

El proyecto TAILOR: sistemas para la asistencia de la marcha



Antonio J. del Ama
Eng. Ph.D.
Área de Tecnología
Electrónica

Universidad Rey Juan Carlos

Andar es una función humana muy habitual, a la vez que muy compleja. Involucra a todos los niveles de los sistemas neurológico y musculoesquelético, así como el sistema cardiorrespiratorio. El patrón de marcha de cada persona no es fijo, y difiere entre personas, estando muy influenciado por aspectos tales como la edad, la personalidad y el estado emocional.

Rehabilitación de la marcha

En las últimas décadas se ha constatado que la alteración de la capacidad de andar es una de las consecuencias más prevalentes, debido por un lado a la creciente incidencia de patologías de origen neurológico –ictus, daño cerebral, lesión medular, diferentes formas de esclerosis, etc.– así como al envejecimiento de la población, dado que una mayor longevidad conlleva, entre otras consecuencias, un aumento de la fragilidad y por tan-

to afectación de la capacidad de andar. Cifras recientes sitúan la prevalencia asociada con la edad en un 10% en el rango de 60-69 años, superando el 60% en personas con más de 80 años.

Dada la importancia de esta función y por tanto su impacto en la independencia y calidad de vida de las personas, la recuperación de la capacidad de andar de manera independiente es uno de los principales objetivos de los programas de rehabilitación. Si bien no se pretende dar aquí una visión completa y ortodoxa, en términos generales estos programas están compuestos por una combinación de terapias físicas y farmacológicas, siendo en algunos casos necesaria la cirugía. El diseño y composición precisa de cada programa se adapta por parte del personal clínico encargado del tratamiento al estado y circunstancias de cada paciente –existencias de patologías previas, estado emocional, capacidad cognitiva, etc.–, con el objetivo de promover y dirigir adecuadamente la capacidad de



“El diseño y la composición precisa de cada programa se adapta por parte del personal clínico encargado del tratamiento al estado y circunstancias de cada paciente (...) con el objetivo de promover y dirigir adecuadamente la capacidad de reorganización del sistema nervioso.”

reorganización del sistema nervioso. Este fenómeno, denominado neuroplasticidad, se basa en la probada característica del SN de realizar nuevas conexiones axonales.

Se trata de un mecanismo muy complejo, en el cual intervienen muchos factores bioquímicos muchas veces alterados como consecuencia de la patología neurológica, pero en el que se ha demostrado que, en condiciones sanas, es posible formar y establecer nuevas conexiones neuronales.

Explicado de una manera muy reduccionista, dichas conexiones se forman cuando, en las inmediaciones de los axones, se producen excitaciones bioquímicas y eléctricas simultáneas (lo que se conoce como Teoría Hebbiana, postulada por Donald Hebb en 1949). En el caso de la marcha, esto se traduce en que es posible fomentar neuroplasticidad cuando se produce a la vez una acción voluntaria -en el caso de la marcha, uno o varios comandos motores generados en el cerebro que viajan hacia las extremidades, o bien un arco reflejo originado en el SNP- y una -o varias- señales sensoriales originadas en las extremidades durante la ejecución del movimiento. Cabe mencionar que los arcos reflejos, en los que claramente no hay información desde el cerebro hacia la periferia, también están sujetos a mecanismos neuroplásticos. Sin embargo, la interacción entre las neuronas y las señales en los mecanismos reflejos es compleja, dando lugar en ocasiones a problemas secundarios, tales como la espasticidad.



Debemos mencionar que el fenómeno de plasticidad es uno de los más importantes factores integrantes del proceso de aprendizaje motor, que puede ser definido de manera sencilla como aquellos mecanismos que permiten aprender, o reaprender, un determinado movimiento. Sucesivas investigaciones han demostrado que el aprendizaje motor se fomenta en base a los siguientes principios generales:

El aprendizaje debe ser contextualmente coherente.

En el caso de la marcha se traduce en la ejecución de ejercicios relacionados con la marcha -mantenimiento del equilibrio, transiciones de sedestación a bipedestación, superación de obstáculos, cambios en la cadencia, y/o longitud de paso- o bien realizar marcha en la mayor diversidad posible de entornos.

Repetición intensiva.

Para el establecimiento de estas conexiones, es necesario generar el estímulo una y otra vez para lograr establecer y estructurar las conexiones. Por tanto, es necesaria la repetición continuada de los diferentes ejercicios para lograr las conexiones que generan el movimiento y por tanto establecer a nivel neuronal el aprendizaje.

