait assistance has become an

important and effective alternative such as Lokomat, which has already been clinically evaluated and has shown good advances in the gait rehabilitation in patients with some type of neurological injury. Taking into account the advantages of physical rehabilitation with Lokomat, a diagnosis was made to know how this therapy is being developed in Colombia and the perspectives of the patients about this device through a survey and observations that also allowed to identify variables that could be implemented in the therapy. On the other hand, socially assistive robotics has also shown many applications in occupational therapy and has shown important results. Considering the benefits of these robotic applications, there is also a proposal for integrating a social robot in the physical rehabilitation therapy.

Keywords: *robotic-assisted gait training; Lokomat; socially assistive robotics*

1. Introducción

Aproximadamente el 15% de la población del mundo padece de alguna discapacidad (World Health Organization, 2011). En Colombia, el 2.6% de la población posee algún tipo de discapacidad y alrededor del 33% corresponde a discapacidades motoras y limitaciones en la marcha (Ministerio de Salud, 2016). De igual forma, la pérdida total o parcial de habilidades motoras en miembros inferiores y/o superiores se debe principalmente a enfermedades y lesiones neurológicas, entre los desórdenes neurológicos más comunes se encuentran los accidentes cerebrovasculares (ACV), la lesión medular y la parálisis cerebral (PC), los cuales afectan capacidades motoras como movilidad, fuerza, resistencia muscular, tono, control de movimiento y patrones de la marcha. El tratamiento de los trastornos mencionados se conoce como rehabilitación física, esta busca recuperar o mejorar las habilidades motoras de un paciente y tiene una gran relevancia a nivel clínico, ya que ayuda al paciente a alcanzar una mejor calidad de vida y una mayor independencia. Por tal razón, actualmente existen varias investigaciones centradas en desarrollar y evaluar terapias de rehabilitación diferentes a la terapia convencional, un ejemplo de lo anterior, son las terapias asistidas con robots, las cuales han mostrado muchas ventajas como el desarrollo de sesiones con mayor duración, aumento en el número de repeticiones y la evaluación y el monitoreo del desempeño del paciente en línea. Uno de los mayores efectos de lo anterior, es que hoy en día distintas terapias están basadas completamente en dispositivos robóticos, por ejemplo, en la rehabilitación de la marcha, varias plataformas robóticas como lo es el Lokomat de Hocoma, se han convertido en una alternativa viable (Colombo, et al., 2000). Este dispositivo funciona como una guía para las piernas en un patrón de marcha predefinido, el sistema cuenta con una banda sin fin y provee soporte de peso por medio de una órtesis de miembros inferiores (Collantes, et al., 2012).

Actualmente, el Lokomat es uno de los robots de rehabilitación más utilizados y validados, ya que hay investigaciones en las que se evalúa y demuestra que las terapias de rehabilitación de la marcha son efectivas con este dispositivo. Algunos ejemplos de lo anterior se muestran a continuación: en pacientes que han sufrido una lesión medular, la rigidez aumenta de forma irregular, pero con el entrenamiento con el

Lokomat estos efectos disminuyen significativamente (Mirbagheri, et al., 2012), otro estudio realizado en pacientes con parálisis cerebral espástica bilateral, muestra mejoras significativas en la marcha empleando el Lokomat (Borggraefe, et al., 2010). Sin embargo, la eficacia del proceso de rehabilitación depende de la duración, frecuencia y un alto grado de participación del paciente mientras está realizando la terapia robótica. Por eso es importante que el paciente esté comprometido con la terapia, tenga una buena motivación, un buen interés y una percepción positiva con respecto a la terapia. Por otro lado, se están estudiando nuevos métodos para mejorar la motivación del paciente en diferentes escenarios de rehabilitación, un ejemplo de ello es la robótica de asistencia social (SAR, por sus siglas en inglés), la cual se ha utilizado para alentar a las personas, es posible encontrar distintas aplicaciones que abarcan el tratamiento de personas con dificultades en el aprendizaje, adultos mayores con demencia, pacientes post-ACV, niños que padecen PC, entre otros. Acorde a la literatura, se ha encontrado que la SAR permite obtener un mayor nivel de atención, interés y contacto visual (Yun, et al., 2014), de igual forma, se trata de una herramienta motivacional novedosa que permite aumentar la inclusión de las personas con discapacidad en la sociedad (Besio, et al., 2014).

