

Usabilidad y aceptabilidad de para el entrenamiento de la marcha en sujetos con lesión medular: revisión sistemática

Héctor Mardomingo-Medialdea, Pilar Fernández-González, Francisco Molina-Rueda

Cortesía de



Introducción. La lesión medular limita gravemente la esperanza de vida y produce una restricción en las actividades de la vida diaria de los sujetos que la padecen. El entrenamiento de la marcha con exoesqueletos portables en sujetos que han sufrido una lesión medular supone un nuevo enfoque en su rehabilitación.

Objetivo. Examinar la usabilidad y aceptabilidad de estos dispositivos para el entrenamiento de la marcha en sujetos con lesión medular.

Pacientes y métodos. Se realizó una búsqueda bibliográfica hasta febrero de 2017 en las bases de datos Medline (PubMed, EBSCO), PEDro, Scopus y Web of Science. Se evaluaron la calidad metodológica, el nivel de evidencia científica y la fuerza de recomendación.

Resultados. Finalmente, se consideraron ocho trabajos, que seleccionaron a un total de 45 pacientes. Los programas de entrenamiento tuvieron una media de 35 sesiones y una duración aproximada de 60 minutos. En general, no se describieron efectos adversos importantes ni incrementos relevantes del dolor, la presión arterial, la frecuencia cardíaca o la fatiga. Además, la satisfacción con la intervención y la percepción de la calidad de vida de los participantes fueron altas.

Conclusiones. La rehabilitación de la marcha con exoesqueletos portables genera aceptación y satisfacción entre los pacientes con lesión medular.

Palabras clave. Entrenamiento de la marcha. Exoesqueleto. Lesión medular. Rehabilitación.

Departamento de Fisioterapia, Terapia Ocupacional, Rehabilitación y Medicina Física; Facultad de Ciencias de la Salud (H. Mardomingo-Medialdea, P. Fernández-González, F. Molina-Rueda). Laboratorio de Análisis del Movimiento, Biomecánica, Ergonomía y Control Motor, LAMBECOM (P. Fernández-González, F. Molina-Rueda). Universidad Rey Juan Carlos. Alcorcón, Madrid, España.

Correspondencia:

Dra. Pilar Fernández González. Departamento de Fisioterapia, Terapia Ocupacional, Rehabilitación y Medicina Física. Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad Rey Juan Carlos. Avda. Atenas, s/n. E-28922 Alcorcón (Madrid).

E-mail:

pilar.fernandez@urjc.es

Aceptado tras revisión externa: 11.10.17.

Cómo citar este artículo:

Mardomingo-Medialdea H, Fernández-González P, Molina-Rueda F. Usabilidad y aceptabilidad de los exoesqueletos portables para el entrenamiento de la marcha en sujetos con lesión medular: revisión sistemática. Rev Neurol 2018; 66: 35-44.

© 2018 Revista de Neurología

Introducción

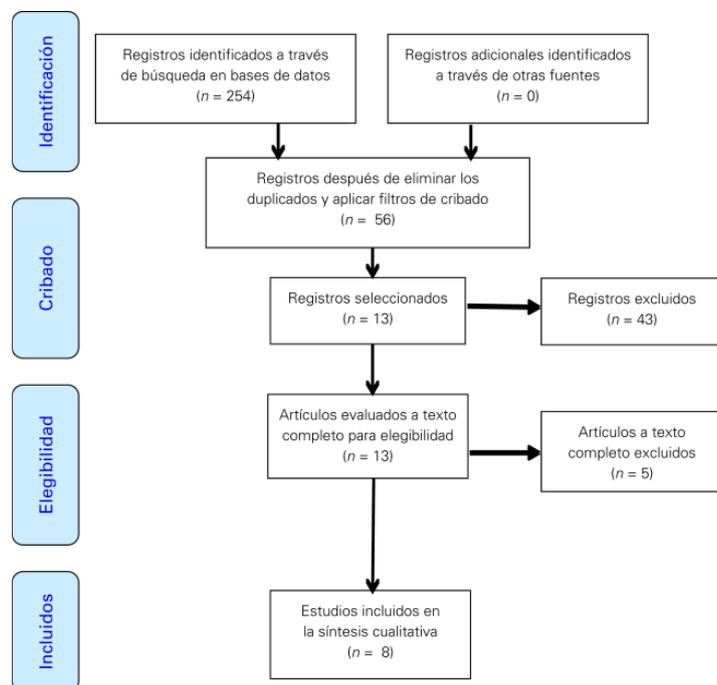
La lesión medular de causa traumática supone una incidencia global de 23 casos por millón de habitantes, lo que representa 180.000 casos por año en todo el mundo [1]. Se asocia con incapacidad permanente y disminución de la esperanza de vida [2], y produce importantes costes económicos para los servicios sanitarios y sociales [3]. Por lo general, conduce a disfunciones graves por debajo de los segmentos lesionados, como déficit motor o sensorial de las extremidades inferiores o superiores.

En los últimos años se han desarrollado dispositivos de movilidad innovadores, como los exoesqueletos portables de los miembros inferiores, los cuales ayudan a las personas con lesión medular a realizar programas de rehabilitación de la marcha [4]. Estos sistemas permiten a los usuarios caminar sin necesidad de estar conectados continuamente a una fuente de alimentación, por lo que el reentrenamiento de la marcha es posible en contextos cambiantes. En la actualidad, comercialmente y que cubran todo el miembro inferior, existen diferentes

dispositivos portables, como ReWalk[®], EKSO[®] (anteriormente denominado e-Legs), Kinesis[®], HAL[®] (*Hybrid Assistive Limb*) y Exo-H2[®]. Todos ellos son sistemas con articulaciones motorizadas en la cadera y la rodilla, alimentadas por baterías recargables y con sensores que permiten controlar el dispositivo en la realización de la actividad elegida (caminar, levantarse o sentarse). Algunos emplean productos de apoyo para la marcha, como ReWalk y EKSO [5].

En los últimos diez años, los dispositivos de robótica asistida empleados en la rehabilitación de la marcha en pacientes con patología neurológica han logrado buenos resultados en la recuperación de la funcionalidad del miembro inferior [6]. Dichos dispositivos parecen haber disminuido el esfuerzo físico realizado por parte de los terapeutas y han permitido intensificar el entrenamiento de la marcha de los pacientes [6].

Existen trabajos con distinto nivel de evidencia que analizan la repercusión y percepción del entrenamiento de la marcha con exoesqueletos portables en los pacientes con lesión medular [7]. No obstan-

Figura 1. Diagrama de flujo (directrices PRISMA 2009).

te, no existen revisiones, en nuestro conocimiento, que analicen la usabilidad y aceptabilidad de estos dispositivos para el entrenamiento de la marcha en sujetos con lesión medular.