Participación activa del paciente.

Como se ha mencionado anteriormente, para que la interconexión se produzca es necesario que exista un impulso nervioso originado de manera voluntaria que viaje hasta la zona donde se necesita producir la interconexión. Este impulso se genera en la corteza motora del cerebro cuando el paciente intenta realizar el movimiento. En el caso de que se produzca una movilización pasiva de las extremidades del paciente, en la que éste no tiene una participación activa -no "intenta mover" la extremidad- no se fomentará la interconexión, aunque sí se fomentarán interconexiones en circuitos neuronales reflejos debido a la activación de los órganos sensoriales de la periferia.

Fomento de adaptaciones motoras.

Si bien el objetivo es lograr restaurar la capacidad de marcha a su estado prepatológico, en muchas ocasio-

nes no es posible una rehabilitación total, y es necesario utilizar compensaciones, habitualmente mediante el uso de ayudas técnicas, para lograr una marcha lo más eficaz y eficiente posible. Por otra parte, es también necesario observar y evitar, o eliminar, las adaptaciones que puedan aparecer en la marcha del paciente que resulten en una marcha poco eficaz, eficiente o incluso que pueda derivar en lesiones.

Tomando estos aspectos básicos, entre las terapias físicas para la rehabilitación -en ocasiones también denominada reducción- de la marcha, se encuentran:

- La movilización de articulaciones.
- Ejercicios de equilibrio en sedestación y bipedestación.
- Ejercicios de transición de sedestación a bipedestación.
- Realización de marcha con la utilización de ayudas técnicas -barras paralelas, andador, bastones, órtesis-.

Habitualmente estos programas se complementan con tratamientos tales como la aplicación de estimulación eléctrica neuromuscular para la potenciación de la musculatura y diversas técnicas de neuromodulación.

Robótica aplicada a la rehabilitación de la marcha.

Una de las terapias físicas que integra gran parte de los principios enumerados anteriormente es la realización de marcha sobre un tapiz rodante, en la que el paciente se suspende en un arnés para descargar parte de su peso corporal, y así sea capaz de movilizar sus piernas. En el caso de que aun con la descarga del peso el paciente no es capaz de generar movimiento, o éste es incompleto, las extremidades inferiores se movilizan gracias a la acción manual externa, a través de la acción coordinada de dos o más personas. La realización de este ejercicio, si bien fomenta los principios anteriormente mencionados, está limitada en su duración -uno de los aspectos esenciales- debido al cansancio acumulado por las personas encargadas

de la movilización de las piernas del paciente. Es entonces cuando, a comienzos del siglo XXI, se aplicó la robótica para aliviar a las personas externas de este trabajo tan repetitivo, monótono y cansado, dando lugar al entrenador robótico de la marcha Lokomat.

Desde su aparición en el mercado, han aparecido otros robots que, si bien pueden diferir en cuanto a su construcción y funcionamiento, su objetivo final es el mismo: asistir en la movilización de las extremidades inferiores del paciente. La gran ventaja de estos robots es que la cantidad de tiempo que puede realizar la terapia el paciente es potencialmente ilimitada, además de que permiten ajustar con gran precisión las trayectorias y las fuerzas con la que las piernas son movilizadas. Además, permiten medir estas y otras características de la marcha, con lo que aumenta la información disponible relacionada con el estado y progreso del paciente en el tratamiento. Los entrenadores robóticos de la marcha constituyen hoy en día una alternativa terapéutica válida y eficiente para pacientes con una gran afectación de la marcha, dado que permite realizar tratamiento funcional e intensivo que no podría realizarse mediante otros medios, fundamentalmente manuales.

Utilidad terapéutica de los exoesqueletos robóticos.