Teniendo en cuenta lo anterior, hoy en día es posible observar que se están empleando robots sociales en diferentes aplicaciones relacionadas a la terapia ocupacional, algunas de las más exploradas son: nuevas estrategias de pedagogía basadas en robots para un aprendizaje más efectivo (Brown, et al., 2013), nuevas intervenciones en terapia psicológica soportadas por robots para el incremento de la motivación y el mejoramiento de habilidades cognitivas en pacientes con desorden del espectro autista (Taheri, et al., 2015), pacientes con diabetes (Blanson, et al., 2013) y niños con PC (Malik, et al., 2015). Para este estudio, se asistió a diferentes sesiones de rehabilitación con el Lokomat en los únicos centros de rehabilitación que cuentan con este dispositivo en Colombia, con el propósito de evaluar y analizar la percepción de los pacientes de las terapias de rehabilitación. De esta forma, se han estudiado las opiniones y los aspectos cognitivos para describir las ventajas y desventajas que los pacientes tienen sobre el uso de este dispositivo. Lo anterior, se realizó mediante observaciones de las correspondientes terapias de rehabilitación y por medio de una encuesta que introduce el principal objetivo de este proyecto: la integración de la robótica social en terapias de rehabilitación de la marcha basadas en Lokomat. A partir de las observaciones, ha sido posible identificar algunas variables que podrían ser medidas e implementadas en la integración de un robot social, dichas variables también son presentadas en el presente artículo. Así mismo, se presenta un diagnóstico sobre el estado de este tipo de terapia en Colombia.

2. Metodología

Inicialmente, en este estudio se aplicó un cuestionario a pacientes que están en rehabilitación física y tienen un programa basado en el Lokomat, el cuestionario requiere información personal y busca estimar la percepción de la terapia. Cabe resaltar que este proyecto fue aprobado por los centros de rehabilitación asociados.

2.1. Pacientes

Fueron 19 pacientes los que participaron en este estudio, 12 hombres y 7 mujeres con lesiones neurológicas. El principal criterio de inclusión fue que el paciente tuviera un programa de rehabilitación en el que se incluyeran terapias con Lokomat y en los criterios de exclusión, estaban pacientes con algún deterioro cognitivo que represente una dificultad para conocer su opinión y percepción sobre la terapia robótica.

2.2. Procedimiento

Un documento con la información sobre el proyecto fue entregado a todos los pacientes en cada centro de rehabilitación. El estudio y los aspectos relevantes fueron explicados al paciente y se resolvieron las dudas expresadas. Luego, se acompañó a cada paciente en la terapia con el fin de observar su desempeño y recolectar sus datos. Se registraron datos demográficos como la edad, el peso, la altura, diagnóstico, el tiempo y la frecuencia de uso del dispositivo. Para el tiempo de uso del dispositivo se establecieron 5 opciones de respuesta: menos de un mes (<1), entre 1 y 3 meses (1-3), entre 3 y 6 meses (3-6), entre 6 y 12 meses (6-12) y más de 12 meses (>12). Para el caso de la frecuencia de uso del Lokomat, se dieron 5 opciones de respuesta: una vez a la semana, 2 veces a la semana, 3 veces a la semana, 4 veces a la semana y 5 o más veces por semana. Luego de la sesión de rehabilitación, se realizó una encuesta, la cual tuvo 5 preguntas para la evaluación cognitiva del estudio y una que introduce el proyecto de integración de robótica social con el Lokomat para conocer las diferentes perspectivas de los pacientes (Tabla I).

TABLA I.
PREGUNTAS PARA LA EVALUACIÓN COGNITIVA

No.	Preguntas
Q1	¿Qué aspectos le gustan del Lokomat?
Q2	¿Qué aspectos le disgustan del Lokomat?
Q3	¿Cómo evalúa personalmente los resultados obtenidos con el uso del Lokomat?
Q4	¿Qué sientes si un robot social te acompaña durante el proceso de rehabilitación?

