



Universidad de Valladolid



**Facultad
de Fisioterapia
de Soria**

FACULTAD DE FISIOTERAPIA DE SORIA

Grado en Fisioterapia

TRABAJO FIN DE GRADO

Rehabilitación de la marcha con
exoesqueleto HAL en lesionados
medulares

Autor/a: Cristina Camina Paniagua

Tutor/a: Isabel Carrero Ayuso

En Soria a 19 de junio de 2018

ÍNDICE

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

RESUMEN

1. INTRODUCCIÓN	4
1.1. Lesión medular.....	4
1.1.1. Concepto.....	4
1.1.2. Etiología e incidencia	4
1.1.3. Clasificación.....	6
1.1.4. Complicaciones.....	8
1.1.5. Tratamiento de fisioterapia.....	8
1.2. Exoesqueleto	9
1.2.1. Generalidades.....	9
1.2.2. Aplicaciones	11
2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS.....	12
2.1. Justificación.....	12
2.2. Objetivos.....	12
3. MATERIAL Y MÉTODOS.....	13
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	15
4.1. Características del sistema HAL.....	15
4.2. Beneficios del sistema HAL	16
5. DISCUSIÓN	22
6. CONCLUSIONES.....	24
7. BIBLIOGRAFÍA.....	25
8. ANEXOS	28
8.1. Anexo I – Escala ASIA	28
8.2. Anexo II – Estrategia de búsqueda.....	29

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

6MWT: *6 Minute Walk Test*

10MWT: *10 Meter Walk Test*

AIS: *ASIA Impairment Scale*

ASIA: *American Spinal Injury Association*

ASPAYM: *Asociación de Paraplégicos y Grandes Minusválidos*

BES: *señales bioeléctricas (bioelectrical signals)*

BP: *dolor corporal (bodily pain)*

BWSTT: *sistema de soporte de peso corporal (body weight-supported treadmill training)*

CAC: *control autónomico cibernético*

CVC: *control voluntario cibernético*

EMG: *electromiografía*

HAL: *Hybrid Assistive Limb*

ISNCSCI: *normas internacionales para clasificación neurológica de lesión medular espinal (International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury)*

LEMS: *lower-extremity motor score*

LM: *lesión medular*

NRS-11: *Numerical Rating Scale-11*

PF: *funcionamiento físico (physical functioning)*

RE: *papel emocional (role-emotional)*

RP: *rol físico (role-physical)*

SF-36: *Short Form-36*

SF: *funcionamiento social (social functioning)*

TENS: *estimulación eléctrica transcutánea*

TUG-test: *Time Up and Go test*

VT: *vitalidad (vitality)*

WISCI II: *Walking Index for Spinal Cord Injury II*

RESUMEN

Introducción. La incidencia en España de lesión medular (LM) es de 12-20 casos por millón de habitantes al año, la mayoría de los casos se debe a accidentes de tráfico. Una de las consecuencias de la LM es la pérdida de función motora que va a dar lugar a una pérdida de la independencia ya que se va a ver afectada la deambulacion. Gracias a los avances de la tecnología robótica se han creado los exoesqueletos para asistir en la rehabilitación de la marcha durante las sesiones de fisioterapia. A través de la revisión bibliográfica realizada se pretende conocer los efectos que tienen los exoesqueletos HAL en aquellas personas que presentan LM.

Metodología. Se ha llevado a cabo una búsqueda en diferentes fuentes bibliográficas como *PubMed*, *PEDro* y *Google Académico*. Como palabras clave se han utilizado *rehabilitation*, *gait*, *exoskeleton*, *Spinal Cord Injury (SCI)*, *Hybrid Assistive Limb*.

Resultados. Tras la lectura y análisis de los 9 artículos seleccionados, se ha observado un aumento del rendimiento y de la movilidad de las personas con LM tras la rehabilitación con exoesqueleto HAL, ya que aumentan la velocidad, la distancia y el tiempo de duración de la marcha, y disminuye la necesidad de asistencias.

Conclusiones. Los exoesqueletos permiten asistir y reemplazar los miembros inferiores afectados de las personas con LM, esto facilita la rehabilitación de la marcha durante las sesiones de fisioterapia.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. LESIÓN MEDULAR

1.1.1. CONCEPTO

El concepto de lesión medular (LM) hace referencia al proceso patológico que afecta a la médula espinal y cursa con la pérdida o alteración de las funciones neurológicas, ya sean motoras, sensitivas y/o autonómicas (1-4). Generalmente, la LM conlleva graves disfunciones con efectos a largo plazo que afectan a niveles localizados por debajo de la lesión de la médula espinal (1,5). Estas disfunciones van a dar lugar a consecuencias de carácter psicosocial que afectarán tanto a la persona implicada como a su entorno familiar. Todo esto va a generar en la persona afectada cierto grado de discapacidad (6). Los dos aspectos más importantes que pueden verse afectados por una LM son la marcha y la respiración.

La rehabilitación es una parte muy importante del proceso de recuperación del paciente ya que es fundamental para la reintegración en la sociedad después de una LM.

1.1.2. ETIOLOGÍA E INCIDENCIA

Etiológicamente, la lesión medular se puede diferenciar en congénita y adquirida; sin embargo, la bibliografía sobre las LM suele referirse fundamentalmente a las adquiridas, ya que las congénitas se describen como una anomalía en el desarrollo de la médula espinal. Es por esto que la LM se va a dividir en traumática (Tabla 1) y no traumática (Tabla 2) (1).

Tabla 1. Causas de lesión medular traumática (1).

Tráfico	Automóvil: conductor, copiloto, pasajero Pasajeros de otros medios de transporte: autobús, tren,... Atropellos: peatones, ciclistas,...
Deportivas/recreativas	Deportes de contacto: rugby, fútbol americano,... Deportes extremos: rapel, paracaidismo, parapente,... Otros: equitación, esquí, zambullidas,...
Laborales	Accidente con maquinaria pesada, caídas, soterramientos,...
Caídas	Domésticas, laborales ...
Otras	Agresión: lesiones por arma de fuego, por arma blanca, traumatismos directos Autolisis

Tabla 2. Causas de lesión medular no traumática (1).

