



RIDUNAJ
Repositorio Institucional
Digital UNAJ



Universidad Nacional
ARTURO JAURETCHE

Tesinas de Grado

Mamonko, Néstor Alejandro

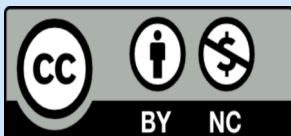
Rehabilitación de la marcha con exoesqueleto robótico en pacientes con lesión medular incompleta

2023

Instituto de Ciencias de la Salud

Carrera: Licenciatura en Kinesiología y

Fisiatría



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons.

Atribución – No comercial 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

Documento descargado de RID - UNAJ Repositorio Institucional Digital de la Universidad Nacional Arturo Jauretche

Cita recomendada:

Mamonko, N. A. (2023). *Rehabilitación de la marcha con exoesqueleto robótico en pacientes con lesión medular incompleta* [Tesis de grado, Universidad Nacional Arturo Jauretche].

<https://rid.unaj.edu.ar/handle/123456789/2984>

TESINA

Informe de Investigación

presentada para acceder al Título de grado de la Carrera

LICENCIATURA EN KINESIOLOGÍA Y FISIATRÍA

***“REHABILITACIÓN DE LA MARCHA CON
EXOESQUELETO ROBÓTICO EN PACIENTES CON
LESIÓN MEDULAR INCOMPLETA”***

Autor: Mamonko, Néstor Alejandro

Nro. De Legajo: 18538

Directora: Lic. Sombra, Victoria

Fecha de Presentación: 04/11/2022

Firma del autor:



Agradecimientos

A nuestra querida casa de estudios, la Universidad Nacional Arturo Jauretche, por brindarme la posibilidad de formarme académicamente y ofrecerme las herramientas para desempeñarme en un futuro en el ámbito profesional.

A Valeria, una mujer inmensa y mi gran compañera durante la mayor parte de la carrera. El gran pilar con su amor y su apoyo incondicional. Fue quien me motivó y creyó en mí desde el principio. Soy un afortunado que mi hijo la tenga como mamá.

A los grandes compañeros y amigos que conocí en este tiempo. Claudia Dos Anjos, César Verdún, Pablo Gantus y al Licenciado Sebastián Tufaro, por cada momento dentro y fuera de la universidad. Pablo, gracias por abrirme las puertas de tu casa y estar siempre. Sebastián, que satisfacción ver todo lo que lograste.

A la Licenciada Camila Diosquez, una persona con un corazón gigante, quien confió en mí y estuvo presente en situaciones muy difíciles. Todos los días en este último tiempo dándome una palabra de aliento; desconoce realmente lo inmenso de su ayuda. Feliz que puedas cumplir tu sueño en el lugar donde hicimos las prácticas hospitalarias.

Adri, el Licenciado Adrián Castro. Una persona hermosa, íntegra, muy pocos como él. Eternamente agradecido de haber coincidido en esas primeras materias y conocernos. Desde un primer momento supimos que no nos íbamos a separar y así fue. Hasta la última cursada juntos, días y noches enteras. Hicimos una gran dupla. Primero fuiste mi compañero, después mi amigo, y desde hace tiempo sos mi hermano.

A mi Directora de Tesina, la Licenciada Victoria Sombra, por las enseñanzas en todos los aspectos desde tu primer año como docente. Tuve la dicha de que hayas tomado esa comisión de Semiopatología Quirúrgica. Ese año fue un antes y un después. Puedo afirmar que tu profesionalismo, y fundamentalmente tu calidad humana, es única. Gracias Victoria por haber aceptado transitar esta Tesina conmigo, por tu dedicación, por la paciencia, por brindarme tantos conocimientos, y por buscar siempre la excelencia.

Y en especial, a la persona más preciada de mi vida, Santino. Siempre a la par, mi gran compañero, mi sostén. Gracias por enseñarme cada día a ser mejor papá. Sos el ser más increíble y más hermoso del mundo, mi mayor orgullo. Sos el mejor de todos.

Abreviaturas

6MWT: 6 Minute Walking Test (Prueba de marcha de 6 Minutos)

10MWT: 10 Meter Walking Test (Prueba de marcha de 10 Metros)

AIS: ASIA Impairment Scale (Escala de Deterioro ASIA)

ASIA: American Spinal Injury Association (Asociación Americana de Lesiones de la Columna Vertebral)

BWSTT: Body Weight Supported Treadmill Training (Entrenamiento en Cinta Rodante soportado por el peso corporal)

ECV: Enfermedad Cardiovascular

EP: Embolia Pulmonar

ER: Exoesqueleto Robótico

EVA: Escala Visual Analógica

ITU: Infecciones en el Tracto Urinario

LEMS: Lower Extremity Motor Score (Puntuación Motora de las Extremidades Inferiores)

LM: Lesión Medular

LMI: Lesión Medular Incompleta

OMS: Organización Mundial de la Salud

SCI: Spinal Cord Injury (Lesión de la Médula Espinal)

TEPT: Trastorno de Estrés Postraumático

TEV: Tromboembolismo Venoso

TSCI: Traumatic Spinal Cord Injury (Lesión Traumática de la Médula Espinal)

TUG: Prueba Timed Up and Go

TVP: Trombosis Venosa Profunda

UPP: Úlceras por Presión

WISCI II: Índice de marcha para Lesiones de la Médula Espinal

ZPP: Zona de Preservación Parcial

Índice

Contenido	Página
Agradecimientos	1
Abreviaturas.....	2
I. INTRODUCCIÓN	6
II. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	8
III. OBJETIVOS	9
III.1. General.....	9
III.2. Específicos.....	9
IV. MARCO TEÓRICO.....	9
IV.1. Lesión Medular	9
IV.1.a. Concepto	9
IV.1.b. Etiología	11
IV.1.c. Epidemiología	12
IV.1.d. Clasificación	13
IV.1.d.1. Según el nivel de lesión	13
IV.1.d.2. Según el grado de extensión	14
IV.2. Síndromes	15
IV.3. Escalas	16
IV.4. Tratamiento	18
IV.5. Exoesqueleto Robótico	20
V. METODOLOGÍA.....	23
V.1. Material y método.....	23
V.2. Revisión Bibliográfica	24
VI. CONTEXTO DE ANÁLISIS.....	26
VI.1. Análisis de la efectividad de la Rehabilitación de la marcha en pacientes con lesión medular incompleta, mediante el uso de Exoesqueleto Robótico	26
VI.2. Factores de riesgo de las Lesiones Medulares	33
VI.3. Identificación de las ventajas brindadas por el uso de Exoesqueleto Robótico en el tratamiento kinésico de pacientes con lesión medular incompleta	42

VI.4. Resultados en la Rehabilitación de la marcha con tratamiento convencional, respecto de los resultados obtenidos por la utilización del Exoesqueleto Robótico	47
VII. RESULTADOS	52
VII.1. Sobre los factores de riesgo en las personas con LM	52
VII.2. Acerca del tratamiento con Exoesqueleto Robótico	54
VIII. CONCLUSIÓN	60
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
X. ANEXOS	72

I. INTRODUCCIÓN

La Lesión Medular (en adelante, LM) es un proceso patológico que compromete la estructura de la médula espinal y, como consecuencia, ocasiona algún tipo de alteración funcional por debajo del nivel afectado. El déficit neurológico guardará relación con la gravedad del daño en el tejido, por el cual la transmisión nerviosa podrá alterarse o interrumpirse de manera que afecte las funciones motoras, sensitivas y/o del sistema nervioso autónomo. La injuria sobre el tejido nervioso puede darse en forma de contusión, laceración, compresión o sección. De acuerdo al nivel afectado, la magnitud transversal o longitudinal del daño, y el compromiso sobre la sustancia gris o blanca, resultará la clínica de la/del paciente¹.

La etiología de las lesiones en médula espinal es muy heterogénea; en efecto, se pueden señalar los siguientes orígenes: congénito, infeccioso, traumático, tumoral, o secundario a enfermedades sistémicas. En primera instancia, se ubican las de causa traumática asociadas a accidentes de tránsito, heridas por arma de fuego, caídas de altura, inmersiones en aguas poco profundas, y accidentes deportivos y/o laborales; representan entre un 60% a 80% de los casos. En segundo lugar, se hallan aquellas alteraciones en el conducto medular espinal de causa no traumática, que van en aumento en las últimas décadas con relación al incremento de la esperanza de vida de la población mundial, a saber: las de índole vascular y neoplásica como las más frecuentes. En lo que concierne a la distribución por género, las lesiones traumáticas guardan una relación hombre-mujer de 4:1, mientras que existe un equilibrio de 1:1 en aquellas de tipo no traumático².

Acerca de la epidemiología, “entre 250.000 y 500.000 personas sufren cada año en todo el mundo lesiones medulares”³. En efecto, la incidencia global se estima entre 40 y 80 episodios por millón de habitantes al año, con una prevalencia de entre 223 y 755 casos por millón de habitantes¹.

Como se enunció precedentemente, el cuadro clínico de la persona que padece una LM será consecuencia del grado de compromiso y el nivel implicado. Por consiguiente, las mismas pueden ser longitudinales o transversales. En el caso de las primeras, estará en concordancia a la extensión vertical y el perjuicio de las metámeras involucradas en el proceso patológico. En cuanto a las segundas, serán determinadas por la afección transversal de las vías ascendentes y descendentes, y dependerán de si la sección es completa o parcial. De todas formas, en la mayoría de las/los pacientes se da una

combinación de ambas. Al interrumpirse todas las conexiones nerviosas, se denomina lesión completa y, en consecuencia, se produce la pérdida motora, sensitiva y autónoma por debajo del nivel dañado. En cambio, se mantiene la inervación de forma parcial cuando se trata de una lesión incompleta¹.

En lo que respecta al nivel, se denomina tetraplejía cuando la lesión tiene lugar en la región cervical, con la consecuente ausencia o disminución sensitiva y/o de los movimientos voluntarios de los miembros superiores e inferiores, del tronco y los órganos pélvicos. En cambio, cuando la afección acontece a nivel torácico y/o lumbar, al igual que en la cola de caballo y/o el cono medular, se conoce como paraplejía, cuyas manifestaciones clínicas se producen en el tronco por debajo de dicha alteración, en las extremidades inferiores y en los órganos pélvicos. Cabe destacar que cuando existe una injuria sobre el cono medular y/o la cola de caballo, se alteran la sensibilidad y los movimientos voluntarios, aunque en la mayor parte de los casos se conserva la capacidad de la marcha; a pesar de esto, hay pérdida del control de los esfínteres y trastornos de índole sexual, como las secuelas más relevantes⁴.

Con el objeto de unificar los criterios de evaluación en las/los pacientes que padecen lesiones medulares, la escala más empleada internacionalmente es la ASIA Impairment Scale, Escala de Deterioro ASIA (en adelante, AIS) que continúa con los estándares de American Spinal Injury Association: Asociación Americana de Lesiones de la Columna Vertebral (en adelante, ASIA). Mediante la misma, se realiza una valoración neurológica sistemática en relación a la ausencia o preservación de las funciones sensitivas y motoras, que determina cinco categorías^{1,2}.

La Rehabilitación se define como un *“proceso destinado a permitir que las personas con discapacidad alcancen y mantengan un nivel óptimo de desempeño físico, sensorial, intelectual, psicológico y/o social”*⁵. A propósito de los tipos de LM y su respectiva clasificación, dicho proceso conlleva diferentes intervenciones de acuerdo al grado de incapacidad de la/del paciente y en función de su recuperación. Un aspecto fundamental dentro de la misma, es la Rehabilitación de la marcha en aquellos individuos con algún tipo de preservación de la inervación motora en los miembros inferiores, como es el caso de quienes padecen una Lesión Medular Incompleta (en adelante, LMI).