Con el fin de conocer los aspectos positivos y lo que le gusta al paciente del dispositivo se planteó la pregunta Q1 con 6 posibles respuestas: Diseño, tecnología, juegos, resultados, terapias u otros. Para conocer los aspectos negativos se planteó la pregunta Q2 y hubo 6 opciones de respuesta: comodidad, modo de uso, juegos, diseño, cualquiera u otros. La pregunta Q3 buscaba conocer su perspectiva sobre los logros obtenidos con este tipo de terapia y tenía 4 opciones de respuesta: muy significativo, significativo, no significativo o ninguna evidencia de cambio. La pregunta Q4 se relacionaba más con la opinión sobre el proyecto, esta pregunta tenía 5 opciones de respuesta: curiosidad, interés, dudas, incomodidad y prefiere que no este. Finalmente, todos los datos de los pacientes fueron recogidos, registrados en una base de datos y procesados usando estadística descriptiva.

3. Resultados

En esta sección, se presentan los resultados de los datos antropométricos, los aspectos cognitivos y la propuesta de integración. Los datos antropométricos se presentan en la Tabla II.

**TABLA II.
DATOS DEMOGRÁFICOS**

Paciente	Género	Edad	Peso (Kg)	Altura (m)	Sesiones por semana
1	F	39	60	1,6	2
2	M	60	73	1,72	1
3	M	49	81	1,68	2
4	F	27	54	1,57	4
5	M	58	75	1,72	2
6	M	54	78	1,78	2
7	F	49	85	1,70	1
8	M	28	68	1,75	2
9	M	36	81	1,78	2
10	F	17	59	1,65	2
11	M	76	78	1,78	2
12	M	26	79,00	1,8	1
13	M	57	80	1,73	2
14	F	35	58	1,56	2
15	M	42	75	1,8	2
16	F	58	60	1,48	1
17	M	38	95	1,7	1
18	M	14	48	1,6	2
19	F	6	19	1,15	1

Otros datos demográficos que se tuvieron en cuenta fueron la frecuencia y el tiempo de uso del Lokomat como se puede observar en la figura 1.

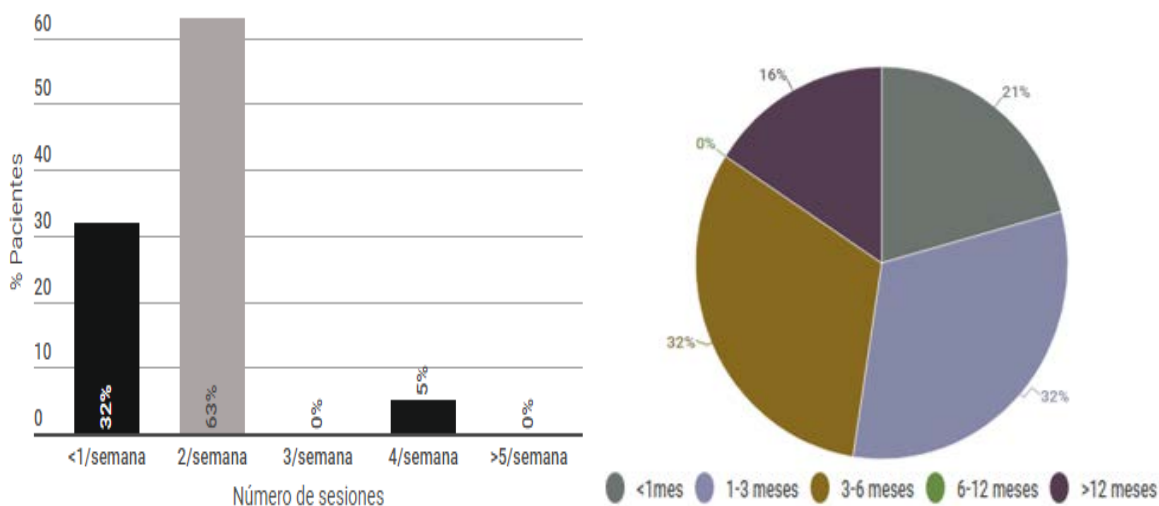


Figura 1. Frecuencia de uso del Lokomat y tiempo de uso del Lokomat

Los resultados de las encuestas también fueron analizados mediante estadística descriptiva. La Figura 2 muestra los resultados de la primera pregunta sobre los aspectos positivos del Lokomat, en esta pregunta el 7% de los pacientes reportaron otros aspectos positivos, entre estos se encontró: la sensación de volver a caminar, la practicidad y la retroalimentación.