Enfermedades congénitas y del desarrollo	Parálisis cerebral, diastematomelia,...
Enfermedades/trastornos degenerativos del SNC	Esclerosis lateral amiotrófica (ELA), paraparesia espástica hereditaria, atrofia espinal muscular,...
Iatrogenia	Punciones medulares, colocación de catéter epidural, reparación aórtica,...
Infecciosas	Viral: virus herpes simple, virus de varicela zóster, citomegalovirus, HTLV-1, poliovirus, ... Bacteriana: enfermedad de Pott, <i>Mycobacterium</i> spp. Micosis: <i>Cryptococcus</i> spp. Parasitaria: <i>Toxoplasma gondii</i> , <i>Schistosoma mansoni</i>
Inflamatorias	Esclerosis múltiple, mielitis transversa,...
Neoplásicas	Cáncer primario o metastásico (intramedular y extramedular),...
Reumatológicas y degenerativas	Espondilosis, estenosis, patología discal, enfermedad de Paget, artritis reumatoide, osteoporosis, osificación del ligamento longitudinal posterior,...
Secuela post-lesión	Siringomielia, pérdida tardía de la función,...
Tóxicas	Radiación, quimioterapia
Trastornos genéticos y metabólicos	Deficiencia de vitamina B ₁₂ , abetalipoproteinemia

La incidencia de la LM ha aumentado en Europa, se observó que en el 2007 hubo una incidencia a nivel mundial de 2,3 casos de LM traumática por cien mil habitantes (7). En España, la incidencia es de 12-20 casos por millón de habitantes al año según el documento publicado en el 2009 por la Federación Nacional Asociación de Paraplégicos y Grandes Minusválidos (ASPAYM) (8). La mayoría de los casos, con un 81,5%, son LM de origen traumático, de las cuales el 52,4% es debido a accidentes de tráfico (1,2,8). A continuación, se encuentran las caídas desde altura y los intentos de suicidio (2).

En cuanto al sexo, en España se observa un predominio de LM de origen traumático en varones frente a las mujeres con una relación de 4:1. En el caso de LM no traumática se produce un equilibrio con una relación 1:1 (2,8).

Según el nivel de la lesión, el más afectado, con un 50% de los casos, es el nivel cervical, y dentro de este, la vértebra C5 seguida de: C6, D12, C7 y L1 (2,8).

1.1.3. CLASIFICACIÓN

La LM se puede clasificar de distintas formas.

La consecuencia más visual de esta patología es la alteración de la función motora que provoca problemas para el control de tronco y de las extremidades. Dependiendo del **nivel de la lesión** podemos hablar de (2):

- **Tetraplejía:** ocurre cuando la lesión se produce en el nivel cervical, es decir, entre C1 y C8. Esto va a hacer que se vean afectadas ambas extremidades, el tronco y los órganos pélvicos. En el caso de que la lesión ocurra por encima del segmento C4, la persona va a necesitar ventilación mecánica para poder respirar.
- **Paraplejía:** ocurre cuando la lesión se localiza en los niveles dorsal, lumbar o sacro. En función del segmento lesionado, la persona presentará afectación de las extremidades inferiores, de tronco y/o de órganos pélvicos.

Según el **grado de extensión**, podemos diferenciar entre lesión medular completa e incompleta (2,3):

- **Completa:** se da cuando todas las conexiones de la médula se encuentran interrumpidas totalmente y, por lo tanto, existe una pérdida total de la movilidad, de la sensibilidad y de la inervación autonómica.
- **Incompleta:** se da cuando la inervación motora, sensitiva y/o autonómica existen de forma total o parcial.

La LM puede tener distinta sintomatología según el **síndrome clínico** que presente(1):

- **Síndrome de cordón anterior o de la arteria espinal anterior:** va a cursar con afectación de la función motora y sensitiva (dolor y temperatura), mientras que la propiocepción va a permanecer conservada.
- **Síndrome central de Schneider o centro medular:** la persona presentará mayor debilidad en las extremidades superiores en comparación con las extremidades inferiores. Se da en las LM de la región cervical.
- **Síndrome de Brown-Sequard o de hemisección medular:** esta lesión afecta a la propiocepción y función motora del mismo lado, y se produce una pérdida de la sensación dolorosa y térmica del lado contralateral.
- **Síndrome cordonal posterior:** se ve afectada la marcha, el equilibrio y la coordinación de la persona en aquellos movimientos por debajo de la LM.
- **Síndrome de cono medular:** va a presentar una ausencia de los reflejos en vejiga, intestino y miembros inferiores. A veces, puede conservar la función refleja de los segmentos sacros.

- **Síndrome de cola de caballo:** cursa con la misma sintomatología que el síndrome de cono medular pero sin posibilidad de conservar la función refleja de los segmentos sacros.
- **Otras LM no clasificables:** se engloban aquellos casos que presentan la región sacra no afecta o cuadros incompletos.

De forma internacional se utiliza una escala estándar que valora el grado de afectación de la lesión. Esta escala es la *ASIA Impairment Scale (AIS)* sigue las reglas de la Escala de Medición de la Discapacidad de la Asociación Americana de Lesión Medular (*American Spinal Injury Association, ASIA*) y clasifica el daño que ha sufrido la médula en cinco niveles, entre la A y la E, de mayor a menor afectación, respectivamente (2,3,8). A continuación se describen los distintos grados de afectación de LM (1):

- A. Completa:** no hay preservación de la función sensitiva o motora en los segmentos sacros S4-S5.
- B. Incompleta:** preservación de la función sensitiva por debajo del nivel neurológico que se extiende hasta los segmentos sacros S4-S5 con ausencia de función motora.
- C. Incompleta:** preservación de la función motora por debajo del nivel neurológico y más de la mitad de los músculos clave por debajo del nivel neurológico tienen un grado menor a 3 (grado 0-2).
- D. Incompleta:** preservación de la función motora por debajo del nivel neurológico y al menos la mitad de los músculos clave por debajo del nivel neurológico tienen un grado igual o mayor a 3.
- E. Normal:** función sensitiva y motora normal.

Para la valoración del daño motor se van a explorar, en posición de decúbito supino, cinco músculos de miembros superiores y cinco de miembros inferiores (2,8). A estos se les va a dar una puntuación entre 0 y 5, siguiendo las siguientes directrices de la escala ASIA (1):

- 0. Parálisis total.
- 1. Contracción visible o palpable.
- 2. Movimiento activo, completando el arco de movilidad eliminando la fuerza de gravedad.
- 3. Movimiento activo, completando el arco de movilidad contra la fuerza de la gravedad.
- 4. Movimiento activo, completando el arco de movilidad contra una resistencia moderada.
- 5. Movimiento activo, completando el arco de movilidad contra resistencia total.

NT. No testable.

La valoración de la función sensitiva se lleva a cabo explorando la vía de los cordones posteriores y la vía espinotalámica lateral, mediante el tacto con algodón y con un alfiler, respectivamente. Se puntúa de cero a dos, siendo el 0 ausencia de sensibilidad; 1, sensibilidad parcial y 2, sensibilidad normal. También se podrá clasificar como NT (no testable) aquel punto que no pueda ser correctamente valorado (1,2).

El Anexo I recoge más detalles sobre la escala ASIA.

1.1.4. COMPLICACIONES

Las personas con LM, además de presentar una disfunción en la función motora, van a tener complicaciones médicas. Es importante realizar un tratamiento continuado de la patología para reducir las complicaciones y los ingresos hospitalarios, de esta forma se pueden mejorar la calidad y la esperanza de vida (1).

Las principales complicaciones de la LM son (1,3):

- De la piel: úlceras por presión.
- Neurológicas: espasticidad, dolor neuropático.
- Gastrointestinales: estreñimiento, hemorroides...
- Urinarias: infecciones de vías urinarias, litiasis...
- Cardiorrespiratorias: insuficiencia respiratoria, trombosis venosa profunda, disreflexia autonómica...
- Aparato locomotor: espasticidad, pie equino...