Durante los últimos años, con el advenimiento tecnológico, se ha implementado la utilización del Exoesqueleto Robótico (en adelante, ER) como herramienta para el

entrenamiento de la marcha. Se define como una ortesis multiarticular que posee, como mínimo, la opción de activar las articulaciones de la cadera y la rodilla mediante la utilización de una fuente de energía externa, como así también regular el nivel de cooperación⁶. Permite realizar una progresión adecuada en el tratamiento, dado que estos dispositivos están equipados de manera tal que pueden proporcionar asistencia total o parcial, no brindar asistencia e incluso oponer resistencia. De esta forma, con la intervención física y cognitiva de la/del paciente se genera una retroalimentación que regula la fuerza mecánica provista por el dispositivo. La/el usuaria/o puede ejercitar un patrón fisiológico, sistemático, y que reduce los movimientos y las posturas anormales, y al mismo tiempo, reproducir la marcha de manera intensiva y repetitiva. Además, ofrece a la/al Kinesióloga/o la posibilidad de seleccionar parámetros objetivos de entrenamiento y monitorear con imparcialidad la evolución de la/del paciente^{7, 8}.

La Pregunta de Investigación que guía el presente Trabajo es la siguiente: ¿Cuáles son los efectos de la Rehabilitación de la marcha con exoesqueleto robótico en las/los pacientes con lesión medular incompleta?

II. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En función del índice de prevalencia de lesionadas/os medulares, las secuelas en la motricidad, las consecuencias negativas vinculadas a la inactividad, la extensa duración de los tratamientos convencionales y lo costoso de los mismos, los resultados negativos sobre las actividades cotidianas y los efectos psicosociales, se vuelve necesaria la búsqueda de alternativas con el objetivo de mejorar la calidad de vida de quienes padecen este tipo de afección.

En el transcurso de la Rehabilitación de las/los pacientes con LM, se intentan restablecer las funciones alteradas con la finalidad de alcanzar la mayor independencia funcional posible, que optimice el desempeño y su participación en la sociedad. Dentro de esas, la recuperación de la marcha es una de las mayores expectativas, dado que su ausencia limita las acciones cotidianas en comunidad, e incluso en el ámbito laboral; además, la imposibilidad de pararse y caminar deriva en complicaciones secundarias sobre la salud.

En la última década se comenzó a utilizar en países desarrollados la Rehabilitación de la marcha con ER, como método de entrenamiento terapéutico. El desarrollo tecnológico

permite incorporar, en el campo de la Rehabilitación kinésica, nuevas herramientas para establecer un enfoque terapéutico superador al convencional, desde un punto de vista funcional.

El presente trabajo de investigación analizará el abordaje kinésico con la incorporación de los dispositivos robóticos, que permita identificar los resultados y sus efectos en la Rehabilitación de la marcha. Es de gran relevancia investigar esta modalidad de intervención, debido al potencial para mejorar la función motriz en aquellas/os pacientes con preservación motora por debajo del nivel de la lesión, como ocurre en las personas con LMI.

III. OBJETIVOS

III.1. General

- Analizar la efectividad de la Rehabilitación de la marcha en las/los pacientes con lesión medular incompleta, mediante el uso de Exoesqueleto Robótico.

III.2. Específicos

- Especificar los factores de riesgo de las Lesiones Medulares.
- Identificar las ventajas brindadas por el uso de Exoesqueleto Robótico en el tratamiento kinésico de las/los pacientes con lesión medular incompleta.
- Diferenciar los resultados en la Rehabilitación de la marcha con tratamiento convencional, respecto de los resultados obtenidos por la utilización del Exoesqueleto Robótico.

IV. MARCO TEÓRICO

IV.1. Lesión Medular

IV.1.a. Concepto de Lesión Medular

La médula espinal es el principal sistema de comunicación a través del cual se transmite la información sensitiva y motora entre el cerebro y el resto del cuerpo. Está conformada

en su zona central por la sustancia gris, en la cual se encuentra la mayor parte de los cuerpos de las células neuronales, y a su alrededor, por los tractos espinales dispuestos longitudinalmente, que constituyen la sustancia blanca. Cada nervio raquídeo ingresa a un segmento de la médula espinal por medio de dos haces de axones denominados raíces. La raíz anterior contiene los axones de las neuronas motoras, en tanto que la raíz posterior está constituida por las fibras de las neuronas sensitivas^{9, 10}.

La LM es la injuria de las estructuras nerviosas localizadas en el canal medular como resultado de un proceso patológico. Éste puede ser ocasionado por una conmoción, una contusión, una laceración, una compresión o una sección, de origen traumático o no traumático². Puede producir alteración o pérdida de las funciones motoras, sensitivas o autónomas por debajo de la lesión, sujeto al nivel en el cual ocurre el daño y la extensión del mismo. El déficit neurológico y el cuadro clínico, resultantes del deterioro de sustancia blanca o gris, puede afectar las extremidades superiores, las inferiores, el tronco y el abdomen o los órganos pélvicos; asimismo, es desencadenante de discapacidad, como así también de consecuencias psicosociales para la persona y su entorno¹.

Es una de las lesiones más devastadoras, dado que puede derivar en la interrupción de los circuitos neuronales, y dañar la conductividad del sistema nervioso central, con el consecuente compromiso en el reclutamiento muscular y la planificación motora que impide la correcta coordinación de las actividades¹¹.

Una LM se caracteriza por el déficit total o parcial de las vías sensitivas y motoras, pero no sólo ocasiona la pérdida en la independencia y la función física, sino que también implica frecuentes complicaciones secundarias, a saber: úlceras por presión (en adelante, UPP), vejiga e intestino neurogénicos, infecciones urinarias, trombosis venosa profunda (en adelante, TVP), espasticidad, hipotensión ortostática y trastornos depresivos, entre otras¹².

Las lesiones ocasionadas por un traumatismo raquímedular se desencadenan como consecuencia del impacto físico sobre las estructuras óseas y ligamentosas, que resulta en una falla biomecánica de las mismas y pierden su capacidad protectora sobre el tejido neural, y al mismo tiempo menoscaba la función estabilizadora en la columna vertebral. La energía del trauma se transfiere a las estructuras neurológicas y ocasiona la lesión primaria, de manera que el organismo responde mediante una cascada de eventos degenerativos, tales como la hemorragia, la inflamación y la liberación de sustancias

químicas con el fin de superar el daño inicial. Esta etapa se conoce como lesión secundaria, en la cual la médula espinal edematosa es comprimida circunferencial y longitudinalmente contra la duramadre y la vértebra, lo que genera una mayor presión intraespinal y una disminución de la perfusión que compromete aún más la irrigación medular^{9, 12, 13}.

IV.1.b. Etiología

Las lesiones de la médula espinal (en adelante, SCI) tienen diversas causas, entre las cuales se pueden diferenciar aquellas de tipo congénito, infeccioso, traumático, tumoral, o las que sobrevienen como resultado de enfermedades sistémicas. De esta manera, se distinguen dos clases, las traumáticas y las no traumáticas. En un primer lugar se encuentran las de origen traumático que están relacionadas con accidentes de tránsito, caídas de altura, heridas causadas por arma de fuego, inmersiones en aguas poco profundas, incidentes deportivos y/o laborales. En segunda instancia, se ubican las alteraciones del conducto medular espinal de causa no traumática, dentro de las cuales se pueden enunciar las de índole vascular y las de índole neoplásica, como las más frecuentes².

Las lesiones medulares traumáticas abarcan aproximadamente el 60% de los casos en países desarrollados, y alrededor del 80% en países en vía de desarrollo. Krause et al. concuerdan que los accidentes automovilísticos representan el 38% y los muestran como la causa más habitual en este tipo de lesiones, especialmente en la población joven. Es seguida con un 31% por aquellas originadas por caídas, más comúnmente en ancianos, un 14% las vinculadas con heridas de bala y otros actos de violencia, y en menor proporción, las lesiones ocasionadas en prácticas deportivas y de recreación; por ejemplo, los accidentes de buceo, que ocupan el 9%^{1, 14, 15}.

La lesión de origen traumático en la médula espinal ocurre en un 80% en hombres y se manifiesta en mayor proporción en la población afrodescendiente no hispana. En países como Vietnam, Australia, Nueva Zelanda, Estonia, Rusia, Arabia Saudita, Qatar y Turquía, datos recientes informan que las caídas y el transporte terrestre representan la mayoría de los casos de lesión medular espinal de origen traumático¹⁴.

Es menester mencionar que las lesiones de origen no traumático en la médula espinal crecieron en los últimos tiempos con relación al aumento de la esperanza de vida de la

población mundial. La etiología más común fue un tumor, primario o metastásico, con un 34,8%. Con el 17,6% se encuentran las originadas por enfermedades mecánicas (estenosis espinal y enfermedad del disco), un 15,5% por enfermedades vasculares (aneurisma, malformación arteriovenosa e infarto de cordón) el 9,1% corresponde a las causadas por infecciones, y aquellas como consecuencia de esclerosis múltiple representan el 7,8%. Un estudio realizado por Rawicki et al. expuso que hubo un aumento significativo en los casos de LM originadas por enfermedades mecánicas (estenosis espinal y enfermedad del disco), en contraste con la proporción de aquellas causadas por infecciones y espina bífida, las cuales comenzaron a disminuir¹⁶.

En lo que se refiere a la distribución por género, las lesiones de origen traumático tienen una relación hombre-mujer de 4:1, mientras que existe una paridad de 1:1 en aquellas de origen no traumático², con una tendencia en las/los adultas/os mayores dado que este tipo de afecciones están vinculadas con la edad y se manifiestan principalmente como LMI.

IV.1.c. Epidemiología

Según datos de la Organización Mundial de la Salud (en adelante, OMS) se estima que a nivel mundial entre 250.000 y 500.000 personas padecen lesiones medulares cada año. Por consiguiente, la incidencia global se calcula entre 40 y 80 casos por millón de habitantes al año, con una prevalencia de entre 223 y 755 episodios por millón de habitantes¹.

Aunque el número de acontecimientos de lesión traumática de la médula espinal (en adelante, TSCI) es muy variable, en el año 2007 la incidencia global se calculó en 23 casos cada millón de habitantes, es decir 179.312 episodios por año. Además, se pueden mencionar los datos de casos por millón que se disponen por región, a saber: América del Norte 40, Europa Occidental 16, Australia 15, Asia Central 25, Asia Sur 21, Caribe 19, América Latina Andina 19, América Latina Central 24, América Latina Sur 25, África Central 29, África Este 21^{17, 18}.

En las últimas décadas, aumentó el promedio de edad de las personas que sufren TSCI, puesto que en la actualidad la misma es de 42 años a diferencia de la media de 29 años registrada para la década de 1970. A pesar de esto, al momento de la lesión muchas/os pacientes no llegan a los 30 años de edad, por tratarse de un segmento muy joven de la

población en el cual suceden algunos de los casos más graves, que da lugar a un nivel de lesión más alto y con mayor deterioro neurológico^{6, 14}.