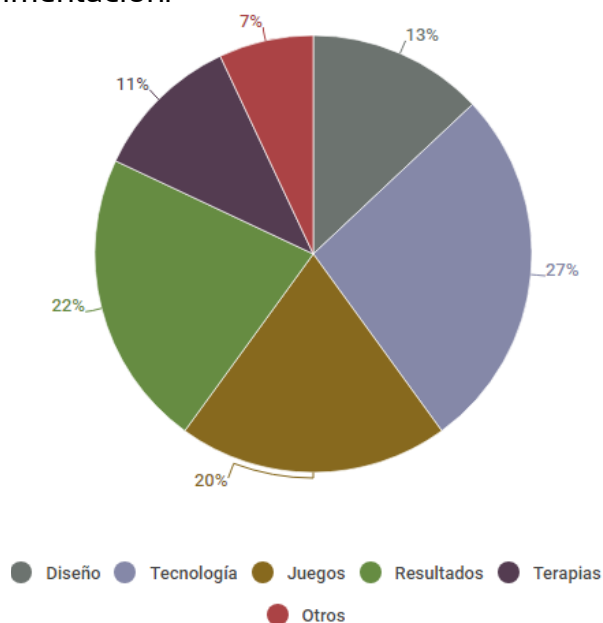


Figura 2. Aspectos positivos del Lokomat

Los resultados de la segunda pregunta sobre los aspectos negativos del dispositivo son mostrados en la Figura 3, en este caso, el 22% de los pacientes incluyeron otros aspectos como: la adaptación y ensamble de la órtesis y la poca percepción de progreso con la terapia.

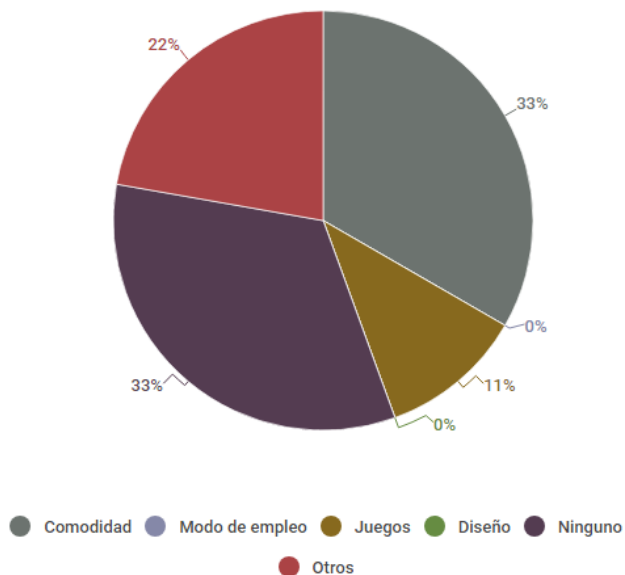


Figura 3. Aspectos negativos del Lokomat

Los resultados de la tercera pregunta sobre la percepción de la efectividad de la terapia y los resultados de la última pregunta que se relaciona con la integración de un robot social a la terapia de rehabilitación son mostrados en la Figura 4.