1.1.5. TRATAMIENTO DE FISIOTERAPIA

El tratamiento de fisioterapia va a ir dirigido a los síntomas y las complicaciones que puede presentar la persona afectada por LM ya comentados en el apartado anterior.

El papel del fisioterapeuta será de gran importancia en aquellas complicaciones que tienen que ver con las funciones motora y sensitiva. Algunos de los objetivos de la rehabilitación son (9):

- Mantener rangos de movimiento de las articulaciones afectadas.
- Evitar retracciones y deformidades articulares.
- Prevenir complicaciones para disminuir el número de ingresos hospitalarios.
- Aumentar fuerza muscular de los miembros no afectados.
- Equilibrio y control del tronco.

Entre las intervenciones que se pueden realizar se encuentran (10):

- Estiramientos: aunque no existe evidencia de que provoquen cambios a largo plazo, es una técnica muy utilizada en personas con LM ya se ha visto que los pacientes presentan una disminución de la espasticidad después de las sesiones. Se pueden realizar con distintos parámetros de tiempo e intensidad de estiramiento.
- Tratamiento postural: se utiliza con la finalidad de evitar posibles complicaciones articulares. Es necesario realizar una educación de los familiares y del paciente para que también se tenga en cuenta en el domicilio.
- Cinesiterapia: se pueden realizar movilizaciones pasivas o activo-asistidas de las partes afectas. Al igual que en el tratamiento postural, el objetivo es evitar complicaciones articulares de tal forma que se conserven los rangos articulares y también ayuda a prevenir contracturas.
- Hidroterapia: favorece la disminución del tono muscular y, por lo tanto, reduce la espasticidad. Gracias a la disminución del peso dentro del agua, los movimientos de los ejercicios se pueden realizar con mayor facilidad.
- Electroestimulación: consiste en la estimulación de los músculos antagonistas para reducir la espasticidad. También se utiliza con el objetivo de fortalecer y mejorar el tono de aquellos músculos que no se han visto afectados por la LM.
- Estimulación eléctrica transcutánea (TENS): tiene escasa evidencia científica pero se aplica en los dermatomas de los músculos que se han visto afectados o sobre los nervios de dicha musculatura.

1.2. EXOESQUELETO

1.2.1. GENERALIDADES

Ya en la década de los años 80 del s. XX se empezaron a utilizar los avances de la tecnología robótica con el objetivo de ayudar en la marcha a aquellas personas con trastornos en el movimiento. El exoesqueleto es un sistema robótico portátil que tiene como objetivo facilitar el control de la marcha en aquellas personas que tienen disfunciones en el movimiento (11-13). Permite que la persona afectada sea capaz de realizar, en el entorno de rehabilitación, aquellas actividades que tendrán lugar al regresar al domicilio. De esta forma se pueden practicar los movimientos de la vida diaria de la persona, proporcionando las ayudas y el entrenamiento adecuado a cada momento. Todo esto va a facilitar que la persona alcance la mayor independencia posible (11-13).

Los exoesqueletos pueden estar compuestos por distinto número de articulaciones eléctricas que tienen un motor encargado de impulsar el movimiento del paciente (11-13).

En la Figura 1 se pueden observar los tipos de exoesqueleto que existen dependiendo de las articulaciones que presentan.

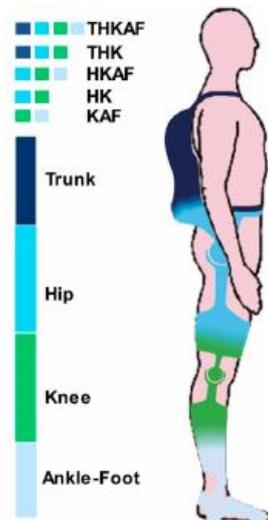


Figura 1. Tipos de exoesqueleto según el número de articulaciones (14).

En la actualidad existe una gran variedad de dispositivos que se encuentran en desarrollo y estudio. Entre ellos se encuentran:

- *ReWalk*: fue desarrollado en 2006. Es un exoesqueleto de extremidad inferior para personas con LM completa de C7 a D12. Se controla gracias al movimiento del tronco y a los desplazamientos del centro de gravedad detectados a través de un sensor de inclinación, cuando el cuerpo se desplaza hacia delante el sistema lo traduce como el inicio del paso (15,16).
- *Ekso/Ekso Bionics/eLEGS*: fue desarrollado en el año 2012. Está dirigido a aquellas personas que presentan accidente cerebrovascular o LM hasta C7. Permite el desplazamiento del 100% del peso, marcha lateral y posición de cuclillas (16,17).
- *Hybrid Assistive Limb (HAL)*: dirigido a personas con problemas para la deambulación por patologías neuromusculares como, por ejemplo LM. Se puede utilizar aunque la persona haya perdido totalmente la función motora de los miembros inferiores (16,18).
- *Exo-H2*: exoesqueleto de miembro inferior para aquellas personas que tienen una pérdida parcial de la capacidad de deambulación por LM incompleta o accidente cerebrovascular. Presenta sensores de posición de la articulación y de presión en los pies (16,19).
- *REX Rehab*: se desarrolló en Nueva Zelanda con el objetivo ayudar en la deambulación a personas con parálisis. Funciona gracias a una palanca que

actúa de mando para controlar el dispositivo. Es uno de los exoesqueletos más pesados ya que alcanza los 48 kg (16,20).

- Indego: está pensado para ser utilizado por aquellas personas que presentan debilidad en las extremidades inferiores, parálisis por LM o discapacidades producidas por patologías neurológicas. A diferencia de REX Rehab, su peso es mucho menor, alrededor de 12,3 kg. Este dispositivo, junto a ReWalk, es de los únicos que permiten subir y bajar escaleras (16,19).
- Kinesis: fue desarrollado en España para la rehabilitación de extremidades inferiores. Está dirigido a personas con LM incompleta capaces de realizar desplazamientos cortos. Puede utilizarse con electroestimulación funcional (FES) a través de electrodos de superficie (20).

1.2.2. APLICACIONES

El principal objetivo de la rehabilitación motora en un lesionado medular es lograr la deambulación para conseguir el mayor grado de independencia y funcionalidad del cuerpo, alejándose así de una posición mantenida en sedestación en la silla de ruedas (20,21).

Los objetivos del uso del exoesqueleto son (20):

- Facilitar la marcha en pacientes con LM crónica.
- Incrementar progresivamente la resistencia de las articulaciones que se encuentran afectadas.
- Conseguir los mejores resultados posibles durante la rehabilitación motora después de una LM.

Para utilizar el exoesqueleto se necesita un control de tronco que permita controlar el desplazamiento del peso y/o cierta contracción de la musculatura. Por lo tanto, van a mejorar el equilibrio y la propiocepción del cuerpo y, en algunos casos, va a aumentar la fuerza de la musculatura conservada. Además, mejoran las transferencias y se favorece el buen funcionamiento de los órganos al no permanecer el paciente todo el tiempo en la silla de ruedas, disminuyendo así los reingresos hospitalarios (22).