El propósito de este trabajo fue examinar la usabilidad y aceptabilidad de los exoesqueletos portables para el entrenamiento de la marcha en sujetos con lesión medular completa o incompleta. Para ello, se pretende analizar la repercusión del entrenamiento de la marcha con exoesqueletos portables en el dolor, los parámetros cardiovasculares, el esfuerzo y la fatiga, la marcha, la satisfacción y la calidad de vida.

Pacientes y métodos

Criterios de inclusión

Los criterios de inclusión establecidos fueron: estudios con el mayor nivel de evidencia posible (la novedad de la intervención con exoesqueletos portables en la lesión medular y el escaso número de artículos presente en la bibliografía obligaron a considerar todos los artículos disponibles, que fueron revisados y evaluados de forma crítica), experimen-

tales y observacionales, ensayos clínicos, estudios de series de casos, estudios de un caso y, en su defecto, informes preliminares, estudios piloto y estudios de viabilidad, cuyos participantes sufrieran lesión medular (completa e incompleta) con alteración de la marcha sin importar el nivel medular de afectación, ya fueran hombres o mujeres, y sus edades se comprendieran entre 18 y 65 años; la intervención llevada a cabo debía consistir en el entrenamiento de la locomoción asistida por exoesqueleto portable que permitiera a la población diana caminar de forma independiente; y debían evaluar las siguientes medidas de resultado relacionadas con la usabilidad y aceptabilidad:

- *Registros de dolor y molestias cutáneas*: escala visual analógica y *Numeric Rating Scale* [8].
- *Indicadores fisiológicos*: frecuencia cardíaca, consumo máximo de oxígeno (VO_2 , expresado en mL/kg/min) y unidad metabólica de reposo o presión arterial [9].
- *Esfuerzo y fatiga*: escala visual analógica, escala de Borg [10].
- *Satisfacción*: *Quebec User Evaluation of Satisfaction with assistive Technology* (QUEST) [11], cuestionarios de satisfacción en una escala tipo Likert [12] y *Participant Satisfaction Questionnaire* [13].
- *Calidad de vida*: cuestionario SF-36 [14], encuesta de salud SF-12 (versión 2.0) [15].
- *Medidas relacionadas con el funcionamiento de la marcha*: test de marcha de 10 metros [16] o prueba de la marcha de seis minutos [17].
- *Otros efectos adversos*: registros de caídas, fracturas, sensación de miedo, presión o desconfianza.

Estrategia de búsqueda

La búsqueda de estudios se efectuó sin fecha límite de partida y se extendió hasta febrero de 2017. Se incluyeron artículos en inglés y castellano de las siguientes bases de datos: Medline (PubMed, EBSCO), Web of Science, Physiotherapy Evidence Database (PEDro) y Scopus; empleando como metodología de búsqueda las siguientes palabras clave: *spinal cord injur**, *exoskeleton**, *gait*, *locomotor training*, *lower limb*, *gait training*, *ambulatory exoskeletons*, *usability* y *powered exoskeleton*, además de la combinación de éstas.

Método de la revisión sistemática

Dos autores decidieron de forma conjunta qué estudios cumplían los criterios de inclusión basándose en el análisis de los títulos y resúmenes de la búsqueda electrónica. Se extrajeron de forma estanda-

Figura 2. Exoesqueletos incluidos en la revisión: a) ReWalk; b) HAL; c) EKSO; d) Kinesis; e) Exo-H2.



rizada los siguientes datos de cada estudio: métodos (método de reclutamiento de pacientes, tipos de escalas utilizadas, método de realización de las mediciones), participantes (número de participantes, edad, sexo y nivel de lesión medular), tipo de intervención (marca comercial del exoesqueleto, tipo de actividad realizada, frecuencia, duración e intensidad de las sesiones de entrenamiento), medidas de resultado (medidas de valoración relevantes para la revisión) y resultados (cambios en las medidas de resultado evaluadas, pérdidas y efectos adversos).

Evaluación de la calidad metodológica

Los artículos que cumplían los criterios de inclusión fueron analizados a texto completo para determinar su relevancia. Se evaluó su calidad metodológica mediante la herramienta *Critical Review Form-Quantitative Studies* [18]; además, se aplicó la escala Oxford [19] para determinar el grado de evidencia y el nivel de recomendación.

Con la intención de mejorar la calidad y presentación de la presente revisión sistemática, se decidió seguir las directrices de la declaración PRISMA y su lista de control de 27 ítems [20].

Resultados

Descripción de los estudios

Se identificaron 253 estudios, de los cuales se seleccionaron 56, excluyendo 48 de éstos por no cumplir

los criterios de inclusión establecidos (Fig. 1) [21-67]. Los datos fueron extraídos de los ocho estudios restantes, los cuales seleccionaron a un total de 45 participantes (Tabla I).

En relación con el exoesqueleto empleado, un estudio ($n = 3$) utilizó HAL (Cyberdyne Inc., Ibraki, Japón) [68], cuatro estudios ($n = 33$) emplearon ReWalk (Argo Medical Technologies) [69-72], un estudio ($n = 3$) empleó el robot EKSO (EKSO Bionics) [73], un estudio ($n = 3$) llevó a cabo entrenamiento de la marcha con Kinesis [74] y un estudio ($n = 4$) empleó Exo-H2 (Technaid Bioingeniería) [75] (Fig. 2).

En todos los artículos se incluyeron participantes de más de 18 años con lesión medular y afectación de la marcha [68-75]. El sexo de los participantes fue de ocho mujeres y 37 hombres. En todos los estudios se seleccionaron pacientes con un peso inferior a 83 kg [68-75]. En todos los trabajos se describieron características de la lesión medular y de la afectación funcional generada en la marcha (Tabla I) [68-75]. Un total de siete trabajos [68-72,74,75] utilizaron y especificaron la escala ASIA [76] para determinar el nivel de lesión. Participaron pacientes con niveles de lesión ASIA A, B, C y D.

En cuanto a las medidas de resultado, las variables más evaluadas en los trabajos fueron el dolor, la frecuencia cardíaca y el esfuerzo realizado (Tabla I). Tres artículos [70,73,74] evaluaron el dolor mediante la escala visual analógica, y uno de ellos [68] lo determinó mediante la *Numeric Rating Scale*. De los ocho ensayos seleccionados, tres llevaron a cabo una estimación de la frecuencia cardíaca de los participantes [70,71,74]. En dos de ellos, los registros de frecuencia cardíaca se realizaron antes y después

Tabla 1. Síntesis de resultados de los artículos incluidos.