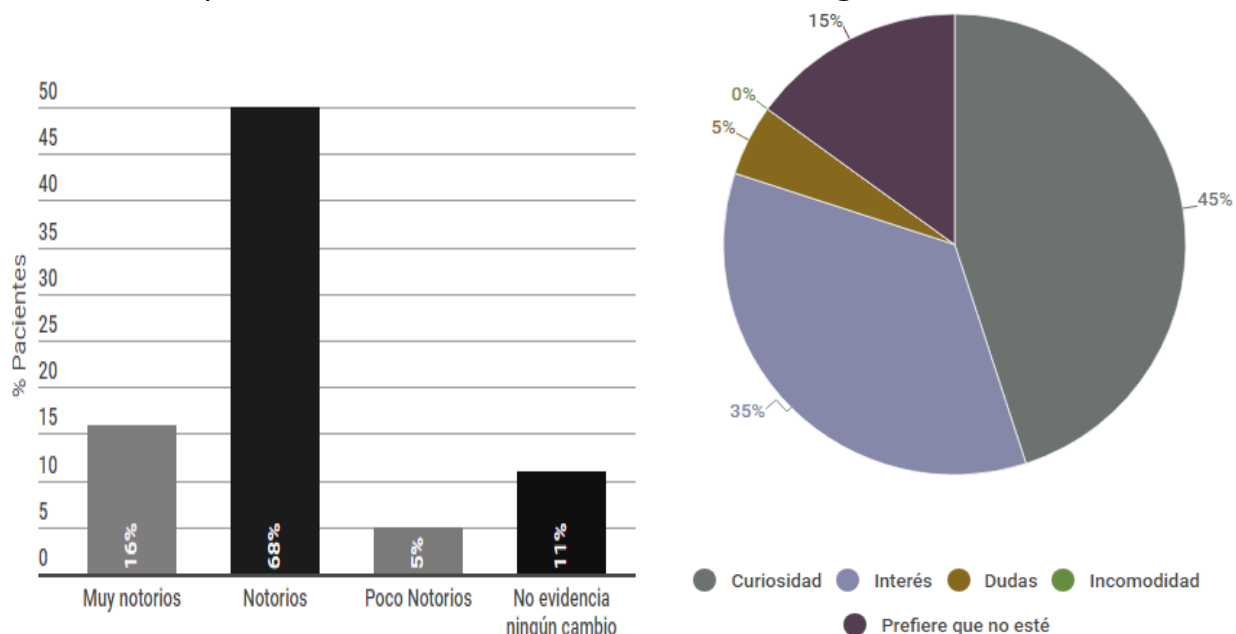


Figura 4. Perspectiva de resultados con el Lokomat y opiniones sobre el proyecto de los pacientes

Paralelamente, se realizaron preguntas sobre la seguridad y comodidad del equipo, se encontró que los pacientes tienen una percepción de que el equipo es seguro e incluso muy seguro; sin embargo, el 37% de los pacientes afirmó que se sienten incómodos mientras usan el Lokomat.

Teniendo en cuenta lo anterior, la implementación de un robot social en terapias de rehabilitación con Lokomat es conveniente debido a las siguientes afirmaciones: en

primer lugar, un 80% de los pacientes encuestados siente interés o curiosidad por la integración de un robot social, es decir, la mayoría de los pacientes se encuentran en disposición de realizar una terapia basada en SAR; en segundo lugar, los dos aspectos que más gustan a los pacientes de la terapia con Lokomat son la tecnología, los resultados y los juegos, parámetros que están altamente relacionados con un robot social, ya que se trata de un dispositivo de la más avanzada tecnología que puede brindar entretenimiento durante la terapia, cumpliendo así, la misma funcionalidad que tienen los juegos que provee el Lokomat; en tercer lugar, un 33% de los pacientes encuestados mostró que sienten incomodidad al usar el Lokomat, este problema puede ser solucionado en parte por un robot social, ya que una de las características en el diseño de cualquier robot de este tipo es tener un aspecto llamativo y distractor, es decir, el robot social puede llamar la atención del paciente y distraerlo con el fin de conseguir que deje de pensar en la incomodidad y continúe la terapia de forma normal. Dado lo anterior, se propone la siguiente interfaz multimodal basada en distintas variables fisiológicas y aspectos cognitivos que pueden ser útiles para la integración de un robot social en terapia de rehabilitación física basada en Lokomat.

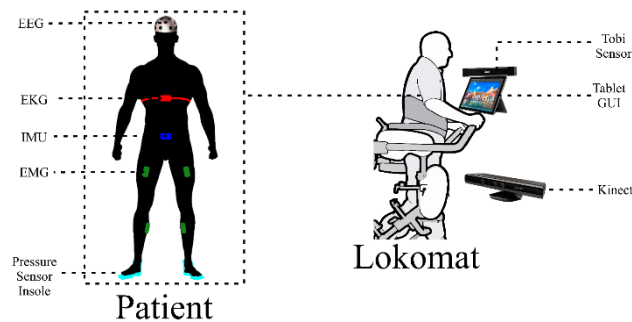


Figura 5. Propuesta de interfaz multimodal.

