

La robótica en la rehabilitación de cadera

César Humberto Guzmán-Valdivia**,
Andrés Blanco-Ortega*, Marco Antonio Oliver-
Salazar*, José Luis Carrera-Escobedo** y Héctor
Ramón Azcaray-Rivera*

* Centro Nacional de Investigación y Desarrollo
Tecnológico (México)

** Universidad Politécnica de Zacatecas (México)

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/6924>

1. INTRODUCCIÓN

La robótica en la rehabilitación de cadera es hoy en día una tecnología prometedora llena de retos por resolver. En este artículo, se presenta una revisión bibliográfica de los diferentes robots comercializados y en desarrollo para ayudar a la rehabilitación de cadera. Una fractura, un accidente automovilístico, las lesiones en deportes extremos, los accidentes cerebro-vasculares, la lesión de médula espinal y las enfermedades degenerativas son solo unos cuantos ejemplos bien conocidos que pueden causar una discapacidad motriz en la cadera.

El conocimiento de las técnicas de rehabilitación de cadera en forma de ejercicios es esencial para reincorporar a una persona a sus múltiples actividades de la vida cotidiana. Las terapias de rehabilitación de cadera se asocian a menudo con la idea de recuperar el movimiento perdido mediante ejercicios terapéuticos pasivos y activos.

La diferencia entre ambos radica, por una parte, en el hecho de que el terapeuta ayude al paciente a realizar los

ejercicios, (por lo tanto presenta una rehabilitación de primera mano más especializada) y, por otra parte, en el hecho que el paciente pueda realizar los ejercicios por sí solo (como ha sido el caso de rehabilitarse en un gimnasio).

Sin embargo, la práctica en la rehabilitación de cadera revela que - por muy especializado que sea el personal médico - no deja de ser una labor manual intensa, que consume tiempo y esfuerzo físico. Por esta razón, la duración de las terapias de cadera son acortadas y en la mayoría de los casos mal administradas en los centros de rehabilitación.

Los trabajos desarrollados en los últimos años en robótica han llevado a replantear la morfología de ciertos tipos de robots destinados a resolver las necesidades de la sociedad. Este cuestionamiento partió esencialmente de dos líneas de análisis: desde una perspectiva industrial, los robots manipuladores en las líneas de ensamble, y desde una perspectiva más servicial, los robots destinados para la interacción con el ser humano. Pérez-Turiel et al., consideran que un robot de servicios es un dispositivo mecatrónico, sensorizado y reprogramable cuya participación es beneficiosa en las actividades humanas cotidianas. Desde esta perspectiva, Ángulo-Usategui et al., plantean lo siguiente: *“los dominios más avanzados de la ingeniería se están empleando en aspectos tan destacados como el diagnóstico, la monitorización, la cirugía y la actuación terapéutica, sin olvidar los sistemas de ayuda para personas disca-*

pacitadas”. Así pues, la robótica médica, y en particular la especializada en la rehabilitación, han pasado a formar parte de un nuevo campo de aplicación.

Hoy en día, el concepto de *“robot para rehabilitación”* abarca un amplio rango de dispositivos mecatrónicos, que van desde las prótesis inteligentes hasta los robots para ayudar en el proceso de rehabilitación. Estos robots no solo han podido reemplazar el esfuerzo físico de la terapia, sino que, además, aceleran la pronta recuperación del paciente. Estos hechos han llevado a muchos investigadores a entrar directamente en materia para desarrollar nuevos robots para rehabilitación. Desde este planteamiento, es necesario contar con revisiones bibliográficas donde se analicen y comparen las capacidades de dichos sistemas, con el objetivo que sea un punto de partida para futuras investigaciones. En la reciente literatura, existen revisiones relacionadas con los retos en el desarrollo de robots para rehabilitación de tobillo y pierna. Sin embargo, no se han abordado trabajos enfocados en la rehabilitación de cadera. Por tal motivo, en este artículo se comparan los robots en desarrollo y comerciales existentes con un enfoque a la cadera, señalando los retos actuales en este campo.