Las LM no traumáticas tienen una incidencia anual de 12,1 casos por millón de habitantes, con un constante aumento en los grupos etarios más altos y para ambos sexos en las últimas décadas, vinculadas etiológicamente a tumores, enfermedades mecánicas y vasculares. Esto se evidencia con el incremento de este tipo de casos después de los 60 años de edad a lo largo del tiempo, del 23,6% antes de 1980 al 57,1% después del año 2000, con una tasa de incidencia de 4,6 por millón de habitantes para las mujeres y 3,59 para los hombres, lo que refleja un predominio del sexo femenino del 56%. Si bien es cierto que la mayor incidencia de las TSCI se registró en la sexta década de vida, es oportuno destacar que las originadas por enfermedades vasculares, mecánicas e infecciones, son preponderantes durante la séptima década de vida¹⁶.

Estadísticamente, más de la mitad de las SCI sucede en adultas/os jóvenes, pero en las últimas décadas se registró un progresivo aumento de la incidencia en personas mayores de 60 años y, cabe remarcar que más del 70%, sufre múltiples lesiones concomitantes que derivan en altas tasas de complicaciones^{15, 19}.

Un estudio realizado por Jackson et al. menciona que luego del alta hospitalaria en fase aguda, el grado de lesión más frecuente es la cuadriplejía incompleta (45%), seguida de la paraplejía incompleta (22%), la paraplejía completa (20%) y la cuadriplejía completa (13%). A su vez, existe una relación creciente de LMI debido a caídas. En ese mismo contexto, la tetraplejía ocurre en aproximadamente el 54,1% de las lesiones, y las restantes resultan en paraplejía¹⁴.

IV.1.d. Clasificación

La OMS clasifica las consecuencias de las SCI de acuerdo al nivel de la lesión y su extensión⁴.

IV.1.d.1. Según el nivel de lesión

Tetraplejía es el término que define al deterioro o pérdida de la función motora y/o sensitiva en los segmentos cervicales C1-C8 de la médula espinal, ocasionada por el daño de las estructuras neurales localizadas en el interior del canal medular espinal. En consecuencia, da como resultado la ausencia o disminución sensitiva y/o de los

movimientos voluntarios de los miembros superiores e inferiores, del tronco y los órganos pélvicos^{4, 12}.

Por otra parte, si la lesión tiene lugar a nivel torácico y/o lumbar, como así también cuando existe un daño en la cola de caballo y/o el cono medular se denomina **paraplejía**. Por consiguiente, las características clínicas pueden darse en el tronco por debajo del nivel lesionado, en las extremidades inferiores y en los órganos pélvicos. Cabe señalar que, si la injuria acontece sobre el cono medular y/o la cola de caballo, la capacidad de la marcha se conserva a pesar que la sensibilidad y los movimientos voluntarios se encuentran alterados, con pérdida del control de esfínteres y trastornos de índole sexual. En efecto, las lesiones se denominan en relación al último nivel indemne, es decir, la metámera con preservación motora, sensitiva y autonómica^{1, 4, 10, 12}.

IV.1.d.2. Según el grado de extensión

En cuanto a la extensión de la lesión, ésta puede ser longitudinal o transversal, no obstante, se da una combinación de ambas en la mayoría de las/los pacientes. En el caso de las **longitudinales**, se trata de la afección en el plano vertical que establece el daño de las metámeras implicadas en el proceso patológico, y conforme al compromiso de sustancia blanca o gris, resultará el cuadro clínico. Por otro lado, con las lesiones **transversales** se produce una alteración de las vías ascendentes y descendentes con interrupción de las conexiones nerviosas y, en consecuencia, la sección parcial o total de la médula espinal¹.

Dentro de este marco, se denomina **lesión completa** a la ausencia de las funciones motoras, sensitivas y autónomas por debajo del nivel lesionado. De esta manera, la señal electromiográfica evidencia la pérdida completa de la actividad sensitiva y motora en sentido caudal a la lesión^{10, 11}. “Una lesión completa se define como la ausencia de preservación sacra (función sensitiva o motora en los segmentos S4-S5)”¹⁷.

Por otra parte, cuando se preserva parcialmente la inervación se denomina **lesión incompleta**, y esto se puede notar con una señal electromiográfica reducida a partir del nivel lesionado. Dicho de otra forma, el término se emplea cuando existe alguna función sensitiva y/o motora por debajo del nivel neurológico y en los segmentos sacros inferiores, esto es, con “presencia de preservación sacra (alguna preservación sensitiva o motora en S4-S5)”¹⁷. En cuanto al sacro sensorial, debe conservar de manera intacta o

alterada la sensación en la unión mucocutánea anal; en tanto al sacro motor, ante el tacto rectal tiene que presentar contracción voluntaria del esfínter anal externo^{10, 11, 12}.

Dentro de la clasificación de LMI, se distinguen algunos síndromes que guardan relación con los tractos espinales del segmento medular afectado, y por consiguiente generan distintos tipos de déficits neurológicos.

IV.2. Síndromes

El conjunto de signos y síntomas que se presentan de igual forma pero que pueden corresponder a múltiples etiologías, se define como síndrome. Aunque no forman parte de la clasificación AIS, existen diversos síndromes clínicos que se corresponden con las LMI, dentro de los cuales se encuentra el síndrome del cordón central como el más frecuente, y en menor medida los síndromes: Brown-Séquier, del cordón anterior, del cordón posterior, del cono medular y de la cola de caballo¹⁰.

El **síndrome del cordón central** se caracteriza por presentar mayor debilidad motora en los miembros superiores que en los inferiores, con distintos grados de trastornos sensitivos, por lo general, hiperalgesia en las extremidades superiores, y alteraciones de los esfínteres. Ocurre frecuentemente por un mecanismo de hiperextensión en personas que acarrean cambios degenerativos en columna vertebral, que puede darse con o sin fractura y con luxación^{10, 17}.

En relación al **síndrome de Brown-Séquier**, el mismo acontece como resultado de una hemisección de la médula espinal. El cuadro clínico se expresa con pérdida ipsilateral de la propiocepción y del control motor por debajo de la lesión, y con alteración del dolor y de la sensibilidad termoalgésica contralateral. Rara vez se presenta en su estado puro; habitualmente se manifiesta en combinación con el síndrome del cordón central, variante conocida como Brown-Séquier-Plus^{10, 17}.

Por otra parte, el **síndrome del cordón anterior** ocurre por injuria sobre la porción anterior de la médula espinal. Esta puede producirse de forma directa, por retropulsión de un fragmento óseo o del disco intervertebral, o por la falta o disminución del suministro sanguíneo medular en sus dos tercios anteriores, de modo que compromete a los tractos corticoespinal y espinotalámico. Se presenta con alteraciones de la sensibilidad termoalgésica y pérdida de la función motora a partir del nivel lesionado. Debido a que

los cordones posteriores se encuentran indemnes, se mantiene el tacto ligero y la propiocepción^{10, 17}.

Con respecto al **síndrome del cordón posterior**, es poco común y afecta al tercio dorsal de la médula espinal. Clínicamente se manifiesta con parestesias y dolor en región cervical, en miembros superiores y en tronco, como así también alteración propioceptiva con la consecuente marcha atáxica¹⁷.

Lo que ocurre en el **síndrome de cola de caballo** es que las raíces nerviosas lumbosacras del canal neural localizadas por debajo del cono medular se encuentran afectadas. Esta lesión en las motoneuronas inferiores genera la parálisis flácida en la musculatura de los miembros inferiores, que puede estar acompañada de una pérdida total o parcial de la sensibilidad. Es característica de este síndrome la ausencia del reflejo bulbocavernoso. Suele ser difícil de distinguir del daño en el cono medular, puesto que sus manifestaciones clínicas son similares^{10, 17}.

Por último, en el **síndrome del cono medular**, la clínica es semejante a la injuria en la cauda equina, pero a diferencia de aquella el daño se ubica en el área de L1-L2 y habitualmente se vincula con una lesión ósea tóraco-lumbar, y de acuerdo al nivel afectado puede expresarse como un cuadro mixto de motoneurona superior e inferior. Así pues, puede generar parálisis en vejiga, intestino y miembros inferiores, y eventualmente, conservar los reflejos sacros^{10, 17}.

IV.3. Escalas

La escala que se utiliza de manera sistemática para evaluar y catalogar las lesiones medulares es la AIS que continúa con los estándares de ASIA. La misma evalúa y clasifica el nivel neurológico y la extensión de la LM. El sistema contiene tres elementos: un examen del deterioro de la lesión; una puntuación motora, la cual está basada en la exploración neurológica de la función muscular; y por último, una evaluación sensorial. Esta Escala fue aprobada por la Sociedad Médica Internacional de Paraplejía y es examinada continuamente^{1, 2, 4}. Es una herramienta que permite valorar las funciones sensitivas y motoras de acuerdo a la ausencia o preservación neurológica, de modo que determina cinco categorías. De esta manera, no sólo es de importancia por su valoración pronóstica, sino que además, es de utilidad para el seguimiento de la evolución neurológica¹⁷.

Se establece una clasificación de acuerdo a cinco grados:

Grado A: se designa en ocasión de lesión medular completa, esto es cuando no se preserva la función sensorial ni motora en los segmentos sacros S4-S5. Por su parte, se denomina zona de preservación parcial (en adelante, ZPP) a aquellos dermatomas y miotomas por debajo del nivel neurológico que permanecen parcialmente inervados. Este término se emplea únicamente con lesiones AIS A.

Grados B, C y D: se utilizan para denominar a LMI de magnitudes diferentes, a saber: **sensitivo incompleto** (grado B) cuando se conserva la función sensitiva pero no la motora en los segmentos más caudales del sacro (S4-S5), y sin preservación de la función motriz en más de tres niveles por debajo del último que se encuentra conservado; **motor incompleto** (grado C) existe preservación de la función motora en los segmentos sacros distales para la contracción anal voluntaria, o la/el paciente presenta los criterios del grado B junto a función motora en más de tres segmentos ipsilaterales por debajo del nivel neurológico de lesión; **motor incompleto** (grado D) cumple los criterios del grado C, y al menos la mitad de los músculos clave con función mayor o igual a 3.

Finalmente, el Grado E (normal) indica funciones sensitiva y motora normales en todos los segmentos, en una/un paciente con algún tipo de afectación medular previa^{10, 17}.

Tabla 1. Clasificación de las Lesiones Medulares.

Lesión completa A	Ausencia de función motora y sensitiva que se extiende hasta los segmentos sacros S4-S5.
Lesión incompleta B	Preservación de la función sensitiva por debajo del nivel neurológico de la lesión, que se extiende hasta los segmentos sacros S4-S5 y con ausencia de función motora.
Lesión incompleta C	Preservación de la función motora por debajo del nivel neurológico, y más de la mitad de los músculos llave por debajo del nivel neurológico tienen un balance muscular menor de 3.
Lesión incompleta D	Preservación de la función motora por debajo del nivel neurológico, y más de la mitad de los músculos llave por debajo del nivel neurológico tienen un balance muscular de 3 o más.
Normal E	Las funciones sensitiva y motora son normales.

IV.4. Tratamiento

El proceso de Rehabilitación de LM, se trate de una lesión completa o incompleta, requiere un largo tiempo, es costoso y extenuante para la/el paciente, como así también para su entorno. Probablemente en un comienzo esto resulte desconocido para la persona que padece el trastorno y su familia, y para afrontarlo, es fundamental que el tratamiento conste de un equipo de trabajo interdisciplinario, que las/los incluya y las/los motive sin generar falsas expectativas. En base a lo dicho, se plantean los objetivos a corto y a largo plazo de acuerdo al potencial de recuperación neurológica fundamentado en el principio del aprendizaje motor^{12, 20}.