En el diagrama de la Figura 5, se incluyen todas las mediciones posibles que pueden ser usadas por un robot social, sin embargo, se pueden clasificar en dos grupos principales en dependencia del tipo de interacción que se busca obtener. Por un lado se encuentran las variables relacionadas a la **interacción humano-robot física**, estas variables hacen referencia a mediciones que tienen una interpretación que se basa en las leyes de la física, es decir, no necesitan llevarse a otro nivel de abstracción para ser comprendidas, entre estas variables se encuentran: Electrocardiografía (EKG), se busca medir algunos parámetros como el ritmo cardíaco y la variabilidad cardíaca con el fin de hacer una evaluación del sistema cardíaco; Electromiografía (EMG), se busca estimar la respuesta eléctrica de los músculos, ya que en muchos casos es importante para un terapeuta saber si hay conducción o transmisión de impulsos eléctricos en pacientes con lesiones neurológicas; Unidad de Medición Inercial (IMU), permite obtener una medición exacta de la cinemática del cuerpo, por ejemplo, permite medir si el tronco del cuerpo se encuentra en una inclinación incorrecta; Kinect, este sensor permite obtener un modelo esquelético del cuerpo humano en tiempo real, dicho modelo es muy útil en el análisis biomecánico de los distintos ejercicios que realiza el paciente; Plantillas de Medida de Presión (Pressure Sensor Insole), estos sensores permiten estimar cómo es la presión de contacto de los pies, variable que está relacionada con la dinámica de la

marcha. Por otro lado, se encuentran las variables relacionadas a la **interacción humano-robot cognitiva**, estas variables se caracterizan por ser abstracciones de las mediciones, de forma contraria al otro tipo de variables, este tipo basa su interpretación en la cognición humana, entre estas variables se encuentran: Dirección de los ojos (Tobi Sensor), la estimación del lugar al que un paciente está viendo, es un parámetro que permite determinar el nivel de concentración, por ejemplo, se puede estimar si un paciente lleva un largo rato distraído mirando a algún punto que no está relacionado en nada a la terapia y permitir que el robot social realice una realimentación apropiada; Escala de Borg (Tablet GUI), es posible cuantificar distintas opiniones del paciente durante la terapia haciendo uso de una interfaz gráfica, un ejemplo, está en hacer que el robot social pregunte al paciente qué tan cansado se siente y registrar su opinión usando la escala de Borg en la Tablet; Gestos (Tablet GUI), haciendo uso de la cámara de la Tablet y distintas técnicas de procesamiento de imágenes, es posible estimar distintos gestos de un paciente, por ejemplo, se puede estimar si un paciente tiene una cara de agrado o desagrado durante la terapia; Electromiografía (EMG), consiste en la medición de la respuesta eléctrica del cerebro, se obtiene una señal muy compleja y de difícil interpretación, sin embargo, posee mucha información útil en la terapia, por ejemplo, es posible detectar emociones o intensión de movimiento.

4. Discusión

Con respecto a los demográficos obtenidos, los diagnósticos de cada paciente no se muestran ya que la valoración es distinta en cada uno o no está bien especificada, sin embargo, el diagnóstico más común fueron las lesiones neurológicas como lesiones medulares o enfermedades neurológicas indefinidas.

La media del número de sesiones por semana fue de 1,78 y en cuanto a la duración del proceso de rehabilitación, el 64% de pacientes han estado usando el Lokomat entre 1 y 6 meses. De acuerdo a estos valores, se puede considerar que, en el mejor de los casos, es decir, que el paciente asista 2 veces por semana y la duración de su terapia sean 6 meses, en este periodo de tiempo habría asistido a 48 sesiones de rehabilitación con el Lokomat. Estos datos se pueden comparar con los resultados encontrados en la literatura, encontrando así que, en este estudio, el número estimado de sesiones es menor, ya que la mayoría de los estudios con resultados significativos en el progreso de los pacientes se realizaron entre 3 y 4 sesiones por semana.

El entrenamiento estándar es de 3-5 sesiones por semana con una duración de 25 minutos por cada sesión, mientras que el entrenamiento intensivo es de el mismo rango de sesiones, pero con una duración de 50 minutos (Wirz, et al., 2011). Por lo tanto, en Colombia no se están aprovechando las terapias robóticas por completo, debido a que, en 6 meses, los pacientes deberían haber realizado al menos 72 sesiones en un entrenamiento estándar para tener resultados significativos.