También se menciona la posibilidad de que el exoesqueleto actúe promoviendo la plasticidad cerebral ayudando a la recuperación de la marcha en aquellas personas que han sufrido una LM. Esta es una teoría que, actualmente, todavía no está definida (22).

2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

2.1. JUSTIFICACIÓN

La lesión medular es una patología neurológica que provoca grandes cambios en el estilo de vida en las personas afectadas y en la mayoría de los casos conlleva una limitación de la movilidad. Debido a esto, es fundamental un tratamiento multidisciplinar para conseguir la mayor independencia del paciente y mejorar su calidad de vida.

Se ha elegido este tema para dar a conocer este nuevo método que está en desarrollo y prueba cuya finalidad es mejorar la calidad de vida e independencia de las personas con lesión medular, ya que es fundamental que como fisioterapeutas conozcamos las últimas novedades para dar la mejor atención a los pacientes.

2.2. OBJETIVOS

Los objetivos del presente Trabajo de Fin de Grado son:

- Profundizar en los beneficios del uso de exoesqueletos en la rehabilitación de la marcha en pacientes con LM mediante el análisis de los últimos estudios sobre el exoesqueleto HAL.
- Conocer el funcionamiento y las aplicaciones del dispositivo HAL.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Al realizar una búsqueda inicial en PubMed con el nombre de los distintos exoesqueletos se encontraron 74 resultados para el sistema HAL, a continuación se encontraban Exo-H2 con 38 artículos, ReWalk con 14 artículos y, por último, Ekso con 13 artículos. Por lo tanto, el presente trabajo se ha centrado en el dispositivo denominado HAL para extremidad inferior ya que es uno de los dispositivos para el que existe mayor número de estudios.

En función de esto, se ha llevado a cabo una revisión de los estudios realizados sobre el exoesqueleto HAL en lesionados medulares. Para ello se han utilizado como fuentes de datos: PubMed, PEDro y Google Académico.

Las palabras clave utilizadas en las fuentes de datos fueron: *rehabilitation*, *gait*, *exoskeleton*, *Spinal Cord Injury (SCI)*, *Hybrid Assistive Limb* unidas al operador lógico o booleano "AND". En el Anexo II se puede observar la estrategia de búsqueda llevada a cabo.

Criterios de inclusión:

- Estudios publicados con un máximo de 10 años.
- Realizados con humanos
- Patología: LM
- Estudios que trabajen con *Hybrid Assistive Limb*.
- Artículos en inglés o español.

Criterios de exclusión:

- Artículos que no trabajen con miembro inferior y marcha.
- Estudios que combinen terapia de exoesqueleto con electroestimulación.
- Otro tipo de publicaciones diferentes a estudios (tesis doctoral, trabajo de fin de grado...).

Durante la búsqueda bibliográfica se obtuvieron 99 artículos de los cuales, tras aplicar los criterios de inclusión y exclusión, se descartaron 81 artículos. Tras realizar una comparación se eliminaron otros 5 dado que estaban repetidos. Por lo tanto, se ha utilizado un total de 9 artículos para analizar sus Resultados y realizar la Discusión. El proceso de selección se esquematiza en la Figura 2.

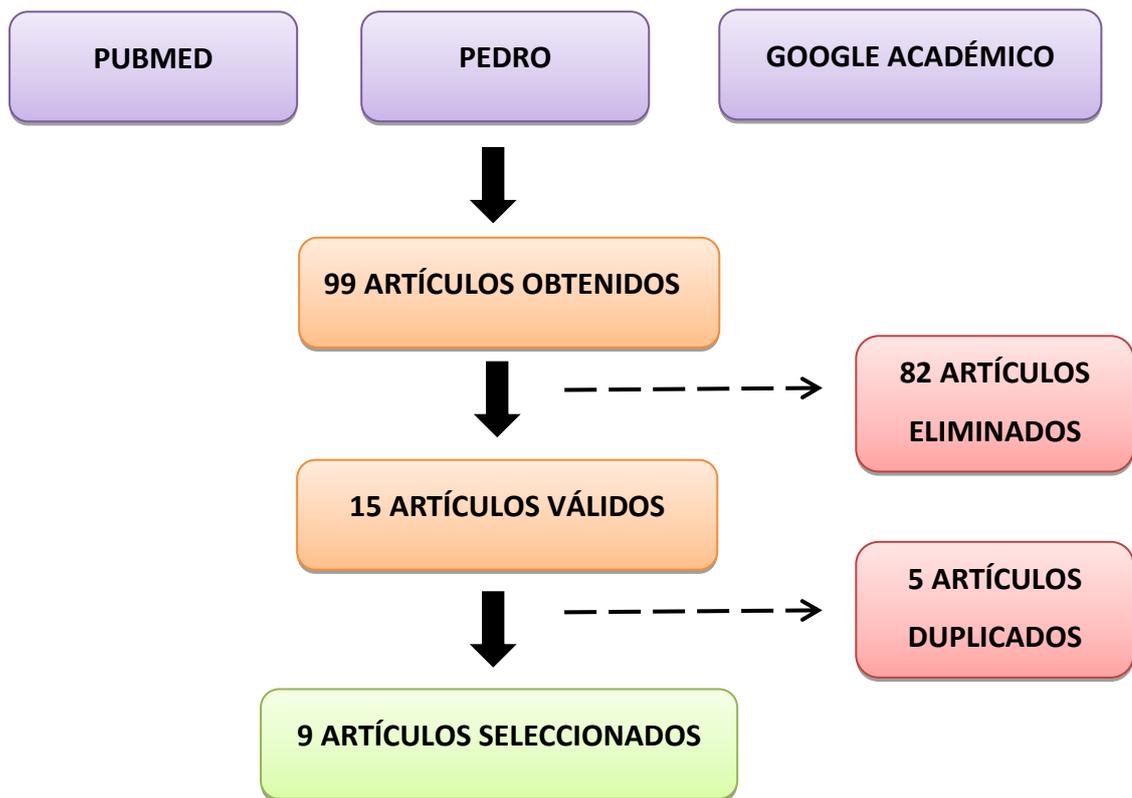


Figura 2. Diagrama del proceso de búsqueda bibliográfica

4. RESULTADOS

4.1. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA HAL

El exoesqueleto HAL fue desarrollado en el año 2011 en Japón por la Universidad de Tsukuba y la empresa *Cyberdyme Systems* (18,20). Al principio estaba dirigido a ayudar en las tareas del trabajo que requerían el uso de la fuerza, finalmente cambió cuando vieron que podía ayudar a pacientes con lesiones en la médula espinal (23).

Está formado por cuatro articulaciones en la cadera y la rodilla de cada pierna, y dos articulaciones pasivas en los tobillos que se controlan mediante sensores de presión y fuerza (Figura 2). Estos se encuentran colocados en forma de electrodos de superficie en la piel y en los zapatos (20).



Figura 2. Estructura del exoesqueleto HAL (18)

Para poder realizar la marcha es necesaria una integridad funcional y una interacción neuronal motora y sensitiva. Cuando una persona sana quiere realizar un movimiento, el cerebro envía las señales nerviosas al sistema musculoesquelético para que, posteriormente, se activen los músculos y se produzca dicho movimiento. Cuando ocurre una LM, se produce una alteración de dichos mecanismos que va a dar lugar a una limitación de la movilidad que es la causante de la imposibilidad de la marcha (20).