	Participantes	Protocolo experimental	Medidas de resultado	Resultados
Cruciger et al [68]	n = 2 (L1 y L3; hombre y mujer) ASIA A	Locomoción apoyada por exoesqueleto Hall con suspensión del peso corporal 12 semanas 5 sesiones/semana 90 min/sesión	SF-36 Dolor: escala NRS-11 10MWT Medidas en las semanas 1 y 12	Mejoras tras la intervención en SF-36 Intensidad de dolor inicial (NRS): 4,3; tras la intervención: 0,6 10MWT (pre): 85,6 ± 56,9; (post): 44,3 ± 34,6 s
Asselin et al [69]	n = 12 (10 varones, 2 mujeres) Nivel de lesión: C8 hasta D11 ASIA A y B	Protocolo de entrenamiento de marcha con exoesqueleto ReWalk (incluye equilibrio en sedestación y marcha por interiores y exteriores) 60 sesiones 3 sesiones/semana 60-90 min/sesión	10MWT 6mWT Mediciones antes y después de realizar el tratamiento	10MWT un promedio de 0,0048 m/s más rápido en cada sesión (los valores oscilan entre -0,0026-0,5 m/s) El VO ₂ de la marcha fue significativamente mayor
Sale et al [73]	n = 3 (2 hombres, 1 mujer) Nivel de lesión: D10, D6 y L1	Programa de entrenamiento para caminar con EKSO Duración de 6 semanas 20 sesiones 50 min/sesión	Escala de Borg EVA para el dolor y la fatiga <i>Participant Satisfaction Questionnaire</i> 6mWT Análisis de la marcha tridimensional Mediciones antes, durante y tras realizar el tratamiento	Borg (pre): 3,00 ± 3,46; (post): 1,66 ± 1,15 EVA para la fatiga (pre): 3,66 ± 3,05; (post): 2,66 ± 1,52 EVA para el dolor (pre): 3,33 ± 4,04; (post): 3,00 ± 3,46 6mWT interiores (pre): 45,70 ± 15,54; (post): 92,67 ± 17,16 6mWT exteriores (pre): 69,23 ± 28,13; (post): 79,67 ± 20,11 10MWT (pre): 69,33 ± 23,07; (post): 30,40 ± 1,709 Mejoran los parámetros espaciotemporales (velocidad, cadencia y longitud de paso) Buenos resultados en satisfacción: valores entre 4 y 5
Del-Ama et al [74]	n = 3 (varones) Nivel de lesión: L1, L4 y L5 ASIA A y D	Ejercicios de movilidad y marcha con exoesqueleto Kinesis (híbrido) Estimulación muscular en los extensores y flexores de la rodilla 2 semanas	EVA para dolor, fatiga y comodidad Frecuencia cardíaca PA sistólica y diastólica 10MWT 6mWT Mediciones antes y después de realizar el tratamiento	Incrementos relativos pre-post: 10MWT: 3,3 ± 1,6 6mWT: 17,0 ± 20,2 PA sistólica: 6,7 ± 20,8 PA diastólica: 7,3 ± 15,0 FC: 6,0 ± 14,6 EVA para el dolor (mm): 6,3 ± 17,3 EVA para la comodidad (mm): 2,9 ± 2,1 EVA para la fatiga (mm): 14,7 ± 50,5
Zeilig et al [70]	n = 6 Nivel de lesión: D5 hasta D12 ASIA A y B	Pruebas para el rendimiento de la marcha con exoesqueleto ReWalk Media de 13,7 sesiones por paciente 50 min/sesión	ECG para valorar la FC y la PA EVA para el dolor y la fatiga Incidencia de caídas Estado de la piel Mediciones antes y después de realizar el tratamiento	PA (pre): 121-77; (post): 129-83 FC (pre): 68; (post): 92 EVA para el dolor (pre): 1,77 ± 0,94; (post): 1,71 ± 1,02 EVA para la fatiga (pre): 1,00 ± 3,32; (post): 4,60 ± 2,02 Caídas: ninguna Lesiones cutáneas: ninguna significativa
Asselin et al [71]	n = 8 (7 hombres y 1 mujer) Nivel de lesión: D1 hasta D11 ASIA A y B	Entrenamiento para deambular con exoesqueleto alimentado ReWalk 2 semanas 3 sesiones/semana 60-90 min/sesión	VO ₂ FC 6mWT Escala de Borg Mediciones durante la sesión de tratamiento	VO ₂ en sedestación: 3,5 ± 0,4 mL/kg/min; en bipedestación: 4,3 ± 0,9 mL/kg/min El VO ₂ en marcha fue significativamente mayor (11,2 ± 1,7; p < 0,001) La FC durante la marcha se incrementó (118 ± 21 frente a 70 ± 10 y 81 ± 12) Borg (post): 10 ± 2 (muy ligero a bastante ligero)
López-Larraz et al [75]	n = 4 (3 hombres y 1 mujer) Nivel de lesión: D11, D12 y L1	Exoesqueleto Exo-H2 cadera-rodilla-tobillo + interfaz cerebro-máquina para la rehabilitación de la marcha Pruebas de desplazamiento Tres sesiones previas de familiarización en días separados Intervención: 3-4 bloques de 20 sesiones cada uno	Escala de Borg Escala QUEST 10MWT Mediciones antes, durante y tras realizar el tratamiento	Borg: aumento de 3 a 5 puntos en su nivel de esfuerzo Ninguno de los valores de la escala de Borg superó 17 Escala QUEST: resultados muy positivos (entre 3 y 5 puntos) 10MWT: promedio de 0,0051 m/s más rápido en cada sesión
Platz et al [72]	n = 7 (5 hombres y 2 mujeres) Nivel de lesión: D5 hasta L1 ASIA A y C	Entrenamiento con exoesqueleto ReWalk para levantarse, sentarse, equilibrio en bipedestación y marcha en interior 4-5 semanas 5 sesiones/semana 60 min/sesión	Evaluación de la calidad de vida con SF-12 (versión 2) Cuestionario de satisfacción en una escala tipo Likert	SF-12: mejoría significativa Puntuación media: 0,38 (intervalo de confianza al 77%: 0,01-0,76) Likert: alto grado de satisfacción

6mWT: Six Minute Walking Test, medido en metros; 10MWT: Ten Meter Walking Test, medido en segundos; ECG: electrocardiograma; EVA: escala visual analógica, medida en centímetros o milímetros; FC: frecuencia cardíaca, medida en latidos por minuto; NRS-11: Numeric Rating Scale; PA: presión arterial, medida en mmHg; QUEST: Quebec User Evaluation of Satisfaction with assistive Technology; SF-12: cuestionario de calidad de vida SF-12; SF-36: cuestionario de calidad de vida SF-36; VO₂: consumo máximo de oxígeno, medido en mL/kg/min.

del entrenamiento de la marcha con el dispositivo robótico portable [70,74]. Solo un estudio [71] evaluó la frecuencia cardíaca durante la actividad. Dos trabajos valoraron también la presión arterial antes y después del entrenamiento de la marcha; sin embargo, no especificaron el método de medición [70, 74]. El esfuerzo y la fatiga fueron analizados en cuatro estudios, empleando para ello la escala visual analógica o la escala de Borg [70,71,73,74]. Sólo un trabajo evaluó el consumo de oxígeno [71].