2. CLASIFICACIÓN DE LOS ROBOTS PARA REHABILITAR LA CADERA

Bajo la designación de *“robots para rehabilitar la cadera”* se agrupa una gama variada de robots con caracterís-

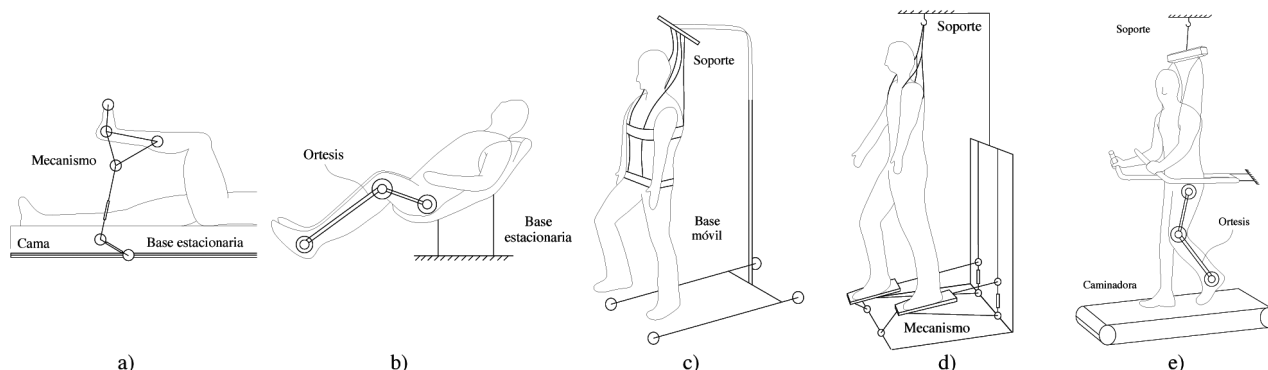


Fig. 1: Tipos de robots para rehabilitación de cadera: (a) basados en mecanismos externos, (b) basados en ortesis, (c) basados en el andar, (d) basados en mecanismos en los pies, (e) basados en ortesis y caminadora

ticas muy diferenciadas en cuanto a la morfología. En esta sección se estudia la situación actual de este campo, y de lo que ha llevado a dedicar un esfuerzo para mejorarla. Estos sistemas pueden ser agrupados de acuerdo a al principio de rehabilitación que ellos siguen, tal como se muestra en la Fig. (1).

2.1. ROBOTS BASADOS EN MECANISMOS EXTERNOS

Los robots basados en mecanismos externos han llevado a explorar nuevos tipos de diseños mecánicos destinados a transmitir movimiento a la cadera para alcanzar su máximo rango articular. En la Tabla 1 se presenta una revisión de dichos sistemas.

La principal ventaja de los mecanismos externos es su diseño simple y facilidad para manipular la cadera del paciente con movimientos controlados, flexionando la pierna del paciente lo máximo posible para alcanzar el completo rango de movimiento. Sin embargo, no están tan dotados como otros dispositivos en cuanto a actuadores y sensores. Desde esta perspectiva, se puede decir que estos dispositivos son los pioneros en la rehabilitación de cadera a bajo costo. Por ejemplo, un tipo de mecanismo externo utilizado es con cables paralelos, prueba de ello, los investigadores Surdilovic y Bernhardt desarrollaron el *String-Man* para la rehabilitación de la marcha con la particularidad

de corregir el balanceo de la postura y las funciones motrices del andar. De la misma manera Homma et al., muestran un similar diseño mecánico con cables paralelos pero con la diferencia de tener al paciente recostado sobre una cama.