A diferencia de la mayoría de los exoesqueletos que funcionan a través de mandos externos con los que son controlados, el exoesqueleto HAL no cuenta con mandos adicionales ya que funciona con las señales que genera el cuerpo del paciente (23).

HAL puede funcionar a través de dos mecanismos dependiendo de la situación clínica de la persona (11,12,18):

- **El Control Voluntario Cibernético (CVC):** se activa gracias a los electrodos de superficie colocados en los músculos flexores y extensores de cadera y rodilla que detectan las señales bioeléctricas (BES) generadas antes de que tenga

lugar la contracción muscular. Este tipo de control será utilizado en aquellas personas que presenten cierto grado de función motora.

- **El Control Autónomo Cibernético (CAC):** se activa cuando detecta un desplazamiento del peso en los zapatos en los sensores de presión y fuerza. De esta forma, el exoesqueleto HAL puede ser utilizado por aquellos pacientes que tiene una ausencia completa de la función motora.

El dispositivo HAL ha sido utilizado, desde el año 2012, en 130 clínicas de Japón. A lo largo del presente año, 2018, va a estar disponible en Florida y, probablemente, en Alemania, Suecia y otros países europeos (23).

4.2. BENEFICIOS DEL SISTEMA HAL

Como se ha descrito en el apartado 3, para valorar los beneficios de utilizar el sistema HAL durante la rehabilitación se ha realizado un análisis de nueve artículos. Los estudios que se recogen en ellos se han llevado a cabo en personas con LM, observando las diferencias pre- y post-tratamiento con exoesqueleto mediante distintos tests:

- **10 Meter Walk Test (10MWT):** valora la velocidad, los pasos y la asistencia que necesitan para caminar una distancia de diez metros (24).
- **6 Minute Walk Test (6MWT):** evalúa la distancia y la asistencia que necesitan mientras caminan durante seis minutos (24).
- **Walking Index for Spinal Cord Injury II (WISCI II):** puntúa la necesidad de asistencia física y dispositivos durante la deambulación (21).

Otros estudios utilizan:

- **Time Up and Go test (TUG-test):** evalúa el tiempo necesario para ponerse de pie de la silla de ruedas, caminar tres metros, dar la vuelta, regresar a la silla y sentarse (21).
- **Short Form-36 (SF-36):** valora la calidad de vida del paciente. Consta de ocho dominios divididos en dos dimensiones: salud física, compuesta por funcionamiento físico (PF), rol físico (RP), dolor corporal (BP), salud general (GH) y vitalidad (VT); y salud mental, compuesta por funcionamiento social (SF) y papel-emocional (RE) (25).
- **Numerical Rating Scale-11 (NRS-11):** escala numérica de valoración del dolor. Consta de 11 puntos, ordenados de 0 a 10, siendo 0 la ausencia de dolor y 10 el peor dolor que es capaz de soportar la persona (25).

Cruciger et al. (25) realizaron en el año 2014 un estudio para demostrar los efectos de la rehabilitación con HAL en: calidad de vida, intensidad del dolor, funciones motoras y

capacidad de deambulaci3n. Para ello trabajaron con dos pacientes que presentaban LM y dolor neurop3tico cr3nicos. Se aplicaron 60 sesiones de 90 minutos de fisioterapia con el exoesqueleto HAL y el sistema de soporte de peso corporal (BWSTT) en un tapiz rodante. Al final de la intervenci3n los pacientes reflejaban un aumento de la distancia de deambulaci3n y del tiempo medio necesario para caminar 10 metros. Tambi3n se observ3 una disminuci3n de la puntuaci3n en los tests NRS-11 y SF-36, de tal forma que los pacientes presentaban un alivio del dolor que continuaba al cabo de un a3o de seguimiento, disminuyendo, a su vez, la necesidad de medicaci3n. Respecto a la funci3n motora (LEMS), tambi3n se reflej3 un aumento de la puntuaci3n, aunque no ocurri3 lo mismo con la funci3n sensitiva ya que se mantuvo invariable.

Ese mismo a3o, Aach et al. (26) llevaron a cabo un estudio con el objetivo de determinar si el dispositivo HAL puede ayudar en la mejora de la movilidad funcional en parapl3gicos cr3nicos por una LM. El estudio se realiz3 con ocho pacientes con paraplejia tras una LM cr3nica recibieron un entrenamiento de 5 sesiones por semana durante 90 d3as. El estudio concluy3 que hubo un aumento de la funci3n muscular y de la capacidad de deambulaci3n (distancia, velocidad y tiempo) medidas con los tests 10MWT, 6MWT y TUG-test. Entre los ocho pacientes del estudio se encontraba uno con espasticidad; este paciente, al finalizar las sesiones de fisioterapia experimentaba una reducci3n de la puntuaci3n, seg3n la escala Ashworth para la espasticidad, de 4 a 2. Esta disminuci3n de la espasticidad solo ten3a una duraci3n de entre 6 a 8 horas. En relaci3n a este estudio, en 2016, Ikumi et al. (12) publicaron un art3culo que ten3a como objetivo evaluar la eficacia y la seguridad del exoesqueleto HAL en un paciente con una tetraplejia completa. Tambi3n observaron una disminuci3n de la espasticidad en el paciente despu3s de realizar un entrenamiento con HAL durante 30 minutos. Esto se ve reflejado a su vez en una mejora de la deambulaci3n ya que la espasticidad est3 directamente relacionada con la mejor3a funcional del paciente y es uno de los obst3culos que se dan durante la rehabilitaci3n.

En el a3o 2017, Grasmucke et al. (24) realizaron el primer estudio con un mayor n3mero de personas con LM cr3nica y dividieron la muestra de 55 pacientes en cuatro subgrupos en funci3n del nivel de la lesi3n y del estado neurol3gico. Esto permiti3 determinar si la edad y el nivel de la lesi3n son factores que influyen a la hora de utilizar el exoesqueleto en personas con LM cr3nica. Adem3s se pudieron obtener unos resultados m3s concretos a la hora de comparar los grupos. Tambi3n se llev3 a cabo una comparaci3n entre pacientes seg3n su edad, inferior o superior a 50 a3os. Las variaciones se midieron mediante los tests WISCI II, 6MWT y 10WMT antes y despu3s de cada sesi3n. A la hora de valorar los resultados se realiz3 una distinc3n entre la mejora funcional con HAL y sin HAL. En ambos casos se obtuvo una mejor3a significativa. En el caso de los resultados sin HAL se produjo un aumento de la distancia media de deambulaci3n durante el 6MWT en todos

los grupos. El tiempo medio de deambulaci3n (10MWT) tambi3n aument3 aunque se obtuvo una mayor mejor3a en aquellas personas de menor edad. En cuanto a la puntuaci3n de WISCI II, se encontr3 una mejor3a significativa de tal forma que el 43,6% de los pacientes eran menos dependientes de ayudas para caminar despu3s de las 12 semanas de entrenamiento. El estudio concluye afirmando que ocurri3 un aumento de la funcionalidad en todas las personas que participaron en el estudio gracias al entrenamiento de la deambulaci3n mediante el exoesqueleto HAL.