El análisis de la satisfacción del participante se tuvo en cuenta en tres estudios [70,72,75], y la mayoría de los sujetos realizó comentarios positivos con respecto a los beneficios emocionales/psicosociales de utilizar exoesqueletos. Como medidas estandarizadas de evaluación se emplearon la escala QUEST modificada [75], escalas tipo Likert [72] y el *Participant Satisfaction Questionnaire* [73]. En alusión a la calidad de vida, dos estudios realizaron un análisis de ésta [68,72]. Uno de ellos [68] se sirvió del cuestionario SF-36, y el otro [72] empleó la encuesta de salud SF-12 (versión 2.0).

Respecto a las pruebas que valoran la velocidad y resistencia de marcha, cuatro de los estudios [68, 69,74,75] llevaron a cabo el test de marcha de 10 metros. La prueba de marcha de seis minutos se utilizó en cuatro ensayos [69,71,73,74].

En cuanto a la dosis de condición experimental, seis de los trabajos [68,69,72-75] tuvieron una duración de 2-12 semanas con tiempos de sesión que oscilaron entre 20-90 minutos. Dos estudios observacionales prospectivos [70,71] no especificaron el tiempo de las sesiones de trabajo. En uno [70] se especificó un tiempo de formación previa con el exoesqueleto de 30 minutos por paciente.

Dos trabajos especificaron el proceso de montaje y colocación del exoesqueleto en los participantes [69,71]. Los parámetros electrónicos de programación de los exoesqueletos no se detallaron con exactitud en ninguno de los trabajos.

Síntesis de resultados

En la evaluación del dolor y las posibles molestias, dos estudios refirieron mejoras [68,73]. Uno de los trabajos indicó que el dolor no se incrementó al usar el exoesqueleto [70]. Otra de las publicaciones evidenció un mínimo aumento del dolor clínicamente no significativo [74].

Los efectos adversos fueron infrecuentes y leves. Un estudio informó de casos de ligera presión, fricción y mínima hinchazón en dos de sus participantes [72]. Otros dos sujetos refirieron la presencia de dolor leve durante el entrenamiento en la cintura

escapular, el tronco y el brazo [72]. Uno de los trabajos, que realizó un registro de las caídas, no evidenció ninguna [70].

En cuanto a la frecuencia cardíaca, aumentó una media de 20 latidos/min tras la intervención en los cuatro estudios que la evaluaban [69-71,74]. La presión arterial se elevó dentro de parámetros normales en tres de los estudios [69,70,75]. En un artículo hubo un incremento medio de la presión diastólica de 40 mmHg (media ponderal previa de 80 mmHg y posterior de 120 mmHg) [74].

Dos ensayos valoraron el consumo de oxígeno durante la intervención [69,71]. En ambos, el valor medio de VO_2 durante la marcha fue significativamente mayor que estando sentado o en bipedestación (11,2 mL/kg/min).

En referencia al nivel de fatiga y esfuerzo que conlleva el uso de los exoesqueletos portables, en tres estudios los pacientes consideraron la actividad como ligera o poco intensa; sin embargo, el uso de los exoesqueletos sí supuso un incremento de la percepción de fatiga [70,73,74].

Tres de las publicaciones midieron la satisfacción de los participantes tras la intervención con exoesqueleto [72,73,75], pero sólo una utilizó la escala estandarizada QUEST y obtuvo una media de 30,5 sobre 45 puntos [75]. Se alcanzó la puntuación más alta en las preguntas sobre seguridad y facilidad de uso (4,25 de media), mientras que la puntuación más baja se alcanzó cuando se cuestionaba la comodidad de los dispositivos (2,5 de media).

La calidad de vida tuvo mejoras sustanciales en el estudio que empleó el cuestionario SF-36 [68]. El ensayo que utilizó la encuesta de salud SF-12 (versión 2.0) indicó una calidad de vida más alta entre los participantes después de la intervención [72].

En cuanto a los parámetros de marcha, como velocidad y resistencia, se evaluaron en siete de los estudios incluidos [68-70,72-75], y todos reflejaron cambios positivos tras la intervención. Un trabajo realizó un análisis tridimensional de la marcha y mostró mejoras en sus parámetros espaciotemporales [73].

Calidad metodológica

En la presente revisión, los ensayos oscilan entre 7 [68,69] y 13 [70] puntos según la herramienta *Critical Review Form Quantitative Studies and the Guidelines for Critical Review Form-Quantitative Studies* (Tabla II). El nivel de evidencia para la escala Oxford en los trabajos incluidos es de 4, y la fuerza de recomendación para los mismos es de nivel C en todos los casos [68-75].

Tabla II. *Critical Review Form-Quantitative Studies.*

	Ítems															Puntuación total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Cruciger et al [68]	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	7
Asselin et al [69]	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	7
Sale et al [73]	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	10
Del-Ama et al [74]	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	8
Zeilig et al [70]	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	13
Asselin et al [71]	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	10
López-Larraz et al [75]	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	8
Platz et al [72]	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	9

Discusión

La finalidad de esta revisión sistemática consistió en evaluar la usabilidad y aceptabilidad de los exoesqueletos portables en el entrenamiento de la marcha en personas con lesión medular completa o incompleta. La intención fue recopilar los ensayos de mayor evidencia, pero, dada la novedad de las intervenciones con exoesqueletos portables en pacientes con lesión medular, hubo que incluir los mejores artículos encontrados en la literatura, a pesar de tener un nivel de evidencia relativamente bajo. El escaso número de publicaciones incluidas resta solidez a los datos obtenidos. Por ello, se recomienda hacer una lectura precavida de los resultados.