Otro mecanismo externo popular de bajo costo es con actuadores lineales, prueba de ello, existe el prototipo llamado *Nexos* propuesto por Bradley et al. para asistir al terapeuta en la rehabilitación de cadera, tal como se muestra en la Fig. (2). Para Sun et al., el patrón de movimiento del sistema tiene que ser inspirado en la biomecánica de la pierna, desarrollando así un robot horizontal con actuadores lineales. Siguiendo la misma temática Wang et al., desarrollan un prototipo que sirve para movilizar ambas piernas de un paciente recostado sobre una cama de hospital. Por otra parte, existen propuestas de mecanismos para ser llevadas a cabo, tal es el

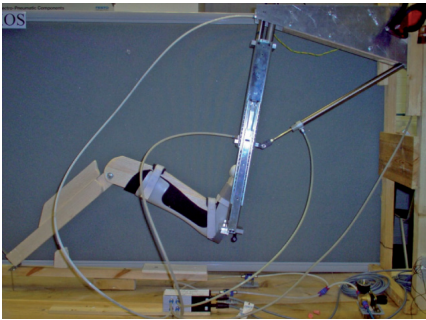


Fig. 2: Proyecto NeXOS (foto de cortesía del Dr. David Bradley)

caso de Wang et al., que proponen el diseño de un robot con actuadores lineales pero con un enfoque para ser instalado en una silla. También, Guzmán et al., proponen un mecanismo para aumentar el espacio de trabajo en los ejercicios de cadera. Asimismo, sugieren otro mecanismo con actuadores lineales para ser utilizado después de una fractura de fémur.

2.2. ROBOTS BASADOS EN ORTESIS

Los robots basados en ortesis son los mejores candidatos para desempeñar ejercicios terapéuticos a la cadera. El objetivo de estos dispositivos es el fortalecimiento de los músculos, así como mantener la movilidad y la coordinación del movimiento. En la Tabla 2 se presenta una revisión de dichos sistemas.

Los beneficios que ofrecen los robots basados en ortesis son múltiples: (1) pueden desempeñar el trabajo intenso de la terapia, (2) tienen un controlador de fuerza para regular la intensidad de los ejercicios, y (3) ofrecen una evaluación cuantitativa del progreso del paciente. Sin embargo, son dispositivos complejos que aún no son portátiles para ser llevados a la casa del paciente. Hay que subrayar que los robots basados en ortesis son considerados como dispositivos de imitación del movimiento, porque memorizan y reprodu-

Nombre del dispositivo	Compañía	Año de desarrollo	Tipo de trastorno	Situación actual	Pruebas	Grados de libertad	Tipo de accionamiento	Tipo de controlador
String-Man	-	2003	Discapacidad motriz	Prototipo	Experimentales	7	Motor de CD	ZMP
Universidad de Tsukuba	-	2002	Discapacidad motriz	Prototipo	Experimentales	4	Motor de CD	-
Nexos	-	2009	Lesión de médula espinal	Prototipo	Experimentales	2	Pistón neumático	-
Universidad de Harbin	-	2009	Enfermedad Cerebrovascular	Prototipo	Experimentales	1	Motor de CD	-
Universidad de Beijing	-	2011	Paraplejia Y Cuadriplejia	Prototipo	Experimentales	1	Motor de CD	-
Universidad de Yanshan	-	2009	Paraplejia	Propuesta	Simulaciones	3	-	-
Universidad Politécnica de Zacatecas	-	2013	Hemiplejia	Propuesta	Simulaciones	5	-	-
Universidad Politécnica de Zacatecas	-	2013	Fractura de fémur	Propuesta	Simulaciones	3	-	-

Tabla 1: Clasificación y comparación de los robots para rehabilitar cadera basados en mecanismos externos