Jansen et al. (27) quer3an determinar si se mantiene el nivel de actividad adquirida o si se producen nuevas mejoras en la deambulaci3n despu3s de 12 semanas de entrenamiento intensivo con HAL-BWSTT. Al finalizar el estudio, observaron que a lo largo de las primeras 12 semanas de sesiones de HAL-BWSTT los pacientes mejoraban en las puntuaciones de los tests 10MWT, 6MinWT, TUG test y WISCI II, aumentando la distancia y la velocidad de deambulaci3n. A partir de las 12 semanas de entrenamiento, se dividi3 la muestra en dos grupos que, posteriormente, recibieron un n3mero distinto de sesiones. El resultado que se obtuvo no mostr3 ninguna diferencia significativa y, al cabo de un a3o, no variaron los resultados que se hab3an obtenido despu3s del periodo inicial de 3 meses de entrenamiento intensivo.

Seg3n Shimizu et al. (28), el entrenamiento de la deambulaci3n con el exoesqueleto HAL mejora la velocidad y la cadencia de la marcha. Estos autores realizaron un estudio con un paciente con LM cr3nica en el que, a diferencia de los anteriores estudios comentados, se hace una valoraci3n mediante electromiograf3a (EMG) para describir los resultados de la intervenci3n con HAL. Al finalizar el tratamiento se observ3 un aumento de la activaci3n de gl3teo mayor y cu3driceps durante la fase de apoyo. Al igual que anteriores estudios, se concluye que el entrenamiento con HAL ayuda a la mejora de la marcha y disminuye la necesidad de ayudas durante la deambulaci3n.

Jansen et al. (21) quer3an dar evidencia a la eficacia de la rehabilitaci3n utilizando el exoesqueleto y comprobaron, como en estudios anteriores, que tras 90 d3as de entrenamiento con HAL se obten3an mejoras significativas en la velocidad, la distancia y la duraci3n de la marcha. Adem3s observaron, como ya hab3an hecho Aach et al. (26) e Ikuma et al. (12) y, posteriormente, repetir3n Watanabe et al. en su trabajo (29), que para ocho de los veint3n pacientes que realizaban el estudio, y que ten3an espasticidad, esta disminu3a despu3s de cada entrenamiento aunque, posteriormente, despu3s del descanso nocturno, volv3a a su estado inicial.

Recientemente, en 2018, Shimizu et al. (30) llevaron a cabo otro estudio con el objetivo de describir los efectos que se produc3an tras la intervenci3n con HAL en un paciente con LM cr3nica que presentaba paraplejia con una valoraci3n A en la escala ASIA.

Estos autores analizaron la deambulación y los grados de extensión activa de rodilla que podían realizar gracias a la ayuda de la musculatura conservada. Al igual que en otro estudio previo de este mismo grupo, Shimizu et al. (28), la valoración se llevó a cabo mediante EMG de superficie. Al finalizar el estudio, se observó que se había producido un aumento de la actividad muscular y de la distancia de deambulación.

Watanabe et al. (29) realizaron el primer estudio de un tratamiento de la marcha usando el exoesqueleto HAL. La finalidad era valorar los efectos de la rehabilitación con este dispositivo en dos personas no ambulatorias con LM en fase aguda con paraplejia. Al finalizar el estudio observaron una mejora de la marcha, de la velocidad de la misma y de los ángulos de las articulaciones. Como ya se ha comentado anteriormente, estos autores vieron que algunos pacientes mostraban una disminución de la espasticidad muscular después de utilizar el exoesqueleto.

En la Tabla 3 se recogen los aspectos principales de los artículos utilizados.

Tabla 3. Datos e información de los artículos seleccionados.

Autores	Año	Muestra	Tiempo de tratamiento	Tipo de estudio
Aach et al. (26)	2014	8 personas con LM crónica. Paraplejia ASIA A, B, C y D	5 veces por semana durante 90 días.	Estudio observacional
Cruciger et al. (25)	2014	2 personas con LM crónica y dolor neuropático crónico.	5 veces por semana durante 12 semanas. Un total de 60 sesiones	Estudio observacional
Ikumi et al. (12)	2016	1 persona con LM crónica. Tetraplejia C4.	10 sesiones repartidas en 2 veces por semana.	Estudio observacional
Grasmücke et al. (24)	2017	55 personas con LM crónica. Paraplejas ASIA A, C y D.	5 veces por semana durante 3 meses.	Estudio observacional
Jansen et al. (27)	2017	8 personas con LM crónica. Paraplejia ASIA A, B, C y D.	Primeras 12 semanas: 5 sesiones/semana Siguietes 40 semanas, dos grupos: - grupo 1: 3-5 sesiones/semana - grupo 2: 1 sesión/semana	Estudio observacional aunque, posteriormente, se realiza un estudio experimental
Jansen et al. (21)	2017	21 personas con LM crónica. 18 paraplejas y 3 tetraplejas. ASIA A, B, C y D.	5 veces por semana durante 12 semanas.	Estudio observacional

Tabla 3. Datos e información de los artículos seleccionados (continuación).

Autores	Año	Muestra	Tiempo de tratamiento	Tipo de estudio
Shimizu et al. (28)	2017	1 persona con LM crónica.	10 sesiones durante 3 meses.	Estudio observacional
Watanabe et al. (29)	2017	2 personas con LM aguda.	Un total de 7-8 sesiones repartidas en 3-4 veces por semana.	Estudio observacional
Shimizu et al. (30)	2018	1 persona con LM crónica. Paraplejia ASIA A.	10 sesiones durante 1 mes.	Estudio observacional

5. DISCUSIÓN

Después de analizar los artículos, se concluye que la rehabilitación del exoesqueleto HAL en personas con LM es una nueva herramienta terapéutica que ayuda a mejorar significativamente la deambulación. Cuatro artículos (12,21,26,27) observan la disminución momentánea de la espasticidad muscular que muchas veces presentan los pacientes con LM y que entorpece la rehabilitación motora. Además, uno de los artículos (25) muestra cómo los pacientes presentaron un alivio del dolor y necesitaron menor medicación.

Los estudios difieren en cuanto al protocolo de actuación para la rehabilitación de la marcha con exoesqueleto HAL, ya que varía entre 7 y 60 sesiones en total (21,24-27,29). Independientemente del número de sesiones, todos los pacientes que participaron en los estudios analizados mostraron una mejoría en los aspectos de la marcha, como son el aumento de la velocidad y de la distancia recorrida, el aumento del tiempo de marcha y la disminución de las asistencias durante la misma. También se observó un aumento de la fuerza muscular que fue valorada según las Normas Internacionales para Clasificación Neurológica de Lesión Medular Espinal (ISNCSCI) (12,21,24-27,29) y, en dos estudios (28,30), mediante EMG de superficie.