Uno de los temas más analizados sobre el uso de la tecnología en rehabilitación es la aceptabilidad y usabilidad, términos que integran aspectos fundamentales para la implantación en ámbitos clínicos, como la satisfacción generada, la comodidad, la seguridad y la facilidad de manejo de los dispositivos, o los cambios generados en el funcionamiento y la participación de los usuarios.

Según los resultados de los trabajos incluidos en la presente revisión, el entrenamiento de la marcha con exoesqueletos portables no produjo efectos adversos importantes. Los pacientes refirieron satisfacción con los dispositivos y una mejor percepción de su calidad de vida. Parámetros como el consumo de oxígeno, la presión arterial o la percepción de fatiga sufrieron cambios asumibles y aceptables debidos a la intervención.

En relación con la seguridad de los exoesqueletos, Miller et al [1], en su revisión sistemática, con-

cluyeron que los exoesqueletos portables apenas generaban efectos adversos en los pacientes que los utilizaron. Sin embargo, dos de los trabajos incluidos en dicha revisión comunicaron alguna caída, que no resultó en lesión, así como alguna fractura por estrés en el calcáneo, que no precisó tratamiento. En nuestra revisión, los efectos adversos descritos fueron molestias cutáneas y sensación de presión en las zonas de contacto de los exoesqueletos portables. Aunque los artículos incluidos en este trabajo no describen efectos adversos importantes, el reducido tamaño muestral y el corto seguimiento de los participantes impiden asegurar que el uso de estos dispositivos a largo plazo no conlleve o cause algún tipo de lesión. Por tanto, próximas experiencias deberían profundizar en estos aspectos, a través de protocolos de intervención con períodos de seguimiento más amplios. Además, no existen trabajos, en nuestro conocimiento, que se hagan eco de aspectos tan relevantes como la percepción de confianza, miedo o estrés que puede suponer para los pacientes el uso de estos dispositivos. Un aspecto relevante para determinar la usabilidad de un dispositivo es la capacidad de producir un efecto deseado. En este caso, los artículos incluidos describieron mejoras de la velocidad y la resistencia de marcha. Louie et al [77] obtuvieron igualmente mejoras en estos parámetros empleando exoesqueletos portables.

Respecto al número de sesiones de entrenamiento, los estudios incluidos oscilaron entre 6 y 60 sesiones por cada paciente. Es un rango muy amplio, y es probable que exista una amplia diferencia de resultados a favor de los participantes que usaron

exoesqueleto portable en sesenta sesiones. Por lo que respecta a la intensidad a la cual se realizó el entrenamiento, no se especificó en la mayoría de los ensayos; no obstante, en los estudios en los que se midieron variables cardíacas (frecuencia cardíaca, presión arterial, VO_2) no se produjeron variaciones que advirtieran de una magnitud de entrenamiento muy elevada o que supusieran algún riesgo para los participantes.

El predominio de la utilización de exoesqueletos portables frente a no portables se determina por la capacidad de alcanzar velocidades más rápidas, reducir el nivel de asistencia y aumentar la seguridad en la deambulación en ambientes cambiantes. Van Hedel et al [78] mostraron que los participantes –categorizados como ‘caminantes asistidos’– que eran capaces de alcanzar una velocidad mínima de $0,44 \pm 0,14$ m/s con un exoesqueleto portable eran más independientes y tenían una mayor satisfacción y una menor percepción del dolor que los pacientes que utilizaban un exoesqueleto no portable.

En cuanto a la calidad metodológica y al diseño de los trabajos incluidos, en la mayoría de los casos se trata de estudios piloto y estudios de prueba de concepto, cuya misión posterior es ampliar el número de participantes y convertirse en estudios con diseños metodológicos más complejos. Por tanto, los estudios incluidos en esta revisión sistemática evidencian ciertas carencias metodológicas que deben analizarse de forma general con el objetivo de constatar las limitaciones del presente trabajo. En ninguno de los estudios coexistió un grupo control para poder otorgar más confianza a los resultados. Además, ninguno de los trabajos mencionó que se realizase cegamiento de los evaluadores. De esta forma, se asume un riesgo de sesgo de clasificación que afecta a la medición de las variables. Cuatro de los ensayos incluidos en la revisión indicaron que se evitó la cointervención [70-72,74]. En el resto no se menciona si se llevaron a cabo otros tratamientos concomitantes [68,69,73,75].

Los exoesqueletos portables constituyen una nueva forma de reentrenamiento de la marcha en sujetos con lesión medular incompleta tanto en fase aguda como crónica. Sin embargo, los estudios no focalizan su atención en distinguir, en pacientes con distintos períodos de evolución, los objetivos y posibles efectos de los exoesqueletos. Es importante destacar que, en una fase inicial de la lesión medular incompleta, el propósito de cualquier intervención destinada al entrenamiento de la marcha pretende la consecución de un patrón más simétrico y funcional. Sin embargo, en fases más crónicas, las intervenciones tratan de compensar los déficits es-

tablecidos. Esta dicotomía debe reflejarse en futuros estudios sobre usabilidad, pues es probable que la percepción y satisfacción de los pacientes respecto a los exoesqueletos portables varíe de acuerdo con su estadio evolutivo.

El presente estudio de revisión sistemática presenta varias limitaciones inherentes al proceso de búsqueda, selección, metodología y resultados. En primer lugar, únicamente se consideraron e incluyeron estudios y trabajos publicados en castellano e inglés (descartando aquéllos en alemán, francés y japonés; idiomas de publicación de muchos grupos de trabajo relacionados con la robótica y los exoesqueletos actualmente). La búsqueda de información para la realización de la presente revisión se circunscribió a las bases de datos indicadas en el apartado ‘Pacientes y métodos’, y es posible que algunas publicaciones no se hayan tenido en cuenta. Por otra parte, incluye un número reducido de artículos con una metodología objetable y niveles de recomendación bajos. A esto hay que añadir una muestra de participantes pequeña y una gran diversidad clínica, con un amplio rango de edad, lo que condiciona la experiencia de entrenamiento de la marcha y, por tanto, la aceptabilidad y usabilidad en muchos de los participantes.

En conclusión, esta revisión sistemática muestra que existen experiencias viables sobre el entrenamiento de la marcha con exoesqueletos portables en sujetos con lesión medular completa o incompleta. La intervención ha demostrado ser tolerable y aceptable para los participantes, y, aunque la usabilidad en ambientes externos al laboratorio todavía requiere algunas mejoras, la tendencia de los profesionales en rehabilitación de la marcha debería ir encaminada a aceptar este tipo de tecnología.