Décadas atrás, el enfoque rehabilitador para la mejora de la función motora estaba orientado al estiramiento, al fortalecimiento muscular y al entrenamiento de la marcha asistida manualmente, focalizada en adaptarse al aprendizaje de movimientos compensatorios. Así pues, estas estrategias basadas en la compensación restringen una factible regeneración y reintegración del sistema neuromuscular^{21, 22, 23}.

Actualmente, el cambio de paradigma en neurorehabilitación promueve el restablecimiento funcional por medio de la práctica de movimientos repetitivos de las extremidades afectadas. En este sentido, la tendencia se encamina a la recuperación neurológica funcional con mayor evidencia en las/los pacientes que sufren una LMI. En diversos estudios se demostró que *“la plasticidad neuronal y la reorganización cortical podrían ocurrir a través de la ejecución sistemática de un entrenamiento específico de la tarea que conduce a la recuperación de la marcha después de sufrir una lesión neurológica”*²³. Por esta razón, se pone énfasis en una Rehabilitación intensiva basada en la noción de plasticidad del sistema nervioso central, proclive a la capacidad de transformación de las vías neurales como punto de partida en los procesos de recuperación motora y funcional. De esta manera, la ejercitación repetitiva de los movimientos de la marcha forma parte central en la planificación de este tipo de terapia que busca acrecentar las representaciones en la corteza motora^{22, 24, 25}.

Desde un punto de vista preventivo, la Rehabilitación temprana cumple un rol fundamental en varios aspectos, como por ejemplo, evitar contracturas articulares, pérdida de fuerza muscular, y al mismo tiempo, preservar la densidad ósea y garantizar el correcto funcionamiento de los sistemas respiratorio y digestivo. En la etapa aguda de la lesión, es habitual la evolución de contracturas y rigidez en las articulaciones, para lo

cual es importante la realización de ejercicios de movilidad articular, los estiramientos y la movilidad pasiva^{12, 20}.

De acuerdo al nivel lesionado, se lleva a cabo la estabilización y rotación del tronco de manera activa o activo-asistido, se ejercita la musculatura supralesional y se movilizan las articulaciones por debajo del nivel neurológico, junto a maniobras de relajación para contrarrestar la espasticidad. Si bien no existen protocolos definidos en relación a los métodos que se emplean para fortalecer a los grupos musculares afectados, el entrenamiento de resistencia progresiva intercalado con movimientos repetitivos con cargas livianas, tiene por finalidad la posible mejora para la ejecución de tareas motoras como trasladarse, caminar y/o el uso de los miembros superiores en las actividades cotidianas. Esta combinación de ejercicios busca proporcionar la activación del sistema neuromuscular por debajo del nivel de la lesión y minimizar los mecanismos compensatorios de la recuperación funcional^{20, 26}.

Según recomienda en el año 2015 el Congreso Estadounidense de Medicina de Rehabilitación, los programas de entrenamiento deben incluir actividades de tipo aeróbica y de resistencia por al menos 30 minutos dos veces a la semana, y durante todos los días la realización de ejercicios terapéuticos de 5 a 15 minutos, que contengan estiramiento, conservación del rango de movimiento y bipedestación. Lo dicho anteriormente es de gran relevancia para esta población por su vinculación con los beneficios psicológicos y fisiológicos, entre los cuales se incluye el aumento de la resistencia y la fuerza muscular, la mejora cardiovascular, y la disminución del dolor y de la espasticidad^{4, 27}.

En cuanto a la Rehabilitación de la marcha, la/el paciente debe lograr la estabilidad del tronco y pelvis, que le permita realizar ejercicios de equilibrio en posición erguida y moverse en las barras paralelas. Además, mantenerse de pie reduce la espasticidad y el riesgo de TVP. Para lograrlo existen distintas ortesis que facilitan la realización de estas acciones y además actúan de manera preventiva, dado que se garantiza la estabilidad e integridad de las articulaciones del miembro inferior. Caminar sobre el suelo con dispositivos tales como un andador o bastones canadienses, brinda a la/al paciente un patrón cinemático semejante al de una persona sana y una mayor participación activa, pero estará condicionado por una pronta fatiga y, en consecuencia, una menor duración de la terapia¹².

Otro de los métodos utilizados para mejorar la función de la marcha es el entrenamiento en cinta rodante con soporte parcial del peso corporal (en adelante, BWSTT). Con BWSTT se consigue una disminución en la carga soportada por las extremidades inferiores y una gran cantidad de repeticiones de pasos, con la finalidad de inducir la neuroplasticidad a nivel espinal y cortical. A pesar de sus beneficios, presenta como inconveniente la necesidad de contar al menos con dos Kinesiólogas/os que supervisen, asistan y rectifiquen el patrón de marcha, lo que conlleva, en muchas ocasiones, un sobreesfuerzo por parte de éstos para asegurar la repetición y la simetría durante el tiempo de duración del ejercicio. Es importante destacar que el sistema es costoso, por lo cual no todos los centros pueden disponer de esta modalidad de tratamiento^{21, 23, 25}.

IV.5. Exoesqueleto Robótico

En las últimas décadas, la evolución del desarrollo biotecnológico permitió la aparición de nuevas herramientas aplicadas a la recuperación y mejora de la calidad de vida de las personas. Tal es el caso de los innovadores ER de miembros inferiores, diseñados con el fin de contribuir a la Rehabilitación de la marcha de las personas que han sufrido un daño neurológico, como por ejemplo, una LM. Entre los objetivos de la implementación de estos dispositivos, se encuentran: aumentar el volumen y la intensidad del tratamiento, facilitar la tarea de las/los Kinesiólogas/os en la Rehabilitación de las funciones ausentes o disminuidas, y reproducir de la mejor manera, el patrón cinemático al momento de caminar. Asimismo, brindan la posibilidad de monitorear objetivamente la evolución de la/del paciente y reducen la variabilidad de la asistencia entre las/los terapeutas^{25, 28}.

Se debe agregar que los ER se clasifican en dos tipos: por un lado, los sistemas estacionarios, que se ejecutan de forma combinada con una cinta rodante; y por otro lado, aquellos de utilización sobre el suelo²⁵.

El ER es una ortesis motorizada externa que se ajusta a los miembros inferiores y trabaja en simultáneo con dichas extremidades, para lo cual es necesaria la intervención física y cognitiva de la/del usuaria/o de modo que se genere una retroalimentación y pueda ser regulada por la fuerza mecánica provista por el dispositivo. De esta manera, proporciona a la/al paciente la posibilidad de ejercitar reiteradamente los movimientos de forma adecuada, y a su vez recibe los estímulos propioceptivos y exteroceptivos que son parte esencial del proceso de Rehabilitación^{23, 29, 30}.

Cabe destacar que existen diversos tipos de ER equipados para suministrar asistencia total, parcial y resistencia. Durante la modalidad activa, la/el paciente obtiene ayuda completa al momento de efectuar el movimiento; con la función parcial, se entrega soporte mecánico luego de iniciado el paso y lo rectifica de acuerdo a los parámetros previamente determinados; y la opción de resistencia se opone al movimiento en relación a una variable personalizada^{7, 31}.

Los principales exoesqueletos disponibles actualmente son producidos en Estados Unidos por diferentes empresas dedicadas a la tecnología médica; también existen otros desarrollados por universidades de otros países.

En Marlborough, Massachusetts se fabrica una estructura bípeda unida por un marco pélvico que contiene motores bilaterales a nivel de cadera y rodilla, y articulaciones con movimiento de dorsiflexión asistidas por resorte para los tobillos (**Figura 1**). Incluye una mochila en la cual se ubica la batería recargable que alimenta los motores, como así también el sistema computarizado que controla sus movimientos. El dispositivo se activa por un sensor de inclinación localizado en la parte anterior del tronco, que detecta pequeñas modificaciones en el centro de gravedad y genera una acción preestablecida en las articulaciones motorizadas, con el fin de obtener el paso hacia adelante. Se utiliza con dos bastones canadienses que aseguran la estabilidad y presenta las funciones de caminar, sentarse-pararse, pararse-sentarse, subir y bajar escalones, con una autonomía de 8 horas y una velocidad máxima al caminar de 0,6 m/s^{25, 32, 33, 34}.



Figura 1. Modelo de Exoesqueleto Robótico con motores bilaterales en cadera y rodilla, y asistido por resortes en tobillo.

La empresa que se encarga de la fabricación de ER en Cleveland, Ohio elabora un dispositivo robótico (**Figura 2**) conformado por cinco módulos, a saber: un segmento de cadera, dos en muslos y dos en piernas. Además, en cada tobillo presenta una ortesis de fibra de carbono que proporciona estabilidad y transfiere el peso al suelo. El movimiento de las articulaciones de cadera y de rodilla es ejercido por cuatro motores con sensores integrados, localizados en la parte superior de cada segmento. Dispone de microprocesadores que reciben información de la postura e inclinación de la/del paciente, lo cual deriva hacia un modo de actividad diferente. Es de fácil colocación y ajustable con una sola mano, con una velocidad media de 0,22 m/s y la batería tiene una duración de 4 horas^{32, 34, 35}.



Figura 2. Diseño de Exoesqueleto Robótico con 5 componentes modulares y 4 motores.

En Richmond, California se desarrolla un exoesqueleto conformado por dos patas con estructura de aluminio y apoyo plantar, asistido por resortes en la articulación del tobillo, y un soporte postural para el tronco. Contiene motores en caderas y rodillas y sensores que detectan inclinación. Alcanza una velocidad máxima de 0,8 m/s y su batería dura 6 horas. Dispone de cuatro programas de movimiento para caminar, girar, sentarse y levantarse sin ayuda^{25, 32, 34}.

Existe otro tipo de dispositivo que utiliza una estrategia diferente, con un enfoque más flexible y adaptable a los requerimientos de la/del usuaria/o. Es el caso de Lower extremity Powered Exo Skeleton, resultado de un proyecto de 10 años de la Universidad

de Twente en los Países Bajos, es un exoesqueleto bilateral sobre cinta de correr controlado por impedancia que posibilita un aumento de la participación activa de la/del usuaria/o con variabilidad durante el ciclo de la marcha. Es decir, a un nivel alto de impedancia el robot tiene mayor injerencia sobre la actividad, mientras que en programas con impedancia baja, es la/el usuaria/o quien realiza una mayor contribución y por consiguiente, logra un aumento en el control del patrón de marcha. Posee una pelvis con movilidad hacia los lados y para adelante y atrás, con dos ejes en la articulación de cadera y un eje en la rodilla, con la opción de añadir en caso de ser necesario elevadores de pie pasivo^{25, 28}.

Por otra parte, la extremidad de asistencia híbrida es un traje robótico portátil desarrollado en Japón por la Universidad de Tsukuba, que brinda a la/al paciente la posibilidad de caminar y controlar voluntariamente su patrón de marcha, mediante una retroalimentación neuromuscular activada por electromiografía. En la superficie de los músculos flexores y extensores de cadera y de rodilla, se colocan los electrodos que amplifican las señales bioeléctricas, detectadas de las funciones musculares residuales, para procesar la información y asistir a la/el usuaria/o en la ejecución del movimiento de manera sincronizada^{8, 25, 36}.

A su vez, el sistema elaborado en Norwell, Massachusetts es una ortesis motorizada sobre una cinta de correr que combina las articulaciones de cadera y rodilla, con un segmento pélvico con movilidad bidimensional y giro libre. Dispone de controladores lineales incorporados en cada articulación en beneficio de una postura correcta, y orienta las extremidades inferiores en relación a un patrón predeterminado, con el fin de optimizar el entrenamiento de la marcha en los tres planos^{25, 37}.