Nombre del dispositivo	Compañía	Año de desarrollo	Tipo de trastorno	Situación actual	Pruebas	Grados de libertad	Tipo de accionamiento	Tipo de controlador
TEM XL2 type D	Yaskawa Electric	2005	Discapacidad motriz	Comercializado	Clínicas	2	Servomotor	Impedancia
LeHab	-	2012	Hemiplejia	Prototipo	Experimentales	2	Servomotor	PID
Universidad Tecnológica de Malasia	-	2010	Hemiplejia	Prototipo	Experimentales	1	Motor de CD	-
Physiotherabot	-	2011	Lesión de médula espinal	Prototipo	Experimentales	3	Servomotor	Impedancia e inteligente
Universidad de Mie	-	2009	Discapacidad motriz	Prototipo	Experimentales	3	Servomotor	Electromiografía
MotionMaker	Swortec SA	2006	Lesión de médula espinal	Comercializado	Clínicas	3	Servomotor	Electromiografía

Tabla 2: Clasificación y comparación de los robots para rehabilitar cadera basados en ortesis

cen los ejercicios enseñados por el terapeuta. El *TEM XL2 type D*, el *LeHab*, el prototipo desarrollado en la universidad Tecnológica de Malasia, y el *Physiotherabot* son ejemplos de robots basados en ortesis que imitan el movimiento, tal como se muestra en la Fig. (3).



Fig. 3: Physiotherabot (foto de cortesía del Dr. Erhan Akdogan)

Aunque mucho equipo para terapia física ha sido desarrollado, todavía el equipo de diagnóstico de la calidad

de los ejercicios de cadera es escaso. Frente a esta necesidad Komada et al., desarrollan un prototipo para diagnosticar la fuerza muscular en la articulación de la cadera. Por otro lado, el *MotionMaker* es un robot para monitoreo de la fuerza muscular y además cuenta con un sistema en tiempo real para fortalecer los músculos mediante electroestimulación, tal como se muestra en la Fig. (4). Estos robots basados en ortesis distinguen un uso especializado en el fortalecimiento muscular de la cadera, particularmente utilizando señales mioeléctricas de modo que, además de desempeñar ejercicios terapéuticos, la evaluación de los ejercicios parece facilitarse con el uso de un ordenador.

2.3. ROBOTS BASADOS EN EL ANDAR

Los robots basados en el andar son sistemas que siguen el caminado del paciente cuando ambula sobre una superficie, permitiéndole moverse bajo su



Fig. 4: MotionMaker (foto de cortesía de Swortec SA)

propio control. En la Tabla 3 se presenta una revisión de dichos sistemas.

En las terapias tradicionales para restaurar el movimiento de cadera, el terapeuta asiste y cuida al paciente de no sufrir una caída mientras camina durante largos periodos de tiempo. La ventaja de estos robots es la asistencia del paciente en todo momento para evitar que el paciente se caiga durante el caminado. Sin embargo, no todos los

Nombre del dispositivo	Compañía	Año de desarrollo	Tipo de trastorno	Situación actual	Pruebas	Grados de libertad	Tipo de accionamiento	Tipo de controlador
KineAssist	Kinea Design LLC	2005	Accidente cerebrovascular	Comercializado	Clínicas	1	Servomotor	Impedancia
WalkTrainer	Swortec SA	2006	Lesión de médula espinal	Comercializado	Clínicas	1	Servomotor	Impedancia
Universidad de Salford	-	2006	Hemiplejia	Prototipo	Experimentales	5	Músculo neumático	Inteligente
ReWalk	ARGO Medical	2006	Hemiplejia	Comercializado	Experimentales	2	Servomotor	Impedancia
BLEEX	DARPA	2006	Paraplejia	Comercializado	Clínicas	7	Servomotor	Híbrido
HAL	CYBERDYNE Inc.	2005	Paraplejia	Comercializado	Clínicas	7	Servomotor	Híbrido

Tabla 3: Clasificación y comparación de los robots para rehabilitar cadera basados en el andar

pacientes tienen la posibilidad de caminar libremente ó mover las piernas, lo que limita el uso de estos dispositivos. Hay que resaltar que, la mayoría de estos sistemas ya son comercializados y aceptados en varios centros de rehabilitación, tal es el caso del *KineAssist* ó el *WalkTrainer*, tal como se muestra en la Fig. (5).