Bibliografía

1. Miller LE, Zimmermann AK, Herbert WG. Clinical effectiveness and safety of powered exoskeleton-assisted walking in patients with spinal cord injury: systematic review with meta-analysis. *Med Devices* 2016; 9: 455-66.
2. Rahimi-Movaghar V, Sayyah MK, Akbari H, Khorramirouz R, Rasouli MR, Moradi-Lakeh M, et al. Epidemiology of traumatic spinal cord injury in developing countries: a systematic review. *Neuroepidemiology* 2013; 41: 65-85.
3. Liu Y, Wang Y, Teng Z, Zhang X, Ding M, Zhang Z, et al. DNA microarray analysis in screening features of genes involved in spinal cord injury. *Med Sci Monit* 2016; 22: 1571-81.
4. Lajeunesse V, Vincent C, Routhier F, Careau E, Michaud F. Exoskeletons' design and usefulness evidence according to a systematic review of lower limb exoskeletons used for functional mobility by people with spinal cord injury. *Disabil Rehabil Assist Technol* 2015; 11: 535-47.
5. Calderón-Bernal AM, Cano-de-la-Cuerda R, Alguacil-Diego IM, Molina-Rueda F, Cuesta-Gómez A, Miangolarra-Page JC. Terapia robótica para la rehabilitación de la marcha en patología neurológica. *Rehabilitación* 2015; 49: 177-92.

6. Sale P, De Pandis MF, Le Pera D, Sova I, Cimolin V, Ancillao A, et al. Robot-assisted walking training for individuals with Parkinson's disease: a pilot randomized controlled trial. *BMC Neurol* 2013; 13: 50.
7. Lefeber N, Swinnen E, Kerckhofs E. The immediate effects of robot-assistance on energy consumption and cardiorespiratory load during walking compared to walking without robot-assistance: a systematic review. *Disabil Rehabil Assist Technol* 2017; 12: 657-71.
8. Khanna R, Jariwala K, West-Strum D. Validity and reliability of the Medical Outcomes Study Short-Form Health Survey version 2 (SF-12v2) among adults with autism. *Res Dev Disabil* 2015; 43-44: 51-60.
9. Störmer S, Gerner HJ, Grüniger W, Metzmacher K, Föllinger S, Wienke C, et al. Chronic pain/dysaesthesia in spinal cord injury patients: results of a multicenter study. *Spinal Cord* 1997; 35: 446-55.
10. Esquenazi A, Talaty M, Packer A, Saulino M. The ReWalk powered exoskeleton to restore ambulatory function to individuals with thoracic-level motor-complete spinal cord injury. *Am J Phys Med Rehabil* 2012; 91: 911-21.
11. Penko A, Barkley J, Alberts J. Validity of the Borg RPE scale for Parkinson's patients. *Med Sci Sports Exerc* 2011; 43 (Suppl 1): S88.
12. Güler S, Turan F. Turkish version Quality of Life in Essential Tremor Questionnaire (QUEST): validity and reliability study. *Idegyogy Sz* 2015; 68: 310-7.
13. Kimbrel NA, Flynn EJ, Carpenter GS, Cammarata CM, Leto F, Ostiguy WJ, et al. Internal consistency, test-retest reliability, and predictive validity for a Likert-based version of the Sources of Occupational Stress-14 (SOOS-14) scale. *Psychiatry Res* 2015; 228: 961-2.
14. Maurice-Szamburski A, Michel P, Loundou A, Auquier P. Validation of the generic medical interview satisfaction scale: the G-MISS questionnaire. *Health Qual Life Outcomes* 2017; 15: 36.
15. Kłosiński M, Tomaszewski KA, Tomaszewska IM, Kłosiński P, Skrzat J, Wólcho JA. Validation of the Polish language version of the SF-36 Health Survey in patients suffering from lumbar spinal stenosis. *Ann Agric Environ Med* 2014; 21: 866-70.
16. Amatachaya S, Naewla S, Srisim K, Arrayawichanon P, Siritarativat W. Concurrent validity of the 10-meter walk test as compared with the 6-minute walk test in patients with spinal cord injury at various levels of ability. *Spinal Cord* 2014; 52: 333-6.
17. Gomes E, Bastos T, Probst M, Ribeiro JC, Silva G, Corredeira R. Reliability and validity of 6MWT for outpatients with schizophrenia: a preliminary study. *Psychiatry Res* 2016; 237: 37-42.
18. Law M, Stewart D, Pollicj N, Letts L, Bosch J, Westmorland M. Guidelines for critical review form-quantitative studies. Hamilton, Canada: McMaster University; 1998.
19. Centre for Evidence-Based Medicine. Oxford centre for evidence-based medicine –levels of evidence (March 2009). Oxford: CEBM; 2009. URL: <http://www.cebm.net/oxford-centre-evidence-based-medicine-levels-evidence-march-2009>. [03.03.2016].
20. Hutton B, Catalá-López F, Moher D. The PRISMA statement extension for systematic reviews incorporating network meta-analysis: PRISMA-NMA. *Med Clin (Barc)* 2016; 147: 262-6.
21. Schwartz I, Meiner Z. Robotic-assisted gait training in neurological patients: who may benefit? *Ann Biomed Eng* 2015; 43: 1260-9.
22. Hartigan C, Kandilakis C, Dalley S, Clausen M, Wilson E, Morrison S, et al. Mobility outcomes following five training sessions with a powered exoskeleton. *Top Spinal Cord Inj Rehabil* 2015; 21: 93-9.