V. METODOLOGÍA

V.1. Material y método

Este apartado consta de una revisión sistemática de la bibliografía.


V.2. Revisión Bibliográfica

Por medio de una Revisión Bibliográfica se analizará la efectividad de la Rehabilitación de la marcha en las/los pacientes con lesión medular incompleta, mediante el uso de Exoesqueleto Robótico. En primer término, se especificarán los factores de riesgo de las lesiones medulares. Luego se identificarán las ventajas brindadas por el uso del Exoesqueleto Robótico en el tratamiento kinésico de las/los pacientes con lesión medular incompleta. Por último, se diferenciarán los resultados en la Rehabilitación de la marcha con tratamiento convencional, respecto de los resultados obtenidos por la utilización del Exoesqueleto Robótico.

Esta investigación se realizará mediante consultas en las siguientes bases de datos: Pubmed, Bireme, Lilacs, Medline (fuente de datos secundaria). Se incluirán artículos científicos publicados en el período comprendido entre los años 2013 y 2022, los cuales serán, en su mayoría, en idioma inglés.

Estrategia de Búsqueda

**Pubmed, Bireme,
Lilacs, Medline.
(2013-2022)**



Palabras Clave: Exoskeleton Device, Spinal Cord Diseases, Spinal Cord Injuries, Neurological Rehabilitation, Robotics, Risk Factors.

Combinación de términos:

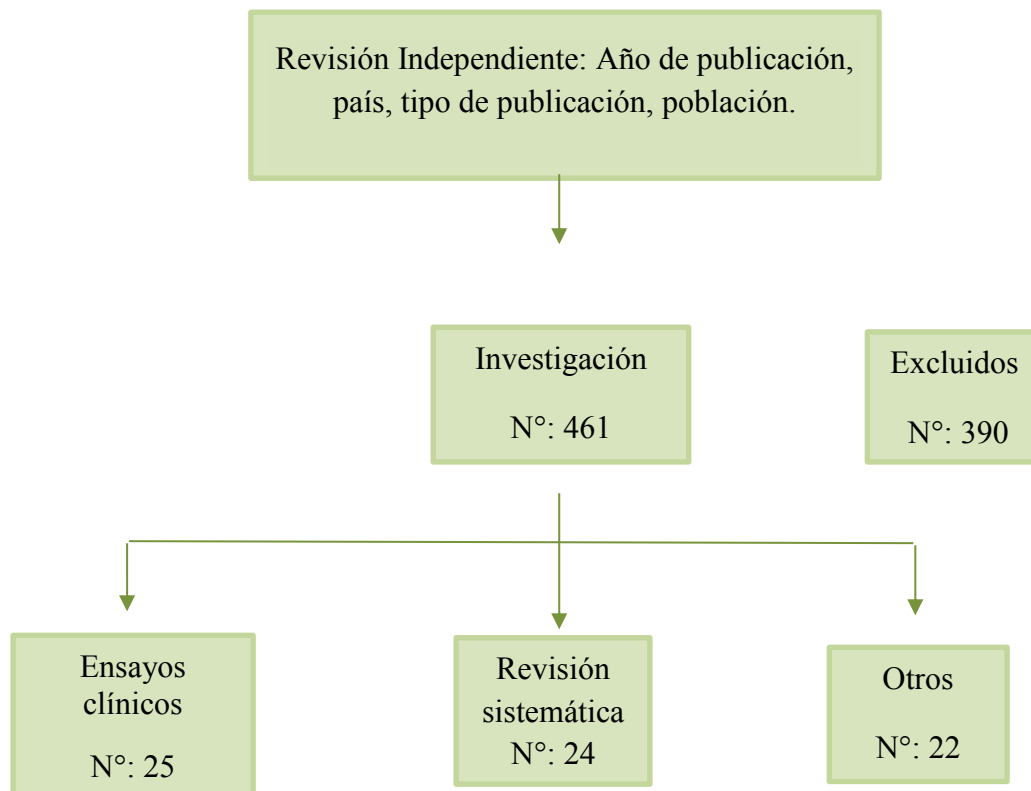
Exoskeleton Device AND Spinal Cord Diseases OR Spinal Cord Injuries

Exoskeleton Device AND Spinal Cord Diseases OR Spinal Cord Injuries AND Neurological Rehabilitation

Spinal Cord Injuries AND Robotics

Neurological Rehabilitation AND Spinal Cord Injuries AND Robotics

Risk Factors AND Spinal Cord Injuries



Criterios de Inclusión	Criterios de Exclusión
<ul style="list-style-type: none"> • Publicaciones no mayores a 10 años (del año 2013 a la actualidad). • Artículos que incluyan lesiones medulares incompletas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Artículos con un período de publicación anterior al año 2013. • Artículos que no incluyan lesiones medulares incompletas. • Artículos incompletos y/o duplicados

VI. CONTEXTO DE ANÁLISIS

VI.1. Análisis de la efectividad de la Rehabilitación de la marcha en las/los pacientes con lesión medular incompleta, mediante el uso de Exoesqueleto Robótico.

La Rehabilitación de la marcha en la/el lesionada/o medular es un proceso complejo, conlleva un largo tiempo y es extenuante para la/el paciente y para su entorno. Como se mencionó anteriormente, existen varios tratamientos; el más actual involucra la utilización de ER²⁵.

La mayoría de las/los autoras/es concuerda que el tratamiento debe iniciar con una exploración general, en la cual se evalúan aspectos tales como:

-Fuerza muscular, por medio de puntuaciones motoras de las extremidades inferiores utilizada por ASIA mediante un sistema de graduación llamado Lower Extremity Motor Score (en adelante, LEMS) por el que se evalúa la fuerza de cinco músculos en un puntaje de cero a cinco, en el cual cero indica la ausencia de contracción muscular, y cinco es un movimiento activo normal con rango completo de movimiento contra resistencia total.

-Dolor, por medio de la escala visual analógica (en adelante, EVA).

-Tono muscular, a través de medidas manuales, o la escala de Ashworth modificada, que valora la resistencia involuntaria al estiramiento pasivo de un grupo muscular.

A nivel funcional se valora la marcha de la/del paciente con LM, mediante pruebas tales como:

-10 Meter Walking Test (en adelante, 10MWT): evalúa la velocidad de la marcha de las/los participantes, quienes deben realizar una caminata en línea recta.

-Índice de marcha para lesiones de la médula espinal (en adelante, WISCI II): se utiliza para medir la asistencia requerida por las/los pacientes, y para evaluar la utilidad que le dan a los dispositivos de ayuda y a las ortesis. Es una escala de veinte ítems en la cual el grado 0 significa que la/el paciente no puede estar de pie ni deambular, mientras que el grado 20 equivale a cuando la persona no requiere ayuda para caminar una distancia de 10 metros.

-6 Minute Walking Test (en adelante, 6MWT): evalúa la distancia y la resistencia de la caminata; las/los participantes deben deambular durante seis minutos a una velocidad cómoda para ellas/os.

-Prueba Timed Up and Go (en adelante, TUG): examina el equilibrio durante la marcha, la velocidad y las transiciones de estar de pie.

Estas evaluaciones deben ser realizadas a una velocidad en la que la/el paciente se sienta segura/o de caminar con la utilización de aparatos ortopédicos y dispositivos de ayuda marcha^{28, 33, 38, 39}.

Autores como Fleerkotte et al.²⁸ realizaron en el año 2014 un estudio en el cual las/los participantes fueron evaluadas/os por esas escalas antes, durante y después del entrenamiento con ER controlado por impedancia sobre una cinta de correr instrumentada. Se llevó a cabo este programa por un período de ocho semanas, en el cual las/los participantes ejercitaron con el dispositivo con una frecuencia semanal de tres veces, durante un máximo de sesenta minutos por sesión con intervalos de descanso si era requerido por la/el paciente o sugerido por la/el terapeuta. Este estudio a su vez evaluó datos cinemáticos y medidas espacio-temporales antes y después del entrenamiento, con la utilización de un sistema de seguimiento óptico conformado por seis cámaras infrarrojas. Los datos recolectados fueron: velocidad de marcha, tiempo de ciclo, índice de simetría de paso, longitud y ancho de paso, duración de la fase de apoyo, flexión máxima de la rodilla en la fase de balanceo, rango del movimiento de la cadera y de la rodilla durante la fase de apoyo. Estos parámetros se compararon antes y después del entrenamiento en el cual las/los participantes caminaron aproximadamente diez veces a una velocidad cómoda, a través de una pasarela de siete metros y se les permitió descansar entre rondas. Los datos cinemáticos de las extremidades derecha e izquierda de cada paciente se extrajeron y se promediaron durante al menos diez pasos, mediante la utilización de un software escrito a medida. Durante el primer encuentro se realizaron las adaptaciones del dispositivo a la/al participante, se ajustó la velocidad de marcha preferida y se empleó para que el individuo se habitúe a caminar con el ER. El entrenamiento se dividió en dos períodos de cuatro semanas, con una jornada intermedia destinada a pruebas clínicas. Mientras se llevó a cabo la fase de ejercitación con el dispositivo, se ajustaron diferentes parámetros para aumentar la intensidad del entrenamiento. Uno de ellos fue la velocidad al caminar; posteriormente, se incrementó

el tiempo total de caminata con ER por sesión. Para promover la participación activa de las/los pacientes, los niveles de impedancia del dispositivo se redujeron. Durante las ocho semanas, las/los diez participantes completaron un número medio de 20,2 (rango 18-24) sesiones de entrenamiento. El tiempo medio deambulado durante una sesión se incrementó de 14,5 (\pm 6,1) minutos al inicio del protocolo a 22,7 (\pm 18,2) minutos al final. La velocidad de la marcha aumentó de 0,43 m/s a 0,58 m/s. Los niveles de impedancia promedio disminuyeron del 56,9% al 37,4%. Este estudio demostró que ocho semanas de entrenamiento con ER controlado por impedancia, resultó en mejoras significativas en la velocidad de la marcha, la distancia, la puntuación TUG y LEMS. A pesar de esto, no se encontraron importantes diferencias para la puntuación WISCI II antes y después del entrenamiento. Las evaluaciones de seguimiento posteriores demostraron que las/los participantes mantuvieron sus mejoras funcionales, de forma tal que la más importante se produjo en la cadera con el incremento del rango de movimiento de la articulación. Las/los más beneficiadas/os fueron aquellas/os que presentaban una marcha más lenta.