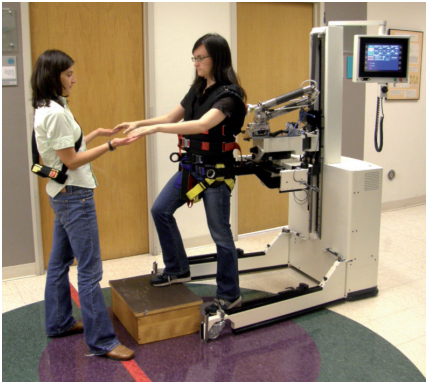


Fig. 5: KineAssist (foto de cortesía de Kinea Design, LLC)

Aunque los sistemas basados en un robot móvil sujetando al paciente por medio de un arnés han tenido éxito, existen otros dispositivos basados en exoesqueleto que ayudan al caminar libre del paciente. Un exoesqueleto es una estructura para ser usada sobre el cuerpo humano a manera de prenda de vestir y tiene la ventaja de inducir ó aumentar la fuerza de alguna articulación. Estos “*trajes robóticos*” aunque fueron inicialmente creados para propósitos militares, han demostrado devolver el caminar a una persona con paraplejia, por lo que se vuelven atractivos de desarrollar en centros de investigación y el sector privado. Además, este tipo de sistemas también pueden ser usados en la rehabilitación de cadera para asistir en el caminar libre del paciente. Algunos exoesqueletos se encuentran en

desarrollo, tal es el caso de Costa et al., que propuso un traje con músculos artificiales de potencia. Por otro lado, existen exoesqueletos que se encuentran comercializados, entre los más populares a la fecha se encuentran el ReWalk, BLEEX y HAL.

2.4. ROBOTS BASADOS EN MECANISMOS EN LOS PIES

Los robots basados en mecanismos en los pies son aquellas máquinas que simulan diferentes patrones de caminar mediante dos plataformas programables. En la Tabla 4 se presenta una revisión de dichos sistemas.

La ventaja de estos robots es su sencillo diseño mecánico para inducir movimiento en los pies del paciente, por lo general, son sistemas con pocos actuadores que proporcionan un movimiento constante en el plano sagital. Sin embargo, los patrones de movimiento son preestablecidos y no es posible cambiar el tipo de caminar. Algunos ejemplos de este tipo son el LokoHelp, el GangTrainer GT I y el HapticWalker, tal como se muestra en las Figs. (6) y (7).



Fig. 6: LokoHelp (foto de cortesía de LokoHelp Group Germany)

Estos sistemas aunque son mecánicamente funcionales no tienen la capa-

cidad de cambiar el patrón de caminar. Bajo esta perspectiva, los investigadores Yoon et al., propusieron un mecanismo en los pies para variar la velocidad y el patrón de caminar. Además, los patrones de caminar fueron diseñados por terapeutas para desempeñar una marcha natural.



Fig. 7: GangTrainer GT I (foto de cortesía de Reha-Stim)

2.5. ROBOTS BASADOS EN EXOSQUELETO Y CAMINADORA

Los robots basados en exoesqueleto y caminadora son sistemas enfocados en el entrenamiento y mejora de la movilidad funcional de la marcha. Muchos sistemas han sido desarrollados con el objetivo de reducir el esfuerzo físico de la terapia. Usualmente estos sistemas están basados en un exoesqueleto combinado con una caminadora. En la Tabla 5 se presenta una revisión de dichos sistemas.