En síntesis, la mayoría de pacientes ven como un aspecto positivo la tecnología del dispositivo y como un aspecto negativo la incomodidad de éste. No obstante, consideran que es seguro y el 68% de ellos considera que ha tenido resultados

significativos en su tratamiento de rehabilitación. Por supuesto, este porcentaje podría incrementar al realizar el número de sesiones por semanas recomendado por otras investigaciones.

En cuanto a la propuesta de esta interfaz, actualmente, se están estableciendo qué variables realmente son importantes para implementar y cómo será su obtención, teniendo en cuenta qué parámetros pueden ser de gran utilidad para el desarrollo de la terapia. Como trabajo futuro, se planea integrar algunos de los parámetros expuestos con el robot social y la realización de pruebas piloto con pacientes siguiendo un protocolo clínico establecido.

5. Referencias

Artículos de revistas

- Besio, S. and Carnesecchi, M. (2014) "The Challenge of a Research Network on Play for Children with Disabilities," *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 146, pp. 9–14.
- Blanson, O.A., Bierman, B.P., Janssen, J., Neerincx, M.A., Looije, R., Van der Bosch, H. and Van der Giessen, J.A. (2013). "Using a robot to personalise health education for children with diabetes type 1: A pilot study," *Patient Education and Counseling*, vol. 92, no. 2, pp. 174–181.
- Borggraefe, I., Schaefer, J.S., Klaiber, M., Dabrowski, E., Ammann-Reiffer, C., Knecht, B., Berweck, S., Heinen, F. and Meyer-Heim, A. (2010). "Robotic-assisted treadmill therapy improves walking and standing performance in children and adolescents with cerebral palsy," *European Journal of Paediatric Neurology*, vol. 14, no. 6, pp. 496–502.
- Brown, L.N. and Howard, A.M. (2013). "Engaging children in math education using a socially interactive humanoid robot," 13th IEEE-RAS International Conference.
- Collantes, I., Asin, G., Moreno, J.C. and Pons, J.L. (2012). "Analysis of biomechanical data to determine the degree of users participation during robotic-assisted gait rehabilitation," *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS*, pp. 4855–4858.
- Colombo, G., Joerg, M., Schreier, R. and Dietz, V. (2000). "Treadmill training of paraplegic patients using a robotic orthosis," *Journal of rehabilitation research and development*, vol. 37, pp. 693–700.
- Malik, N.A., Yussof, H., Hanapiah, F.A. and Anne, S.J. (2015) "Human Robot Interaction (HRI) between a humanoid robot and children with Cerebral Palsy: Experimental framework and measure of engagement," *IECBES 2014, Conference Proceedings - 2014 IEEE Conference on Biomedical Engineering and Sciences: Miri, Where Engineering in Medicine and Biology and Humanity Meet*, no. December, pp. 430–435.
- Ministerio de Salud y Protección Social (2016, octubre) Reporte de discapacidad nacional. Consultado el 15 de abril de 2017 en

<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/PS/sa-la-situacional-discapacidad-nacional-oct-2016.pdf>

- Mirbagheri, M.M., Niu, X., Kindig, M. and Varoqui, D. (2012). "The effects of locomotor training with a robotic-gait orthosis (Lokomat) on neuromuscular properties in persons with chronic SCI," Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS, pp. 3854–3857.
- Taheri, A., Alemi, M., Meghdari, A., PourEtemad, H. and Holderread, S. (2015). "Clinical Application of Humanoid Robots in Playing Imitation Games for Autistic Children in Iran," Procedia - Social and Behavioral Sciences, vol. 176, pp. 898–906.
- Wirz, M., Bastiaenen, C., Bie, R. and Dietz, V. (2011). "Effectiveness of automated locomotor training in patients with acute incomplete spinal cord injury: a randomized controlled multicenter trial," BMC Neurol, vol. 11, p. 60.
- World Health Organization (WHO) (2011). World Report on Disability: Summary. Consultado el 15 de abril de 2017 en <http://www.refworld.org/docid/50854a322.html>
- Yun, S., Park, S.K. and Choi, J. (2014). "A robotic treatment approach to promote social interaction skills for children with autism spectrum disorders," The 23rd IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, vol. 2014-Octob, no. October, pp. 130–134.

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)