En aras de mejorar la eficacia del entrenamiento de la marcha con dispositivos robóticos en pacientes con una mejor preservación de la capacidad de la marcha, actualmente se sigue investigando en la mejor forma de fomentar los principios básicos del aprendizaje motor a través de exoesqueletos robóticos. Estos sistemas son, en esencia, una ortesis en la que se han añadido motores y sensores en diversas articulaciones, generalmente en rodilla y cadera, que permiten generar el movimiento de flexión/extensión característica de la marcha. Desarrollados a principios de los años 70 como una alternativa a las ortesis rígidas para que los pacientes, cuya capacidad de marcha ya no tenía margen de mejora, pudieran caminar con un menor gasto energético, fueron abandonadas por falta de tecnologías adecuadas hasta los años 90, en las que el departamento de proyectos militares de Estados Unidos (DARPA) financió varios proyectos cuyo objetivo era la creación de exoesqueletos para la extensión de las capacidades físicas de los militares. Estos proyectos mejoraron la tecnología, y permitió que en la primera década del siglo XXI se retomase su desarrollo e investigación como alternativa a las ortesis rígidas facilitar la marcha de los pacientes dependientes de la silla de ruedas.

LIGERAS
DEPORTIVAS
ELÉCTRICAS
INFANTILES
TALLER

36 | **gracare**
 Aniversario Institut català d'ajudes tècniques

#1
EN CATALUNYA
 GRACIAS A TU CONFIANZA

WWW.GRACARE.COM

C/ ENTENÇA 165, BCN | 934.902.629
 C/ ROSSELLÓ 157, BCN | 938.376.304
 AV. JACQUARD 56, TERRASSA | 937.362.549

En los últimos años han atraído la atención de los investigadores puesto que permiten, de manera similar a los entrenadores robóticos, movilizar las piernas para realizar marcha, si bien no facilitan la descarga parcial del peso. Además, para su uso es necesario que el paciente tenga una participación activa y consciente durante la terapia, tratando de movilizar sus piernas y mantener el equilibrio durante el movimiento. Ambos factores generan un mayor esfuerzo físico y de concentración, aunque depende de la habilidad del paciente en el uso del exoesqueleto, por tanto, de su capacidad funcional y el entrenamiento.

¿Cómo podrían adaptarse los exoesqueletos robóticos a las necesidades de cada paciente? El proyecto TAILOR

En este contexto surge el proyecto TALOR, cuyo objetivo principal es el desarrollo de Sistemas Modulares Robóticos y Neuroprotésicos Personalizables para la Asistencia de la Marcha, posibilitando la configuración de un sistema personalizado a la capacidad funcional del paciente y a las necesidades terapéuticas. El proyecto está financiado por la Agencia Estatal de Investigación en la convocatoria del año 2018 de Proyectos de I+D Retos de investigación en 2018, y en el cual participan el Grupo de Rehabilitación Neural del Instituto Cajal del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, dirigido por el Dr. Juan C. Moreno, el Laboratorio de Ingeniería Biomecánica (BIOMECA) de la Universitat Politèc-



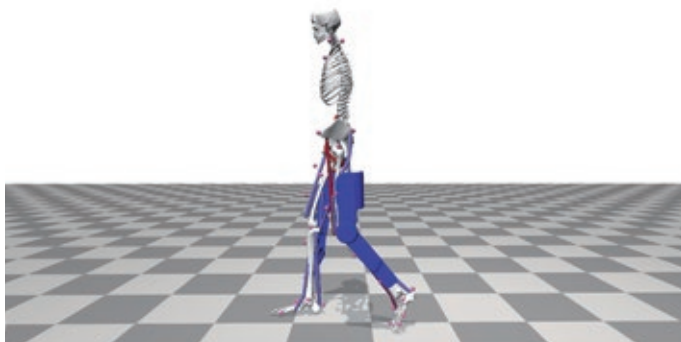


nica de Catalunya, dirigido por el Prof. Josep M. Font, el Hospital Nacional de Paraplégicos, dirigido por el Dr. Ángel Gil Agudo, y el Institut Guttmann, dirigido por el Dr. Joan Vidal. Para posibilitar el desarrollo de estos sistemas modulares es necesario realizar investigación y desarrollo en áreas en las que el proyecto pretende avanzar el estado actual del conocimiento. El proyecto está estructurado a su vez en tres subproyectos cuyas actividades coordinadas permitirán alcanzar el objetivo principal.

El subproyecto 1, liderado por el Hospital Nacional de Paraplégicos y con la colaboración del Institut Guttmann, coordina todas las actividades de investigación, desarrollo y evaluación, asegurando la involucración de los usuarios finales -pacientes y clínicos- en todas las etapas del proyecto. Por otra parte, también tiene como objetivo la investigación en nuevas metodologías de cuantificación de la marcha de los pacientes. Si bien existen numerosas métricas para evaluar la marcha, éstas se han desarrollado tomando en consideración una patología concreta, lo que por una parte imposibilita su aplicación a otras, y por otra dificulta la comparación del estado de marcha entre dos pacientes con patologías diferentes. Partiendo del hecho de que ciertas alteraciones en la marcha pueden ser observadas en pacientes de diferentes patologías, se está trabajando en el desarrollo de nuevas métricas para cuantificar la marcha sin tener en consideración las particularidades patológicas, en aras de conseguir una mayor aplicabilidad e intercomparación entre patologías.