El beneficio de estos sistemas es un caminar natural aun cuando el paciente no tiene fuerza muscular en las

Nombre del dispositivo	Compañía	Año de desarrollo	Tipo de trastorno	Situación actual	Pruebas	Grados de libertad	Tipo de accionamiento	Tipo de controlador
LokoHelp	LokoHelp Group	2008	Lesión de médula espinal	Comercializado	Clínicas	1	Motor de CD	-
GangTrainer GT I	Reha-Stim	2000	Hemiparésis	Comercializado	Clínicas	1	Motor de CD	-
HapticWalker	-	2004	Discapacidad motriz	Prototipo	Clínicas	3	Motor de CD	-
Universidad Nacional de Gyeongsang	-	2010	Discapacidad motriz	Prototipo	Clínicas	6	Actuador lineal	PID

Tabla 4: Clasificación y comparación de los robots para rehabilitar cadera basados en mecanismos en los pies

Nombre del dispositivo	Compañía	Año de desarrollo	Tipo de trastorno	Situación actual	Pruebas	Grados de libertad	Tipo de accionamiento	Tipo de controlador
Lokomat	Hocoma	2000	Lesión de médula espinal	Comercializado	Clínicas	3	Servomotor	Híbrido
ReoAmbulator	Motorika	2004	Lesión de médula espinal	Comercializado	Clínicas	4	Servomotor	Híbrido
ARTHUR	-	2002	Lesión de médula espinal	Prototipo	Clínicas	3	Motor de CD	Impedancia
POGO and PAM	-	2006	Discapacidad motriz	Prototipo	Experimentales	3	Servomotor	Impedancia
LOPES	-	2007	Lesión de médula espinal	Prototipo	Clínicas	3	Servomotor	Impedancia
ALEX	-	2007	Discapacidad motriz	Prototipo	Clínicas	3	Motor de CD	Par calculado
ALEX II	-	2013	Discapacidad motriz	Prototipo	Experimentales	3	Motor de CD	Híbrido

Tabla 5: Clasificación y comparación de los robots para rehabilitar cadera basados en exoesqueleto y caminadora

piernas. Este tipo de terapia estimula al sistema nervioso central, mejora la circulación de la sangre, y mantiene las articulaciones flexibles. Sin embargo, todavía no son sistemas portátiles para ser utilizados en el hogar y requieren la supervisión de un experto. No obstante, estos sistemas ofrecen más ventajas que desventajas, prueba de ello existe el sistema Lokomat que hasta la fecha, es el más evaluado clínicamente y fue el primero de su clase en comercializarse, tal como se muestra en la Fig. (8). Otro sistema comercial es el ReoAmbulator que fue diseñado para asistir a pacientes con hemiplejía.



Fig. 8: Lokomat (foto de cortesía de Hocoma, Switzerland).

Aunque los sistemas comerciales ya son una realidad en los centros de rehabilitación, existen sistemas robóticos todavía en desarrollo para mejorar los patrones de caminado, el diseño mecánico del sistema, la comodidad del

paciente, aumentar la seguridad y hacer el sistema portable, los cuales son ARTHuR, POGO and PAM, LOPES, ALEX y ALEX-II, tal como se muestra en la Fig. (9).

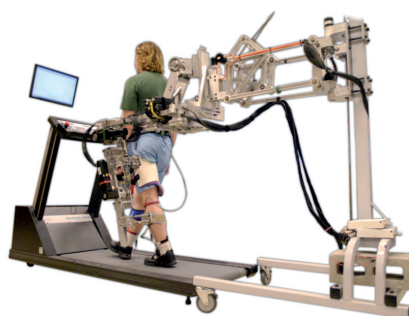


Fig. 9: ALEX-II (foto de cortesía del Dr. Sunil Agrawal).