23. Yang A, Asselin P, Knezevic S, Kornfeld S, Spungen AM. Assessment of in-hospital walking velocity and level of assistance in a powered exoskeleton in persons with spinal cord injury. *Top Spinal Cord Inj Rehabil* 2015; 21: 100-9.
24. Aach M, Cruciger O, Sczesny-Kaiser M, Höffken O, Meindl RC, Tegenthoff M, et al. Voluntary driven exoskeleton as a new tool for rehabilitation in chronic spinal cord injury: a pilot study. *Spine J* 2014; 14: 2847-53.
25. Lancini M, Serpelloni M, Pasinetti S, Guanziroli E. Healthcare sensor system exploiting instrumented crutches for force measurement during assisted gait of exoskeleton users. *IEEE Sens J* 2016; 16: 8228-37.
26. Guan X, Liu Y, Gao L, Ji L, Wang R, Yang M, et al. Trunk muscle activity patterns in a person with spinal cord injury walking with different un-powered exoskeletons: a case study. *J Rehabil Med* 2016; 48: 390-5.
27. Ha KH, Murray SA, Goldfarb M. An approach for the cooperative control of FES with a powered exoskeleton during level walking for persons with paraplegia. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng* 2016; 24: 455-66.
28. Koyama S, Tanabe S, Saitoh E, Hirano S, Shimizu Y, Katoh M, et al. Characterization of unexpected postural changes during robot-assisted gait training in paraplegic patients. *Spinal Cord* 2016; 5: 120-5.
29. Wall A, Borg J, Palmcrantz S. Clinical application of the Hybrid Assistive Limb (HAL) for gait training: a systematic review. *Front Syst Neurosci* 2015; 9: 48.
30. Tsukahara A, Hasegawa Y, Eguchi K, Sankai Y. Restoration of gait for spinal cord injury patients using HAL with intention estimator for preferable swing speed. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng* 2015; 23: 308-18.
31. Chang M, Chun M. Use of robots in rehabilitative treatment. *J Korean Med Assoc* 2015; 58: 141-6.
32. Domingo A, Lam T. Reliability and validity of using the Lokomat to assess lower limb joint position sense in people with incomplete spinal cord injury. *J Neuroeng Rehabil* 2014; 11: 167.
33. Sylos-Labini F, La Scaleia V, D'Avella A, Pisotta I, Tamburella F, Scivoletto G, et al. EMG patterns during assisted walking in the exoskeleton. *Front Hum Neurosci* 2014; 8: 423.
34. Knikou M, Mummisettey CK. Locomotor training improves premotoneuronal control after chronic spinal cord injury. *J Neurophysiol* 2014; 111: 2264-75.
35. Fleerkotte BM, Koopman B, Buurke JH, Van Asseldonk EH, Van der Kooij H, Rietman JS. The effect of impedance-controlled robotic gait training on walking ability and quality in individuals with chronic incomplete spinal cord injury: an explorative study. *J Neuroeng Rehabil* 2014; 11: 26.
36. Del-Ama AJ, Gil-Agudo A, Pons JL, Moreno JC. Hybrid FES-robot cooperative control of ambulatory gait rehabilitation exoskeleton. *J Neuroeng Rehabil* 2014; 11: 27.
37. Farris RJ, Quintero HA, Murray SA, Ha KH, Hartigan C, Goldfarb M. A preliminary assessment of legged mobility provided by a lower limb exoskeleton for persons with paraplegia. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng* 2014; 22: 482-90.
38. To CS, Kobetic R, Bulea TC, Audu ML, Schnellenberger JR, Pinault G, et al. Sensor-based hip control with hybrid neuro-prosthesis for walking in paraplegia. *J Rehabil Res Dev* 2014; 51: 229-44.
39. Bulea TC, Kobetic R, Audu ML, Triolo RJ. Stance controlled knee flexion improves stimulation driven walking after spinal cord injury. *J Neuroeng Rehabil* 2013; 10: 68.
40. Fineberg DB, Asselin P, Harel NY, Agranova-Breyer I, Kornfeld SD, Bauman WA, et al. Vertical ground reaction force-based analysis of powered exoskeleton-assisted walking in persons with motor-complete paraplegia. *J Spinal Cord Med* 2013; 36: 313-21.
41. Hoekstra F, Van Nunen MP, Gerrits KH, Stolwijk-Swüste JM, Crins MH, Janssen TW. Effect of robotic gait training on cardiorespiratory system in incomplete spinal cord injury. *J Rehabil Res Dev* 2013; 50: 1411-22.
42. Chen G, Chan CK, Guo Z, Yu H. A review of lower extremity assistive robotic exoskeletons in rehabilitation therapy. *Crit Rev Biomed Eng* 2013; 41: 343-63.
43. Del-Ama AJ, Koutsou AD, Moreno JC, De-los-Reyes A, Gil-Agudo A, Pons JL. Review of hybrid exoskeletons to restore gait following spinal cord injury. *J Rehabil Res Dev* 2012; 49: 479-514.
44. Del-Ama AJ, Moreno JC, Gil-Agudo A, De-los-Reyes A, Pons JL. Online assessment of human-robot interaction for hybrid control of walking. *Sensors* 2012; 12: 215-25.