En cuanto a la espasticidad, Aach et al. (26), Ikuma et al. (12), Jansen et al. (21) y Watanabe et al. (29) demostraron, mediante la escala de Ashworth, cómo disminuía la espasticidad muscular de los pacientes tras una sesión de rehabilitación con exoesqueleto HAL. Y, como muestran Jansen et al. (21) y Aach et al. (26), este efecto solo se mantenía durante unas horas ya que posteriormente, tras el descanso nocturno, regresaba al nivel de espasticidad inicial. Sin embargo, aunque el efecto no se mantuviese a largo plazo, la disminución de la espasticidad facilitaba la rehabilitación de la marcha durante las sesiones.

El estudio de Cruciger et al. (25) muestra los cambios que se producen en el dolor neuropático de los pacientes después de la intervención con exoesqueleto HAL. Se observa que se puede reducir la dosis de la medicación para el dolor que tenían antes del tratamiento, ya que con este disminuye la intensidad del dolor.

Durante el análisis de los artículos se han encontrado algunas limitaciones. Todos los artículos presentan el principal problema de realizar estudios con muestras pequeñas y no homogéneas aunque este último aspecto es difícil de alcanzar ya que las LM suelen ser muy diferentes unas de otras.

Por otro lado, solo en el estudio de Cruciger et al. (25) se realiza una valoración al cabo de un año con el objetivo de observar los cambios en la intensidad del dolor, por lo que se puede concluir que faltan estudios con resultados a largo plazo para saber con más

precisión los efectos de realizar rehabilitación de la marcha con exoesqueleto y si se mantienen las mejoras obtenidas en cuanto a velocidad, distancia recorrida, tiempo de la marcha y disminución de asistencias.

Otra de las limitaciones encontradas durante la revisión fue que ningún artículo comparaba el tratamiento convencional con el tratamiento con exoesqueleto para observar las diferencias en el resultado final y poder saber si el tratamiento con este nuevo dispositivo presenta más beneficios para los usuarios.

Además, en la interacción con los pacientes son muy importantes tanto los aspectos psicológicos como el estado anímico de la persona a la hora de realizar cualquier tratamiento, y esto se acentúa en personas con LM ya que han sufrido un gran cambio en su vida. Ninguno de los artículos analizados tiene en cuenta la influencia de la motivación durante las sesiones y se centran únicamente en las escalas de medición para observar las mejorías en la marcha. Se considera que es importante valorar la situación anímica del paciente y cómo influye la utilización del exoesqueleto en la rehabilitación ya que es probable que puedan aumentar la motivación y el rendimiento durante las sesiones debido a que estos dispositivos les permiten realizar una función perdida de su vida cotidiana, en este caso la marcha, que sin exoesqueleto no sería posible.

El futuro de los exoesqueletos en patologías neurológicas va dirigido a la utilización de los conocimientos del fisioterapeuta junto a estos dispositivos como la principal herramienta de rehabilitación de la marcha con el objetivo de aumentar la funcionalidad (22). Gracias a estos dispositivos se produce una retroalimentación cuando la persona piensa en comenzar a caminar y el exoesqueleto realiza el movimiento. De esta manera, se involucra al paciente en su rehabilitación.

La finalidad actual de los exoesqueletos es ayudar en la rehabilitación de la marcha durante las sesiones de fisioterapia, pero es probable que en un futuro los exoesqueletos evolucionen y sean más ligeros. De esta forma, podrían llegar a permitir a los usuarios su utilización durante la mayor parte del día, permitiendo la realización de actividades que no serían posibles de otra manera y ayudando a evitar caídas accidentales (16).

6. CONCLUSIONES

- La LM tiene una incidencia en España de 12-20 casos por millón de habitantes al año. Una de las primeras consecuencias después de una LM es la pérdida de independencia, por esto, dentro de la rehabilitación motora que lleva a cabo la fisioterapia, el principal objetivo es lograr la deambulación.
- El exoesqueleto es una nueva herramienta de la fisioterapia que permite asistir o reemplazar la función de los miembros inferiores afectados para poder realizar una marcha fisiológica. Además de ser una ayuda física, también es una ayuda psicológica ya que anima a los pacientes al verse más cerca de cómo estaban antes de la lesión.
- HAL permite caminar a aquellas personas con LM, presenten o no capacidad de contracción muscular. La rehabilitación mediante exoesqueleto hace posible la bipedestación y la marcha que no serían posibles con otro tipo de ayudas (muletas, andadores, etc.).
- Actualmente, la rehabilitación con exoesqueleto no está incorporada en todos los centros de rehabilitación pero en un futuro tendrá un papel muy importante.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. Strassburguer Lona K, Hernández Porras S, Barquín Santos E. Lesión Medular: Guía para manejo integral del paciente con LM crónica. ASPAYM Madrid. 2014. p. 1-161.
2. Huete García A, Díaz Velázquez E. Análisis sobre la lesión medular en España. Informe de Resultados. 2009. 109 p.
3. Arroyo Espinal MJ, Carracedo Benítez N. Guía de buenas prácticas: Atención integral al nuevo lesionado medular. ASPAYM.
4. Rincón Herrera E. Descriptive analysis on the valuation of the situation of dependence in persons with spinal cord injury. Rev electrónica Ter Ocup Galicia, TOG. 2013;10(17):3.
5. 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(2):35-44.
6. Henao-Idema CP, Pérez-Parra JE. Lesiones medulares y discapacidad: revisión bibliográfica. Aquichan. 2010;10:157-72.
7. Galeiras Vázquez R, Ferreiro Velasco ME, Mourelo Fariña M, Montoto Marqués A, Salvador de la Barrera S. Actualización en lesión medular aguda postraumática. Parte 1. Med Intensiva. 2017;41(4):237-47.
8. Puyuelo-Quintana G, Gil-Agudo M, Cano-de la Cuerda R. Eficacia del sistema robótico de entrenamiento de la marcha tipo Lokomat en la rehabilitación de pacientes con lesión medular incompleta. Una revisión sistemática. Rehabilitacion. 2017;51(3):182-90.
9. Misakowski S. La rehabilitación terapéutica a pacientes parapléjicos: impacto desde las tecnologías. Pod - Rev Cienc y Tecnol en la Cult Física. 2017;12(1):21-30.
10. Gomez-Soriano J, Taylor J. Espasticidad después de la lesión medular. Fisioterapia; 2010. 32 (2)89-98.
11. 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(2):308-18.
12. Ikumi A, Kubota S, Shimizu Y, Kadone H, Marushima A, Ueno T, et al. Decrease of spasticity after hybrid assistive limb training for a patient with C4 quadriplegia due to chronic SCI. J Spinal Cord Med. 2017;40(5):573-8.
13. 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 (Auckl)*. 2016;9:455-66.
14. Yan T, Cempini M, Oddo CM, Vitiello N. Review of assistive strategies in powered lower-limb orthoses and exoskeletons. *Rob Auton Syst*. 2015;64:120-36.
 15. Rehabilitación ReWalk™ - ReWalk - Más que caminar [Internet]. [cited 2018 Jun 4]. Available from: <http://rewalk.com/rewalk-rehabilitation/>
 16. Esquenazi A, Talaty M, Jayaraman A. Powered Exoskeletons for Walking Assistance in Persons with Central Nervous System Injuries: A Narrative Review. *PM R*. 2017;9(1):46-62.
 17. Ekso Bionics - An exoskeleton bionic suit or a wearable robot that helps people walk again [Internet]. [cited 2018 Jun 4]. Available from: <https://eksobionics.com/>
 18. HAL® FOR MEDICAL USE (LOWER LIMB TYPE) - CYBERDYNE [Internet]. [cited 2018 Apr 15]. Available from: https://www.cyberdyne.jp/english/products/LowerLimb_medical.html
 19. Exoesqueleto Robótico | Technaid - Leading Motion [Internet]. [cited 2018 Jun 4]. Available from: <http://www.technaid.com/es/productos/robotic-exoskeleton/>
 20. Molinari M, Masciullo M, Tamburella F, Tagliamonte NL, Pisotta I, Pons JL. Exoskeletons for over-ground gait training in spinal cord injury. *Biosyst Biorobotics*. 2018;19:253-65.
 21. Jansen O, Grasmuecke D, Meindl RC, Tegenthoff M, Schwenkreis P, Sczesny-Kaiser M, et al. Hybrid Assistive Limb Exoskeleton HAL in the Rehabilitation of Chronic Spinal Cord Injury: Proof of Concept; the Results in 21 Patients. *World Neurosurg*. 2018;110:e73-8.
 22. Alfonso-mantilla JI, Martínez-santa J. Tecnología De Asistencia: Exoesqueletos Robóticos En Rehabilitación. 2016;10(2):83-90.
 23. Diseñan exoesqueleto que puede ser controlado por la mente. *EL PAIS* [Internet]. [cited 2018 Jun 14]; Available from: <https://www.elpais.com.uy/vida-actual/disenan-exoesqueleto-controlado-mente.html>
 24. Grasmücke D, Zierjacks A, Jansen O, Fisahn C, Sczesny-Kaiser M, Wessling M, et al. Against the odds: what to expect in rehabilitation of chronic spinal cord injury with a neurologically controlled Hybrid Assistive Limb exoskeleton. A subgroup analysis of 55 patients according to age and lesion level. *Neurosurg Focus*. 2017;42(5):E15.
 25. 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*. 2016;11(6):529-34.