Otro de los objetivos mencionados anteriormente es el fomentar la participación activa de los usuarios destinatarios de estas tecnologías -pacientes y clínicos- durante todo el proyecto, ya que la posibilidad de personalizar el exoesqueleto y la neuroprótesis no garantizan por sí mismas mejores resultados terapéuticos. En primer lugar, se deben establecer los criterios que ayuden a diseñar el conjunto de módulos óptimo para cada paciente, algo que actualmente no existe. Y, en segundo lugar, es necesario ofrecer al paciente y el clínico una tecnología que cumpla, en la mayor medida posible, no sólo los requerimientos funcionales, sino también las expectativas y necesidades de ambos. Estos aspectos responden a la idea clave de las metodologías de Diseño Centrado en el Usuario, las cuales precisamente pretenden convertir al usuario final -en este caso el paciente y el clínico- en un actor central en todas las actividades de desarrollo. Estas metodologías se han implementado en el proyecto TAILOR a través de este subproyecto, si bien se da un paso más en el sentido de que no sólo se están derivando requerimientos funcionales y de diseño, si no que se está analizando el impacto emocional en los pacientes de estas tecnologías, tanto las expectativas iniciales como el grado de satisfacción y objeciones de las tecnologías finales.

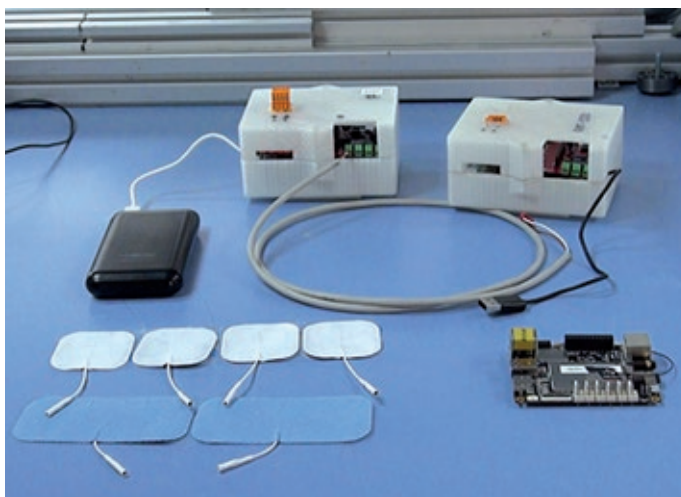
El subproyecto 2, liderado por el Instituto Cajal del CSIC, tiene como objetivos el diseño de los sistemas modulares, tanto exoesqueleto como neuroprótesis, el desarrollo e integración de los algoritmos de control, y la hibridación, tanto al nivel de dispositivo como a nivel de comunicación y control de los módulos de exoesquele-



Simulación de la acción combinada de los módulos del exoesqueleto y la neuroprótesis.

to y neuroprótesis, configurando una unidad híbrida. La investigación está orientada a la concepción del exoesqueleto como una plataforma de módulos, cada uno para una articulación de la extremidad inferior -cadera, rodilla, tobillo- con actuadores y sensores seleccionados para diferentes necesidades, además de sistemas de fijación adicionales. Estos sistemas pueden ser configurados y ensamblados entre sí para dar respuesta a un déficit de la marcha de un paciente en particular.

Actualmente este subproyecto ha desarrollado y patentado una neuroprótesis modular, que permite la utilización de diferentes módulos en función del número de articula-



ciones sobre los que se va a actuar mediante EEF. Permite la configuración desde 1 a 4 módulos, teniendo una unidad central que posibilita la gestión y comunicación entre los diferentes módulos, como la comunicación con los sistemas externos -exoesqueleto, interfaz del terapeuta-. Por otra parte, también ha logrado la integración de esta neuroprótesis modular con un exoesqueleto comercial en colaboración con ABLE Human Motion, modificado para lograr la modularidad requerida en este proyecto.