45. Nessler JA, Moustafa-Bayoumi M, Soto D, Buhon J, Schmitt R. Assessment of hindlimb locomotor strength in spinal cord transected rats through animal-robot contact force. *J Biomech Eng* 2011; 133: 121007.
46. Farris RJ, Quintero HA, Goldfarb M. Preliminary evaluation of a powered lower limb orthosis to aid walking in paraplegic individuals. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng* 2011; 19: 652-9.
47. Jang IH, Jung JY, Lee DY, Lee DW, Park HS. Crutch gait pattern for robotic orthoses by the use of feature extraction. *Artificial Life and Robotics* 2011; 16: 262-5.
48. Rupp R, Plewa H, Schuld C, Gerner HJ, Hofer EP, Knestel M. MotionTherapy@Home –first results of a clinical study with a novel robotic device for automated locomotion therapy at home. *Biomed Tech* 2011; 56: 11-21.
49. Jang IH, Lee DY, Jung JY, Lee DW, Lee HG, Park HS. Development of gait assisting rehabilitation robot for spinal cord injury patient. *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems* 2010; 16: 860-5.
50. Mankala K, Banala SK, Agrawal SK. Novel swing-assist un-motorized exoskeletons for gait training. *J Neuroeng Rehabil* 2009; 6: 24.
51. Hesse S, Werner C. Connecting research to the needs of patients and clinicians. *Brain Res Bull* 2009; 78: 26-34.
52. Wang S, Wang L, Meijneke C, Van Asseldonk E, Hoellinger T, Cheron G, et al. Design and control of the MINDWALKER exoskeleton. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng* 2015; 23: 277-86.
53. Onose G, Cârdei V, Crăciunoiu ȘT, Avramescu V, Opreș I, Lebedev MA, et al. Mechatronic wearable exoskeletons for bionic bipedal standing and walking: a new synthetic approach. *Front Neurosci* 2016; 10: 343.
54. Chen G, Qi P, Guo Z, Yu H. Mechanical design and evaluation of a compact portable knee-ankle-foot robot for gait rehabilitation. *Mechanism and Machine Theory* 2016; 103: 51-64.
55. Guan X, Liu Y, Gao L, Ji L, Wang R, Yang M, et al. Trunk muscle activity patterns in a person with spinal cord injury walking with different un-powered exoskeletons: a case study. *J Rehabil Med* 2016; 48: 390-5.
56. Kwak N, Müller KR, Lee SW. A lower limb exoskeleton control system based on steady state visual evoked potentials. *J Neural Eng* 2015; 12: 056009.
57. Asbeck AT, Schmidt K, Walsh CJ. Soft exosuit for hip assistance. *Robotics and Autonomous Systems* 2015; 73: 102-10.
58. Foglyano KM, Kobetic R, To CS, Bulea TC, Schnellenberger JR, Audu ML, et al. Feasibility of a hydraulic power assist system for use in hybrid neuroprostheses. *Appl Bionics Biomech* 2015; 2015: 205104.
59. Araujo MV, Alsina PJ, Cavalcanti Roza VC, Melo NB. Powered orthosis ortholeg: design and development. *IEEE Latin America Transactions* 2015; 13: 90-5.
60. Wolff J, Parker C, Borisoff J, Mortenson WB, Mattie J. A survey of stakeholder perspectives on exoskeleton technology. *J Neuroeng Rehabil* 2014; 11: 169.
61. Guo Z, Yu H, Yin YH. Developing a mobile lower limb robotic exoskeleton for gait rehabilitation. *J Med Devices* 2014; 8: 044503.
62. Knaepen K, Beyl P, Duerinck S, Hagman F, Lefeber D, Meeusen R. Human-robot interaction: kinematics and muscle activity inside a powered compliant knee exoskeleton. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng* 2014; 22: 1128-37.
63. Galle S, Malcolm P, Derave W, De Clercq D. Enhancing performance during inclined loaded walking with a powered ankle-foot exoskeleton. *Eur J Appl Physiol* 2014; 114: 2341-51.
64. La Scaleia V, Sylos-Labini F, Hoellinger T, Wang L, Cheron G, Lacquaniti F, et al. Control of leg movements driven by EMG activity of shoulder muscles. *Front Hum Neurosci* 2014; 8: 838.
65. Stoller O, De Bruin ED, Schindelholz M, Schuster-Amft C, De Bie R, Hunt KJ. Cardiopulmonary exercise testing early after stroke using feedback-controlled robotics-assisted treadmill exercise: test-retest reliability and repeatability. *J Neuroeng Rehabil* 2014; 11: 145.
66. Hussain S, Jamwal PK, Ghayesh MH. Single joint robotic orthoses for gait rehabilitation: an educational technical review. *J Rehabil Med* 2016; 48: 333-8.
67. Meng W, Liu Q, Zhou Z, Ai Q, Sheng B, Xie S. Recent development of mechanisms and control strategies for robot-assisted lower limb rehabilitation. *Mechatronics* 2015; 31: 132-45.
68. Cruciger O, Schildhauer TA, Meindl RC, Tegenthoff M, Schwenkreis P, Citak M, et al. Impact of locomotion training with a neurologic controlled hybrid assistive limb (HAL) exoskeleton on neuropathic pain and health related quality of life (HRQoL) in chronic SCI: a case study. *Disabil Rehabil Assist Technol* 2014; 11: 529-34.
69. Asselin PK, Avedissian M, Knezevic S, Kornfeld S, Spungen AM. Training persons with spinal cord injury to ambulate using a powered exoskeleton. *J Vis Exp* 2016; Jun 16. doi: 10.3791/54071.
70. Zeilig G, Weingarden H, Zwecker M, Dudkiewicz I, Bloch A, Esquenazi A. Safety and tolerance of the ReWalk exoskeleton suit for ambulation by people with complete spinal cord injury: a pilot study. *J Spinal Cord Med* 2012; 35: 96-101.
71. Asselin P, Knezevic S, Kornfeld S, Cirmigliaro C, Agranova-Breyter I, Bauman, et al. Heart rate and oxygen demand of powered exoskeleton-assisted walking in persons with paraplegia. *J Rehabil Res Dev* 2015; 52: 147-58.
72. Platz T, Gillner A, Borgwaldt N, Kroll S, Roschka S. Device-training for individuals with thoracic and lumbar spinal cord injury using a powered exoskeleton for technically assisted mobility: achievements and user satisfaction. *Biomed Res Int* 2016; 2016: 8459018.
73. Sale P, Russo EF, Russo M, Masiero S, Piccione F, Calabrò RS, et al. Effects on mobility training and de-adaptations in subjects with spinal cord injury due to a wearable robot: a preliminary report. *BMC Neurol* 2016; 16: 12.
74. Del-Ama AJ, Gil-Agudo A, Pons JL, Moreno JC. Hybrid gait training with an overground robot for people with incomplete spinal cord injury: a pilot study. *Front Hum Neurosci* 2014; 8: 298.
75. López-Larraz E, Trincado-Alonso F, Rajasekaran V, Pérez-Nombela S, Del-Ama AJ, Aranda J, et al. Control of an ambulatory exoskeleton with a brain-machine interface for spinal cord injury gait rehabilitation. *Front Neurosci* 2016; 10: 359.
76. El Masry WS, Tsubo M, Katoh S, El Miligui YH, Khan A. Validation of the American Spinal Injury Association (ASIA) motor score and the National Acute Spinal Cord Injury Study (NASCIS) motor score. *Spine* 1996; 21: 614-9.
77. Louie DR, Eng JJ, Lam T. Gait speed using powered robotic exoskeletons after spinal cord injury: a systematic review and correlational study. *J Neuroeng Rehabil* 2015; 12: 82.
78. Van Hedel HJ. Gait speed in relation to categories of functional ambulation after spinal cord injury. *Neurorehabil Neural Repair* 2009; 23: 343-50.

Usability and acceptability of portable exoskeletons for gait training in subjects with spinal cord injury: a systematic review

Introduction. Spinal cord injury limits severely life expectancy and it causes in a restriction in the activities of the daily life of the subjects who suffer it. Training the gait with portable exoskeletons in subjects with spinal cord injury is a new approach to rehabilitation.

Aim. To examine the usability and acceptability of these devices for gait training in subjects with spinal cord injury.

Patients and methods. A literature search was conducted until February 2017 in the databases: Medline (PubMed, EBSCO), PEDro, Scopus and Web of Science. The methodological quality, the level of scientific evidence and the strength of recommendation were evaluated.

Results. Finally, eight studies were considered recruiting a total of 45 patients. The training programs had an average of 35 sessions and a duration 60 minutes approximately. In general, no adverse events and no relevant increases in pain, blood pressure, heart rate or fatigue were reported. In addition, the satisfaction with the intervention and the perception of quality of life of the participants were quite high.

Conclusions. The rehabilitation of the gait with portable exoskeletons seems to be a safe intervention that generates acceptance and satisfaction among patients with spinal cord injury.

Key words. Exoskeleton. Rehabilitation. Spinal cord injury. Training of the gait.