26. 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(12):2847-53.
27. Jansen O, Schildhauer TA, Meindl RC, Tegenthoff M, Schwenkreis P, Sczesny-Kaiser M, et al. Functional Outcome of Neurologic-Controlled HAL-Exoskeletal Neurorehabilitation in Chronic Spinal Cord Injury: A Pilot With One Year Treatment and Variable Treatment Frequency. *Glob Spine J.* 2017;7(8):735-43.
28. Shimizu Y, Nakai K, Kadone H, Yamauchi S, Kubota S, Ueno T, et al. The Hybrid Assistive Limb® intervention for a postoperative patient with spinal dural arteriovenous fistula and chronic spinal cord injury: a case study. *J Spinal Cord Med.* 2017;0(0):1-8.
29. Watanabe H, Marushima A, Kawamoto H, Kadone H, Ueno T, Shimizu Y, et al. Intensive Gait Treatment Using a Robot Suit Hybrid Assistive Limb in Acute Spinal Cord Infarction: Report of Two Cases. *J Spinal Cord Med.* 2017;0(0):1-7.
30. Shimizu Y, Kadone H, Kubota S, Suzuki K, Saotome K, Ueno T, et al. Voluntary ambulation using voluntary upper limb muscle activity and Hybrid Assistive Limb® (HAL®) in a patient with complete paraplegia due to chronic spinal cord injury: A case report. *J Spinal Cord Med.* 2018;0(0):1-9.

8. ANEXOS

8.1. ANEXO I – Escala ASIA

Patient Name _____
 Examiner Name _____ Date/Time of Exam _____

ASIA INTERNATIONAL STANDARDS FOR NEUROLOGICAL CLASSIFICATION OF SPINAL CORD INJURY **ISCOS**

MOTOR KEY MUSCLES (scoring on reverse side)

	R	L	
C5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Elbow flexors
C6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Wrist extensors
C7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Elbow extensors
C8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Finger flexors (distal phalanx of middle finger)
T1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Finger abductors (little finger)

UPPER LIMB TOTAL (MAXIMUM) + =
 (25) (25) (50)

KEY MUSCLES

	R	L	
L2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Hip flexors
L3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Knee extensors
L4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ankle dorsiflexors
L5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Long toe extensors
S1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ankle plantar flexors

(VAC) Voluntary anal contraction (Yes/No)

LOWER LIMB TOTAL (MAXIMUM) + =
 (25) (25) (50)

SENSORY KEY SENSORY POINTS

0 = absent
 1 = altered
 2 = normal
 NT = not testable

SPINAL CORD LEVELS

	LIGHT TOUCH		PIN PRICK	
	R	L	R	L
C2				
C3				
C4				
C5				
C6				
C7				
C8				
T1				
T2				
T3				
T4				
T5				
T6				
T7				
T8				
T9				
T10				
T11				
T12				
L1				
L2				
L3				
L4				
L5				
S1				
S2				
S3				
S4-5				

TOTALS { + = } + =
 (MAXIMUM) (55) (56) (56) (56)

(DAP) Deep anal pressure (yes/no)
 PIN PRICK SCORE (max: 112)
 LIGHT TOUCH SCORE (max: 112)

NEUROLOGICAL LEVEL
 The most caudal segment with normal function

SENSORY R L
 MOTOR R L

SINGLE NEUROLOGICAL LEVEL

COMPLETE OR INCOMPLETE?
 Incomplete = Any sensory or motor function in S4-S5

ASIA IMPAIRMENT SCALE (AIS)

ZONE OF PARTIAL PRESERVATION (In complete injuries only)
 Most caudal level with any preservation

SENSORY R L
 MOTOR R L

Comments: _____

This form may be copied freely but should not be altered without permission from the American Spinal Injury Association.

REV 0411

8.2. ANEXO II – ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA

Fuente de datos	Búsqueda	Filtros empleados	Resultados obtenidos	Resultados válidos	Artículos analizados
PubMed	<i>Spinal cord injury AND exoskeleton AND gait AND rehabilitation AND Hybrid Assistive Limb</i>	10 años Humanos	5	3	3
	<i>Spinal cord injury AND rehabilitation AND Hybrid Assistive Limb</i>	10 años	20	7	5
	<i>Spinal cord injury chronic AND Hybrid Assistive Limb AND exoskeleton AND gait</i>	10 años	6	1	1
PEDro	<i>Exoskeleton spinal cord injury</i>	<i>Simple search</i>	1	0	0
Google Académico	<i>Spinal cord injury AND exoskeleton AND gait AND rehabilitation AND Hybrid Assistive Limb AND adults</i>	2018 Inglés y español	25	1	0
	<i>Spinal cord injury chronic AND Hybrid Assistive Limb AND exoskeleton AND gait</i>	2018 Inglés y español	47	4	1