3. RETOS ACTUALES

En este trabajo, se revisaron 31 sistemas robóticos para la rehabilitación de cadera, de los cuales más de la mitad no han sido comercializados. Además, estos robots disponibles en el mercado no han sido desarrollados aún para ser usados en el hogar. Tal vez, algunas de las principales razones son los costos, la falta de evidencias clínicas y la asistencia remota de un terapeuta para evaluar las terapias, así como la portabilidad de estos dispositivos. Por otro lado, los robots desarrollados para rehabilitar la cadera en los últimos años han llevado

a replantear nuevos retos en el diseño mecánico de ciertos aspectos que impactan directamente en el funcionamiento y la versatilidad del dispositivo. Este cuestionamiento parte esencialmente de cuatro líneas de análisis que son: la implementación mecánica, la interfaz clínica, los sensores y los algoritmos de control.

3.1. IMPLEMENTACIÓN MECÁNICA

El diseño mecánico completo de un robot para reproducir los movimientos del cuerpo humano es un reto. Replicar la complejidad del completo rango de movimiento de la articulación de la cadera es difícil debido al peso y a las dimensiones. Como diseñador, el reto es construir los prototipos con los actuales componentes en el mercado para reducir los costos. Otro de los grandes retos es la seguridad debido a la interacción entre robots y pacientes. Desde este planteamiento, se enfatiza el hecho que un robot como puede ser beneficioso también puede causar un daño. Así pues, es necesario contar con sistemas inteligentes de control que evalúen y supervisen los movimientos en tiempo real para aumentar la seguridad de las terapias de rehabilitación. Otros factores para aumentar la seguridad es utilizando mecanismos redundantes, limitar la velocidad, aumentar el número de sensores de fuerza e incluir un sistema a prueba de fallas.

3.2. INTERFAZ CLÍNICA

Las interfaces son otro reto clave para llegar a desarrollar nuevos dispositivos futuros. Desde la perspectiva de los dispositivos hápticos, un robot para rehabilitación de cadera debe estar dotado de interfaces que hagan su manejo más simple para los usuarios no expertos y sin ningún tipo de familiaridad con el sistema. Los terapeutas que describen el tratamiento terapéutico deben estar de acuerdo con las nuevas interfaces. En este sentido, nadie quiere construir un dispositivo para ser puesto en una oficina sin usar. Por otra parte, otro reto es la asistencia remota para desempeñar terapias de rehabilitación a distancia. Para esto, es necesario desarrollar protocolos de comunicación utilizando internet para asistir en tiempo real al paciente, con la opción de que el dispositivo sea utilizado por el propio paciente una vez programados por el terapeuta.

3.3. SENSORES

La tendencia actual en los robots para rehabilitación es de usar señales mioeléctricas. Hay una gran variedad de formas para obtener este tipo de señales, ya sea por métodos invasivos y no invasivos. Con el avance de la neurociencia es cada vez más fácil obtener señales directamente de los músculos. Por esta razón, los electrodos de superficie han sido una de las técnicas más populares para obtener estas señales de control. El tercer reto en los robots para rehabilitación de cadera es el de migrar de los sensores de fuerza a analizadores de señales mioeléctricas. Las principales ventajas es que proporcionan más información sobre el estado actual de los músculos para analizar más fácilmente el progreso del paciente.

3.4. ALGORITMOS DE CONTROL

El último reto es la implementación de nuevas técnicas de control. La mayoría de los dispositivos utilizan el control de impedancia que hasta la fecha es el método más aceptado en fisioterapia para proporcionar movimientos seguros al paciente. Sin embargo, es necesario proponer nuevas técnicas de control en las cuales se involucren señales mioeléctricas para el seguimiento de trayectorias. Por otra parte, es necesario aportar nuevas ventajas al proceso de rehabilitación activa mediante la implementación de nuevas técnicas de

control combinadas para obtener distintos beneficios en el mismo dispositivo.