Otro de los objetivos de este subproyecto es desarrollar estrategias de control híbridas para la asistencia de la marcha mediante la acción conjunta del exoesqueleto y la neuroprótesis en una o varias articulaciones de la extremidad inferior. Dada la diversidad en la capacidad de marcha esperable de los pacientes con patología neurológica, es esperable que en algunos pacientes sea necesaria una actuación híbrida, en la que la estimulación de la musculatura dada por la neuroprótesis, sea complementada con actuación robótica. Esto exige desarrollar nuevas estrategias de control en la que el efecto de la estimulación y del motor del exoesqueleto resulten en un movimiento adecuado para desarrollar la marcha.

Por último, el subproyecto 3 tiene como principal objetivo desarrollar un marco de simulación, tanto programas como algoritmos y estrategias de simulación, para estudiar el efecto sobre la compensación motora de la acción combinada de los módulos del exoesqueleto y la neuroprótesis. El desarrollo y validación de las estrategias de simulación permitirá analizar y predecir el efecto sobre la marcha del paciente de una determinada configuración de módulos robóticos y neuroprótesis, proporcionando una manera eficiente para la elección de los módulos de asistencia y su configuración final.

El futuro inmediato

En la actualidad, el proyecto TAILOR está cercano a la consecución de los siguientes hitos:

- Nuevas formas y criterios para el diseñar exoesqueletos ambulatorios modulares, optimizados en

peso y dimensiones, con posibilidades de combinación con estimulación muscular.

- Una nueva neuroprótesis modular específica para la generación de movimiento, con capacidades de comunicación y control compatible con sistemas externos.
- Un novedoso marco de simulación para el análisis de la respuesta motora de un paciente, con sus características biomecánicas, antropométricas y funcionales, en respuesta a la acción combinada de fuerzas externas generadas por módulos robóticos y activación muscular artificial mediante estimulación.
- Criterios y procedimientos para la elección y configuración de tecnologías robóticas y neuroprótesis motoras personalizadas a las necesidades funcionales específicas de la persona.
- Una nueva metodología de análisis de datos para condensar la información obtenida del análisis tridimensional de la marcha en un subconjunto de valores representativos de la capacidad de andar de la persona.

- Nuevos datos sobre las necesidades y expectativas de las personas usuarias de estas tecnologías, que permitirán no sólo mejorar los diseños, si no también mejorar la manera en la que se ofrecen y aplican estas tecnologías con los usuarios finales, tanto personas con patologías como el personal clínico.

En definitiva, el proyecto TAILOR representa un paso importante en la investigación sobre tecnologías robóticas aplicadas a la compensación motora, promoviendo el desarrollo de una nueva generación de tecnologías robóticas para la asistencia a la marcha modulares, con mayor compatibilidad con las extremidades, y con motores más pequeños y eficientes, combinados con neuroprótesis que estimulen la musculatura de manera coherente con el movimiento. Estas nuevas tecnologías proporcionarán una experiencia de uso mucho más satisfactoria, optimizada a las necesidades funcionales de la persona, que podrá reconfigurarse y adaptarse a medida que la capacidad del paciente progrese.

¿Necesitas mayor Autonomía en tu hogar?

AHORA YA NO HAY QUE PENSAR EN CAMBIAR DE DOMICILIO

Adom
TU CERCA
DE LAS ADAPTACIONES

ACCESIBILIDAD | ADAPTACIÓN | AUTONOMÍA

www.adom-autonomia.com



Adom, soluciones integrales en Autonomía y Accesibilidad

MÁS MOVILIDAD CON GRÚAS DE TECHO. Comunica cama-silla-wc-ducha. Control por mando a distancia.

BAÑO 100% ACCESSIBLE. Ducha 100% plana, sin escalones ni mamparas, baños 100% transitables en silla de ruedas.

MÁS CONTROL DEL HOGAR. Teléfono, interfono, televisor, persianas, luces...Control sobre todo el hogar en un único mando a distancia.

AUTONOMÍA PARA ENTRAR Y SALIR DE CASA. Automatización de puertas, elevadores, en casa o en la escalera. Acceso también disponible por control remoto.




¡ INFÓRMATE ! >>> Proyectos personalizados. Expertos en soluciones para cada discapacidad. Te asesoramos en la obtención de ayudas y subvenciones.

PÍDENOS PRESUPUESTO SIN COMPROMISO info@adom-autonomia.com **T. 93 285 04 37**