Por otro lado, Aach et al.³⁸ realizaron un estudio experimental en el año 2014 con ocho participantes, los cuales se sometieron a un período de noventa días de entrenamiento con el exoesqueleto de asistencia híbrida, el cual se realizó en una cinta rodante con soporte de peso corporal y velocidad ajustable, con un número medio de sesiones de 51,75 (\pm 5,6). Se registró la velocidad, el tiempo y la distancia de caminata, y también se realizó una prueba de marcha de 10 metros antes y después de cada sesión junto a fisioterapia convencional, con un tiempo de duración de aproximadamente 90 minutos bajo la supervisión de una/un Kinesióloga/o y una/un médica/o. Al igual que Fleerkotte et al.²⁸ realizaron la prueba 10MWT antes y después de cada sesión, la prueba TUG cada dos semanas, y el test 6MWT se realizaba al inicio, en la mitad y al final de cada sesión según la/el paciente. También se utilizó la escala WISCI II, y el estado neurológico fue evaluado mediante AIS. Para la función motora se utilizó la escala LEMS en los músculos clave de las extremidades inferiores y el volumen muscular se evaluó por medio de mediciones manuales a 10 y 20 cm por encima de la rodilla y 15 cm por debajo del espacio interior de la misma. Se lograron mejoras muy significativas en la distancia y en el tiempo de marcha asociados al entrenamiento con ER. Además, se obtuvieron resultados favorables en 6MWT, TUG y 10MWT al caminar sobre el suelo sin el uso del dispositivo, y también un aumento del WISCI II de tres pacientes. La puntuación LEMS se incrementó en todas/os las/los participantes acompañada de una ganancia de la circunferencia en la

extremidad inferior. Se determinó una conversión en una/un paciente de grado B a grado C en AIS. Del mismo modo, hubo otra/o paciente con LM torácica que presentaba una espasticidad espinal importante al inicio del entrenamiento, y para evaluarla se utilizó la escala Ashworth modificada. Este participante, previo al entrenamiento mostró un espasmo extensor del músculo cuádriceps con alta resistencia al estiramiento pasivo según Ashworth 4, y luego del mismo la resistencia disminuyó según Ashworth 2. Las/los demás pacientes no mostraron conductas motoras espásticas. Todas/os las/los pacientes mejoraron en el entrenamiento en cinta rodante mediante el uso de ER. La velocidad media de la marcha se incrementó de $0,91 \pm 0,41$ m/s (0,5-1,8 m/s) en la primera sesión, hasta $1,59 \pm 0,5$ m/s (0,8-2,1 m/s) en la última sesión después de tres meses. El progreso en la velocidad en el período posterior a las seis semanas de entrenamiento fue menor que en las primeras semanas. El tiempo medio de marcha al inicio fue de $12,37 \pm 4,55$ minutos, en tanto que al final fue de $31,97 \pm 9,45$ minutos. La distancia deambulada media en la primera sesión fue de $195,9 \pm 166,7$ metros, y aumentó a $954,13 \pm 380,4$ metros al momento del alta. Dos pacientes utilizaron ortesis, un andador y el apoyo de una/un Kinesióloga/o al inicio del entrenamiento, mientras que al finalizar el mismo lograron realizar la marcha sin la asistencia de la/del profesional. Al principio del estudio la puntuación media de WISCI II fue de $10 \pm 4,3$ y luego de los 90 días de terapia con ER, la media de WISCI II fue $11,13 \pm 6,68$. La mejora correspondió a una marcha 44% más rápida que en la evaluación inicial y el número medio de pasos se redujo de $29,8 \pm 7,85$ a $19,4 \pm 3,16$. El tiempo medio necesario para la prueba TUG disminuyó de $55,34 \pm 32,2$ segundos a $38,18 \pm 25,98$ segundos. El LEMS medio antes del entrenamiento aumentó significativamente de $21,75 \pm 8,3$ a $24,38 \pm 7,6$ después de la intervención. En cuanto al volumen muscular siete de las/los participantes mostraron una ganancia de circunferencia muscular de 5 mm a 50 mm. Los resultados obtenidos en este estudio demuestran una marcada mejora de las habilidades para caminar sobre el suelo, la reducción parcial de la asistencia física y ayudas para la marcha, así como también un incremento de la fuerza muscular en todas/os las/los pacientes.

Cuadro 1: Comparación de resultados pre y post entrenamiento³⁸.

Mediciones	Antes del entrenamiento	Después del entrenamiento
10MWT (m/s)	0,28 ± 0,28	0,5 ± 0,34
Número de pasos	29,88 ± 7,85	19,38 ± 3,16
6MWT (m)	70,1 ± 130	163,3 ± 160,6
TUG (s)	55,34 ± 32,2	38,18 ± 25,98
Distancia (m)	195,88 ± 166,71	954,13 ± 380,35
WISCI II	10 ± 4,34	11,12 ± 3,68

Desde otra perspectiva, Shin et al.³⁹ en el año 2014 realizaron un ensayo clínico de sesenta participantes con LMI. Se dividieron en dos grupos, en el que treinta participantes realizaron tratamiento convencional, mientras que los otros entrenaron la marcha asistida con ER. Al igual que en el estudio realizado por Fleerkotte et al.²⁸, los resultados una vez finalizado el entrenamiento mostraron para ambos grupos una importante recuperación de la fuerza muscular y de la marcha, y una considerable mejoría en la capacidad de deambulación basada en el WISCI II, que reflejó una notable ganancia de 4 a 9 para las/los pacientes que caminaron con asistencia de ER.

Benson et al.³³ realizaron un estudio en el año 2015 en el cual se inscribieron diez pacientes y cinco de ellos completaron el programa. Las/los participantes realizaron veinte sesiones de entrenamiento con ER durante diez semanas. Al igual que en las investigaciones expuestas anteriormente, se midieron las pruebas de marcha antes, durante y después del estudio con y sin el uso del ER. El programa se basó en el entrenamiento y la evaluación con escaleras ascendentes y descendentes en un tramo con once escalones de 17 cm de altura. Se tomó en cuenta el tiempo total requerido para ascender y descender. También se construyó un camino de obstáculos de 23,5 metros en un área al aire libre, con una inclinación de 8° y con cuatro vueltas de 90° alrededor de objetos. Se obtuvo una velocidad de marcha mejorada en todas/os las/los participantes, quienes aumentaron las distancias recorridas y la velocidad para pararse, rotar y sentarse. Cuatro de las/los cinco participantes lograron completar todo el circuito. Aun así, la prueba de 6MWT mostró que después de la última sesión de entrenamiento, la velocidad

de la marcha con ER varió entre 0,25 y 0,48 m/s, mientras que para la prueba de 10MWT se encontraron velocidades de 0,33 a 0,45 m/s. Si bien los resultados mostraron una mejora favorable, estas velocidades no se aproximan al 1,06 m/s considerado necesario para la deambulaci3n comunitaria.

En el a1o 2017 el estudio realizado por Seungwon et al.²¹ se1ala que el grupo con una edad promedio m1s joven y un tiempo m1s corto desde la lesi3n evidenci3 una mayor fuerza, mejor3 el equilibrio e increment3 la deambulaci3n, luego de cuatro semanas de entrenamiento con ER. La mejor3a se defini3 como un aumento en la velocidad de la marcha $\geq 0,13$ m/s en 10MWT. En este sentido, LEMS es el factor m1s importante en la predicci3n de la capacidad para caminar en las/los pacientes con SCI, y las/los autoras/es infieren que se puede predecir una mejora en la velocidad de la marcha en aquellas/os pacientes con LEMS ≥ 23 . Sin embargo, el equilibrio tambi3n es un factor fundamental porque refleja la aptitud en el control del tronco y la propiocepci3n.

Los resultados obtenidos por Baunsgaard et al.⁴⁰ en el a1o 2017 indican beneficios potenciales en la funci3n de la marcha y en el equilibrio. Al comienzo de su estudio, el 20% de las/los participantes con LM aguda eran capaces de caminar, y luego de veinticuatro sesiones el 56% logr3 deambular con asistencia de ER. En cambio, en el grupo de lesionadas/os cr3nicas/os s3lo una/un paciente adquiri3 esa funci3n y el porcentaje pas3 del 41% inicial al 44% luego del per3odo de entrenamiento.

Grasm3cke et al.⁸ en el a1o 2017 realizaron un estudio en el cual al igual que Aach et al.³⁸, citados anteriormente, utilizaron una cinta rodante facilitada por el ER de asistencia h3brida en un programa de doce semanas de entrenamiento, con una frecuencia semanal de cinco sesiones. La evaluaci3n fue realizada sin ayuda del ER, en la cual los resultados obtenidos fueron: una reducci3n de tiempo del 47% en la velocidad para los 10MWT, y un aumento del 50% en la prueba de 6MWT. Asimismo, las puntuaciones de WISCI II mostraron una ganancia media de 1,69 niveles. Al final del entrenamiento, el 43,6% de todas/os las/los pacientes eran menos dependientes de las ayudas para caminar. Las investigaciones realizadas por este autor sugieren que el grado de recuperaci3n neurol3gica depende del nivel de la lesi3n, la edad de la/del paciente, el deterioro neurol3gico y el tratamiento inmediato e individualizado.

Gorgey et al.⁴¹ en el a1o 2017 llevaron a cabo un programa de entrenamiento asistido por ER durante quince semanas, en el que participaron cuatro pacientes. Estos pudieron

identificar estrategias de aprendizaje motor que posibilitaron un mejor control postural y una mayor duración de la caminata. Cabe destacar que tres de las/los cuatro participantes lograron reemplazar el andador por muletas como ayuda auxiliar. El tiempo máximo deambulado aumentó de 12 a 57 minutos y se incrementó el número de pasos de 59 a 2284, mientras que la velocidad máxima alcanzó los 0,24 m/s. Si bien en todos los casos se necesitó de una/un entrenadora/r para caminar por detrás de la/del participante en caso de emergencia, el nivel de soporte se redujo notablemente dado que al inicio el apoyo requerido fue aproximadamente del 80%, y disminuyó a un 20% hacia el final de la capacitación, orientado principalmente para las indicaciones sobre la postura. Esta es una consideración importante, porque se demostró que al reducir el nivel de asistencia aumenta la fuerza de reacción del suelo durante el ciclo de la marcha en personas con SCI.

Desde otra perspectiva, Lajeunesse et al.³⁴ realizaron una revisión bibliográfica en el año 2015 en la cual determinaron que todos los ER resultaron efectivos para mejorar la capacidad de la marcha. El mejor resultado obtenido fue con el dispositivo creado en Massachusetts, que podía alcanzar una velocidad de 0,51 m/s después de cuarenta y cinco sesiones de entrenamiento con una duración de 1 a 2 horas. El otro exoesqueleto con buen resultado fue aquel creado en Cleveland, Ohio el cual alcanzó una velocidad de hasta 0,22 m/s desde la primera sesión. Estos autores citaron a Spungen et al. quienes, en el año 2013, midieron la capacidad de la/del paciente para realizar las diferentes actividades de la vida diaria con el dispositivo; los resultados fueron satisfactorios. Todos los estudios consideraron a los ER como dispositivos de ayuda para la movilidad.

En otra revisión bibliográfica realizada por Ki Yeun et al.⁴² en el año 2017, los autores concluyeron que el entrenamiento de la marcha asistida con ER en pacientes hasta seis meses después de la lesión, mejora en mayor grado la distancia recorrida, la fuerza de las piernas y el nivel funcional de movilidad e independencia; mientras que aquellas personas que padecían una LM crónica mejoraron significativamente la velocidad de la marcha y el equilibrio.

Si bien se encontraron algunos efectos adversos relacionados con el uso de ER como enrojecimiento de la piel, pequeñas abrasiones, edemas articulares leves, hematomas en piernas y caderas y esguinces leves, los mismos no fueron condicionantes al momento de

realizar los entrenamientos, y para que las/los pacientes sostengan un estilo de vida saludable e incrementen el nivel de actividad física³⁵.

Actualmente, los estudios sobre los ER están centrados en las/los pacientes con LMI en fase crónica. Si bien no hay abundantes investigaciones sobre el tema, existen artículos que muestran los beneficios que generan los exoesqueletos en las/los pacientes sub-agudos.