4. CONCLUSIÓN

La robótica en la rehabilitación de cadera y más particularmente la que se dirige al desarrollo de robots, constituye un campo adecuado para el estudio de nuevos diseños mecatrónicos que son variados y corresponden a distintos tipos de padecimientos. Todos estos ejemplos de la literatura ilustran una pequeña parte de las potencialidades de los robots para la rehabilitación de cadera. Ya se traten de robots basados en ejercicios terapéuticos ó en la marcha, son un campo prometedor. Pero estos trabajos están en sus comienzos y, en un futuro inmediato, este sector hará posible que las terapias de rehabilitación para cadera sean desempeñadas en la comodidad del hogar bajo la asistencia remota de un terapeuta.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto es financiado por la Universidad Politécnica de Zacatecas a través de una beca doctoral para el primer autor. Los autores aprecian el apoyo por parte de la Universidad Politécnica de Zacatecas (UPZ) y el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (Cenidet). Además, agradecemos el apoyo brindado por la DGEST en el desarrollo del proyecto "Sistemas Biomecatrónicos para Rehabilitación de Extremidades Inferiores" con clave ProIFOEP 4534.12-P.

PARA SABER MÁS

1. Akdogan E, Adli M. "The Design and Control of a Therapeutic Exercise Robot for Lower Limb Rehabilitation: Physiotherobot". *Mechatronics*. Abril 2011. Vol.21-3. p.509-522. (doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mechatronics.2011.01.005>).
2. Banala K, Kim S, Agrawal S, et al. "Assisted Gait Training with Active Leg Exoskeleton (ALEX)". *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*. Febrero 2009. Vol.17-1. p.2-8. ISBN: 978-1-4244-2882-3. (<http://dx.doi.org/10.1109/BIOROB.2008.4762885>).
3. Bouri M, Stauffer Y, Scmitt C, et

- al. "The WalkTrainer: A Robotic System for Walking Rehabilitation". En: *Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics* December 17-20, Kunming, China. 2006. p.1616-1621. ISBN: 1-4244-0570-X. (<http://dx.doi.org/10.1109/ROBIO.2006.340186>).
4. Bradley D, Acosta C, Hawley M, et al. "NEXOS - The design, development and evaluation of a rehabilitation system for the lower limbs". *Mechatronics*. Marzo 2009. Vol.19-2. p.247-257. (<http://dx.doi.org/10.1016/j.mechatronics.2008.07.006>).
5. Homma K, Fukuda O, Nagata Y, et al. "Study of a Wire-driven Leg Rehabilitation System". En: *2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (Japón 28 Septiembre al 2 de Octubre de 2004)*. 2004. p.1668-1673. ISBN: 0-7803-8463-6 (<http://dx.doi.org/10.1109/IROS.2004.1389635>).
6. Komada S, Hashimoto Y, Okuyama N, et al. "Development of a Biofeedback Therapeutic-Exercise-Supporting Manipulator". *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. Octubre 2009. Vol.56-10. p.3914-3920.
7. Metrailler P, Blanchard V, Perrin I, et al. "Improvement of rehabilitation possibilities with the MotionMaker TM". En: *The First IEEE/RAS-EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechanics (Pisa 20-22 February 2006)* BioRob2006. p.359-364. ISBN: 1-4244-0040-6. (<http://dx.doi.org/10.1109/BIOROB.2006.1639113>).
8. Schmidt H. "HapticWalker - A Novel Haptic Device for Walking Simulation". En: *Proceedings of EuroHaptics 2004, Munich Germany, June 5-7. 2004*. p.60-67.
9. Yoon J, Novandy B, Yoon C, et al. "A 6-DOF Gait Rehabilitation Robot With Upper and Lower Limb Connections That Allows Walking Velocity Updates on Various Terrains". *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*. Abril 2010. Vol.15-2. p.201-215. (<http://dx.doi.org/10.1109/TMECH.2010.2040834>).
10. Zoss A, Kazerooni H, Chu A. "Biomechanical Design of the Berkeley Lower Extremity Exoskeleton (BLEEX)". *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*. Abril 2006. Vol. 11-2. p. 128-138. (<http://dx.doi.org/10.1109/TMECH.2006.871087>).