La Rehabilitación de la marcha con ER en las/los pacientes con LMI, logra mejoras más significativas que lo obtenido con técnicas tradicionales de tratamiento. Las publicaciones coinciden que con este tipo de tratamiento se obtiene una importante recuperación de la capacidad para caminar por medio de la cinta rodante y también sobre el suelo, tanto en la velocidad como en la distancia. Aun así, existen diferencias con los resultados que indican que las velocidades alcanzadas no se aproximan a lo considerado para lograr tareas diarias, como cruzar la calle de forma segura. Se obtuvieron mejoras funcionales sobre todo en el rango de movimiento articular de la cadera, y se mostró una ganancia en el volumen muscular. También existió una notable reducción de la asistencia física y en el uso de los dispositivos de ayuda para la marcha.

VI.2. Factores de riesgo de las Lesiones Medulares.

Las personas que tienen una LM son vulnerables a padecer frecuentes condiciones secundarias de la salud, asociadas no sólo al grado de extensión y al nivel de la injuria en la médula espinal, sino que también al estilo de vida sedentario, producto de la disminución de la función física y de su independencia. En esta población se ve incrementado el riesgo a desarrollar complicaciones tales como: UPP, vejiga e intestino neurogénicos, infecciones urinarias, TVP, afecciones cardíacas y respiratorias, espasticidad, dolor neuropático, contracturas musculares, osteoporosis, hipotensión ortostática y trastornos depresivos, entre otras.

Los factores de riesgo en las/los pacientes con SCI derivan en las comorbilidades enunciadas anteriormente, que repercuten en su estado general de salud y afectan la capacidad para mantener su autonomía; en tanto que impactan negativamente en la calidad de vida, en el proceso de Rehabilitación y en la participación de las actividades cotidianas. A su vez, estos padecimientos secundarios constituyen una de las principales

causas de rehospitalización y contribuyen a tasas más altas de morbilidad y mortalidad en la población con LM.

Sadeghi Fazel et al.⁴³ basaron su estudio del año 2018 en la evaluación de los factores que promueven al desarrollo de UPP en las/los pacientes con SCI. Este tipo de complicación se encuentra entre las más comunes e implica la realización de tratamientos costosos y lentos que retrasan la inserción en la comunidad, reducen la calidad de vida y constituyen la segunda causa de reingreso hospitalario, lo cual puede poner en peligro la vida de las/los lesionadas/os medulares. Las/los autoras/es utilizaron la escala de valoración de Braden que permite predecir de manera objetiva la probabilidad de desarrollar UPP de acuerdo a diferentes factores de riesgo. Esta herramienta evalúa seis aspectos, a saber: la percepción sensorial, el grado de humedad de la piel, el nivel de actividad física, la movilidad, el estado nutricional y la fricción o cizallamiento. A cada uno de estos parámetros se les otorga entre 1 y 4 puntos, y en función del puntaje total se clasifica de la siguiente manera: 15 puntos o más, de riesgo bajo; 13 o 14 puntos, de riesgo moderado; menos de 12 puntos, de riesgo alto. En el estudio participaron quinientos ochenta pacientes con LM, de los cuales el 31,7% presentaba una lesión a nivel cervical, en tanto que el 68,3% en la región toracolumbar. Ciento sesenta y tres pacientes, es decir el 28,1% tenían UPP activas, y el 60,7% de ellas se localizaban en el sacro, vinculadas probablemente al porcentaje de lesionadas/os cervicales quienes permanecen un mayor tiempo en decúbito; a diferencia de otros estudios como el realizado por Chan et al. en el año 2013, en el cual sugieren que las tuberosidades isquiáticas es la zona más frecuentemente afectada, debido al uso prolongado de sillas de ruedas. Los resultados obtenidos por la escala de Braden arrojaron que el 8,3% de la muestra tenía un riesgo grave de desarrollar UPP, mientras que para el 70,1% el riesgo era leve. Agregan que las/los pacientes con puntajes severos y moderados según Braden, tenían respectivamente 2,36 y 1,82 veces más riesgo de desarrollar UPP en comparación con aquellas/os con una puntuación de riesgo leve. Asimismo, indicaron que no se presentó una asociación relevante entre la posibilidad de tener UPP con respecto a la edad, al género, al nivel de educación, al tabaquismo y al nivel de lesión de las/los participantes.

Cuadro 2: Localización de las úlceras por presión⁴³.

Ubicación	Número (%)
Cóccix	8 (4,9)
Pie	3 (1,8)
Talón	7 (4,3)
Cresta ilíaca	3 (1,8)
Isquion	27 (16,6)
Rodilla	3 (1,8)
Sacro	99 (60,7)
Trocánter	13 (8)

En el caso de Schwartz et al.⁴⁴ analizaron los posibles vínculos entre la recurrencia de UPP y los biomarcadores circulatorios y musculares, en un estudio del año 2020 en el que participaron treinta individuos con SCI, divididos entre pacientes que nunca habían sufrido UPP (grupo I) y aquellos que tenían antecedentes de UPP recurrente (grupo II). Los músculos paralizados luego de una LM experimentan cambios de tipo distrófico, con un incremento del tejido adiposo intramuscular. Los metabolitos grasos, en particular las proteínas de unión a ácidos grasos intracelulares que están presentes en casi todos los tejidos, son considerados clínicamente valiosos como biomarcadores de riesgo para el desarrollo de UPP, los cuales se hallaron tanto en las muestras musculares como en las sanguíneas para ambos grupos. En las personas del grupo II, se obtuvieron niveles significativamente más altos de la proteína de unión a ácidos grasos 4 (FABP4) tanto en el músculo como en la sangre. Con respecto a la proteína de unión a ácidos grasos 3 (FABP3), fue sustancialmente mayor en la muestra muscular de los individuos del grupo I, mientras que más bajos en la muestra sanguínea de ese mismo conjunto. Los valores de FABP3 y FABP4 se asociaron con el aumento del tejido adiposo, tanto en el músculo como en la sangre. Las/los autoras/es concluyen que los niveles de estos biomarcadores son útiles como indicador del riesgo a desarrollar UPP en las personas con LM.

Las UPP ocurren por una injuria localizada en la piel y en el tejido blando subyacente, habitualmente sobre una prominencia ósea o en relación con el uso de algún dispositivo de asistencia que produce una mayor presión y distorsión tisular. Chen et al.⁴⁵ realizaron

una revisión bibliográfica en el año 2020 y extrajeron los datos de veintinueve estudios. A nivel global, la incidencia de UPP en personas con SCI fue de 0,23 en tanto que la distribución de la misma por regiones se refleja de la siguiente manera: 0,43 en América del Sur, 0,36 en África, 0,25 en Europa, 0,23 en América del Norte y 0,16 en Asia. Además indicaron que entre el 25% y el 30% de las/los pacientes con LM tienen al menos una UPP dentro de los primeros cinco años de ocurrida la lesión, y aproximadamente el 85% de esta población puede experimentar UPP en algún momento de su vida. Las/los autoras/es hallaron que esta complicación en los tejidos afecta al 23% de las/los pacientes medulares a nivel mundial. Dicha incidencia es favorecida por diversos factores vinculados con la pérdida de las funciones motoras, sensitivas y autonómicas. Entre ellos, mencionan que la falta de sensibilidad conduce a la interrupción de los circuitos de retroalimentación que advierten sobre la presión y la necesidad del cambio de posición; por otro lado, la incontinencia urinaria es un factor de riesgo tal como lo describen Lachenbruch et al. en su estudio del año 2016, en el cual la prevalencia de UPP para las personas incontinentes fue de 0,16 mientras que para las/los pacientes continentales fue de 0,04; esto lo asocian al cambio de la turgencia de la piel por el exceso de líquido, que conlleva a un aumento del coeficiente de fricción.

En este orden de ideas, la revisión sistemática elaborada en el año 2020 por Shiferaw et al.⁴⁶ que incluyó veinticuatro estudios, reveló que la magnitud global de las UPP entre las/los pacientes con SCI fue del 32,36%, y a nivel regional el mayor índice fue en África, con el 41,19%. En concordancia con estas/os autoras/es, Flett et al.⁴⁷ indicaron que estas comorbilidades secundarias se desarrollaron en un 30% durante la fase aguda, con una incidencia que oscila entre el 10% y el 48% durante el proceso de Rehabilitación. Su estudio del año 2019 involucró a setecientos cincuenta y cuatro participantes, y la mayoría de las UPP se localizaron en la parte inferior del cuerpo, a saber: el 41,7% en el sacro, el 20,3% en las tuberosidades isquiáticas y el 16,5% en los talones.

Bethel et al.⁴⁸ en el año 2016 analizaron los datos de 22.516 personas con LM con una evolución de al menos dos años para identificar los factores de riesgo de fracturas. Del total de la muestra, hubo una incidencia de rotura ósea del 15% representada por 3.365 casos, y el 80,1% ocurrió en las extremidades inferiores, cuyos sitios más frecuentes fueron la tibia y el peroné con el 25,8%, el fémur con el 18% y la cadera con el 12,5%. Se realizó un seguimiento durante 11 años, y se determinó un riesgo acumulativo de 0,03 para el primer año, 0,09 al quinto año, 0,16 al décimo año, y al final del estudio el mismo

fue de 0,17. Las/los autoras/es concluyeron que el mayor riesgo de fractura estuvo vinculado a factores tales como: la etiología traumática, la extensión completa y la mayor duración de la SCI; el uso de anticonvulsivos y de opioides; las fracturas prevalentes; la edad y el género de la/del paciente. Las fracturas de las extremidades inferiores se asociaron en gran medida con las TSCI de mayor duración y de extensión completa. Para las mujeres de 50 años o más, fue significativo el riesgo de sufrir fracturas en la tibia y en el peroné, pero no así en la cadera y en el fémur independientemente de la edad. Al finalizar el análisis, precisaron que el riesgo absoluto fue de aproximadamente el 20%, vinculado firmemente con un suceso previo de fractura.

En el año 2017, Yarar-Fisher et al.⁴⁹ analizaron los factores de riesgo para contraer enfermedades cardiovasculares (en adelante, ECV) en las personas con LM. Las cardiopatías hipertensivas e isquémicas constituyen la cuarta causa principal de muerte entre las personas que envejecen con SCI, y en comparación con la población general, su prevalencia es del 17,1% y del 4,9% respectivamente. Es oportuno agregar que las/los pacientes con LM tienen una trayectoria acelerada de envejecimiento en su sistema cardiovascular, la cual está asociada con obesidad, estrés inflamatorio, diabetes e hipertensión. A su vez, y debido al deterioro neurológico, estas/os pacientes pueden experimentar los síntomas de ECV de forma diferente al resto de la población, y en consecuencia generar un retraso en el tratamiento y una mayor progresión de las mismas; esto se puede notar por ejemplo, en la incapacidad de los individuos con LM a nivel cervical para reconocer el dolor de la angina de pecho conforme a la interrupción de las fibras cardíacas sensitivas, motivo por el cual puede pasar desapercibido un evento cardíaco isquémico. Otro aspecto que destacan las/los autoras/es, es que en las/los pacientes con tetraplejía el riesgo a desarrollar ECV es mayor en comparación con aquellas/os con paraplejía.

Los cambios en la composición corporal de las personas que padecen una LM conllevan a una acumulación acelerada de tejido adiposo significativamente mayor que en los individuos sin discapacidad. La presión arterial se incrementa con la adiposidad por medio de al menos cuatro mecanismos fisiológicos, estos son: el daño endotelial arterial causado por citocinas proinflamatorias; la síntesis hepática de angiotensinógeno; la expansión de volumen a través de la estimulación del sistema renina-angiotensina-aldosterona; la compresión mecánica de los riñones. La realización de actividad física es

recomendada para reducir la adiposidad y el nivel de sedentarismo, lo cual incide en la prevención de las comorbilidades secundarias que padecen las personas con SCI⁵⁰.

El estudio del año 2020 realizado por Hill et al.⁵¹ involucró a veinticinco participantes con una edad media de 58 años y un tiempo promedio desde el momento de la lesión de 28 años. El 72% de ellos fue clasificado de alto riesgo para ECV y el 8% había sufrido un evento cardíaco. En cuanto a la distribución por género, los hombres representaban el 80%, y con respecto al nivel neurológico de la lesión, los individuos estaban agrupados de la siguiente manera: el 40% de C1-C4, el 24% de C5-C8 y el 36% de T1-T6. La esperanza de vida de las personas con LM durante el siglo XX ha ido en aumento, sin embargo la mejora de la longevidad de esta población ha disminuido debido a las ECV y a los problemas pulmonares prematuros. Un factor de riesgo sustancial para el desarrollo de ECV es la enfermedad renal crónica debido a la disfunción de la vejiga neurogénica, que en el caso de este análisis se encontró en el 8% de las/los participantes. En otro estudio, elaborado por Elmelund et al. en el año 2016, se informó que las personas con una evolución de 30 años o más de ocurrida la lesión, tenían una probabilidad de deterioro renal severo y moderado, de 13,6% y 30% respectivamente.

La prevalencia de la obesidad aumenta luego de una SCI como consecuencia de la reducción de la actividad física, del incremento del tiempo sedentario y de la disminución de la masa muscular magra. Dorton et al.⁵² en el año 2021 analizaron tres medidas antropométricas en un total de doscientas cincuenta y siete personas con LM crónica; las mismas fueron: índice de masa corporal, circunferencia de la cintura y relación cintura-altura. Dentro de los hallazgos en su estudio, el principal al que arribaron es que las medidas determinantes de obesidad pueden ser utilizadas para pronosticar el riesgo de ECV, dentro de las cuales la circunferencia de la cintura es la más confiable. Así pues, la medición de 97 cm en los hombres y de 88 cm en las mujeres es el parámetro a partir del cual es considerado como un factor de riesgo. Con respecto a la realización de actividad física en estas/os pacientes, las/los autoras/es destacan que la LM a nivel cervical se caracteriza por inestabilidad de la presión arterial, arritmia cardíaca y fundamentalmente por la incapacidad para aumentar la frecuencia cardíaca de manera adecuada durante el ejercicio. Este último es considerado un factor predictivo importante ante el deterioro de la función autonómica cardiovascular, y que puede ser detectado de manera sencilla cuando la/el paciente está en condiciones de realizar un ejercicio aeróbico de intensidad energética o moderada. De esta manera, si la frecuencia cardíaca aumenta a 125-140 latidos

por minuto se deduce que al menos existe un control simpático residual y, en consecuencia, una disminución del riesgo de ECV. Uno de los efectos adversos de la interrupción del nervio simpático es la hipotensión arterial, y esto se observó con mayor asiduidad en las personas con tetraplejía. En contraposición, aquellos individuos con paraplejía presentaban una frecuencia cardíaca aumentada⁵³.

Como ya se ha dicho, la realización de actividad física en las/los pacientes con SCI se encuentra afectada por las limitaciones en su movilidad y en las barreras ambientales, que se refleja en el estilo de vida inactivo de aproximadamente el 50% de estas personas. Esto deriva en modificaciones en la composición corporal y en el perfil metabólico, sumado al reposo prolongado que contribuye a la remodelación del ventrículo izquierdo, que da como resultado una menor capacidad cardiorrespiratoria. En el año 2017, Van der Scheer et al. desarrollaron las pautas que especifican el tipo y la prescripción mínima de ejercicios que las personas con LM necesitan para mejorar su estado físico. Sugirieron la participación en al menos veinte minutos de actividad aeróbica de intensidad moderada a vigorosa y tres series de ejercicios de fuerza para cada grupo muscular principal, dos veces por semana. No obstante, estas indicaciones pueden no estar al alcance de todos los individuos con SCI. Por lo tanto, si bien pueden encontrarse en condiciones de llevar a cabo la cantidad de tiempo recomendada, es factible que no logren el 40-59% del consumo máximo de oxígeno considerado como el mínimo indispensable para obtener los beneficios fisiológicos⁵⁴.

Hay que mencionar también, que la TVP y la embolia pulmonar (en adelante, EP) forman parte de las frecuentes complicaciones secundarias en las/los pacientes con SCI. La literatura actual refleja tasas variables de TVP, que en algunos casos llega al 65%. Algo similar ocurre con las tasas de EP, con un rango variable que va de 0% a 18%. En un estudio realizado por DiGiorgio et al.⁵⁵ del año 2017, participaron cuarenta y nueve individuos con LM de los cuales el 6,1% tenía TVP, el 4,1% presentaba EP y no hubo complicaciones hemorrágicas. Las/los autoras/es no hallaron una asociación entre la TVP y la EP con respecto a la edad, al género, a la clasificación ASIA, ni a intervenciones neuroquirúrgicas previas, y destacan la investigación de Pierfranceschi et al. del año 2013, que incluyó a noventa y cuatro pacientes con SCI, en la cual se encontró que la mayoría de las dificultades de TVP ocurren dentro de los tres meses posteriores a la lesión.

En conjunto, los eventos de TVP y de EP se denominan tromboembolismo venoso (en adelante, TEV). A diferencia de los hallazgos mencionados en el apartado anterior, los autores Eichinger et al.⁵⁶ en el año 2018 identificaron los siguientes factores de riesgo de TEV en las personas con SCI, a saber: edad avanzada, paraplejía, LM completa y fracturas concomitantes en los miembros inferiores. Ciento ochenta y cinco individuos conformaron el estudio, con una edad media de 47,8 años. Noventa y cuatro eran tetraplégicos, y noventa y uno eran parapléjicos. En el plazo medio de 5,1 (\pm 2,1) meses, veintiún pacientes tuvieron sucesos hemorrágicos y se diagnosticó TEV en ocho de ellos. Las/los autoras/es citaron estudios anteriores como el de Chiou-Tan et al. y el realizado por De Vico et al. en los cuales se informó una incidencia de TEV en personas con SCI, entre 6% y 10% durante la fase de Rehabilitación. En contraposición, en otro estudio del año 2015 elaborado por Godat et al. sobre una base de datos de California, se señaló que el riesgo de TEV fue en los primeros tres meses del 34%, a los seis meses del 1,1% y al año del 0,4%. En cuanto a los eventos hemorrágicos, ocurren en gran medida durante la fase aguda en una LM y disminuyen luego de la misma. A pesar de esto, no se debe descuidar su atención en la etapa de Rehabilitación dado que las/los pacientes son propensas/os a padecer complicaciones urogenitales, infecciones y caídas.

En lo concerniente a las infecciones en el tracto urinario (en adelante, ITU) los factores relevantes fueron el género, la integridad de la LM, el tipo de vaciado de la vejiga, la función del músculo detrusor y la presión uretral. Los autores Yielin et al.⁵⁷ incluyeron en su estudio del año 2021 un total de novecientos sesenta y cuatro pacientes con SCI, de los cuales el 77% eran hombres con una edad media de 46,1 años. Trescientos seis sujetos presentaron ITU, lo que significó una incidencia del 31,7%. Identificaron que los hombres tenían un riesgo 2,1 veces mayor que las mujeres, y ocurrió más frecuentemente en TSCI de grado A, B y C, de acuerdo a la clasificación AIS. A su vez, los individuos con catéteres urinarios permanentes, así como también aquellos con el músculo detrusor arrefléxico combinado con una presión uretral normotónica, evidenciaron un mayor riesgo de contraer ITU dado que tenían más probabilidad de incrementar la orina residual. Por este motivo y como pauta para reducir el riesgo de infecciones, en la actualidad se recomienda el vaciado completo de la vejiga con el fin de mantener el volumen vesical por debajo de los 500 cc.

En una revisión sistemática del año 2017 que involucró diecisiete estudios, los autores Pollock et al.⁵⁸ analizaron el trastorno de estrés postraumático (en adelante, TEPT) en las

personas con SCI. Indistintamente de la etiología de la LM, puede considerarse como un hecho traumático relacionado al potencial desarrollo de las diferentes comorbilidades secundarias, como es el caso de las afecciones cardiovasculares y respiratorias, que refuerzan el miedo a la muerte en estos pacientes. Además, las personas con un nivel de lesión más alto experimentan emociones de mayor rigurosidad, vinculadas a la marcada dependencia de terceros para la realización de las tareas diarias. En la etapa aguda de la LM, alrededor del 40% de los sujetos presenta síntomas agudos de evitación, aumento de la ansiedad y recuerdos traumáticos intrusivos. Sin el adecuado tratamiento psicológico, se informó una prevalencia del 29% de TEPT hasta treinta años luego de ocurrida la lesión.

De acuerdo al análisis de veinticinco artículos del año 2019, los autores Di Prinzio et al.⁵⁹ informaron las complicaciones secundarias más frecuentes que derivaron en la internación de las/los pacientes con SCI, a saber: ITU, afecciones del sistema respiratorio y UPP. En relación al nivel y a la extensión de la injuria medular, vincularon a las primeras con AIS grado A, B o C, a las segundas con tetraplejía, y a las terceras con paraplejía.

Por último, Marion et al.⁶⁰ realizaron un estudio en el año 2017 con la participación de cuatrocientos cuarenta y cuatro personas con LM. Precisaron que el 79,3% experimentó al menos una comorbilidad secundaria, y el 38% de estos padeció tres o más complicaciones, cuyas proporciones fueron: ITU 42,8%, neumonía 39,2%, dolor neuropático 31,5%, delirio 18,2% y UPP 11%. A su vez, encontraron diferencias de acuerdo al género, reflejadas en que los hombres tenían un mayor riesgo de enfermedades respiratorias y de UPP, en tanto que las mujeres, padecían con mayor frecuencia ITU, delirio y TVP.

Cuadro 3: Incidencias de eventos adversos⁶⁰.

Eventos secundarios	(%)	Eventos secundarios	(%)
Infecciones del tracto urinario	42,8	Infección sistémica	12,2
Neumonía	39,2	Úlceras por presión	11,0
Dolor neuropático	31,5	Deterioro neurológico	4,7
Delirio	18,2	Embolia pulmonar	3,6
Insuficiencia cardíaca	15,3	Hematoma	3,4
Disfagia	12,6	Trombosis venosa profunda	1,6

VI.3. Identificación de las ventajas brindadas por el uso de Exoesqueleto Robótico en el tratamiento kinésico de las/los pacientes con lesión medular incompleta.

Desde principios de la década del 2000, se realizaron varios estudios clínicos para investigar las ventajas y beneficios de los ER en las/los pacientes que sufrieron una LM. Como se describió anteriormente, en la actualidad la mayoría de las/los autoras/es concuerdan que el tratamiento con estos dispositivos puede resultar efectivo y beneficioso como complemento de la Rehabilitación convencional.

Este análisis se basó en estudios realizados a partir del año 2014, en los cuales autores como Benson et al.³³ aportaron que una de las ventajas más importantes de los dispositivos robóticos portátiles, es la oportunidad para que las/los pacientes con SCI puedan caminar de forma independiente en la comunidad. Este tipo de ER está controlado mediante un selector de modo inalámbrico que se lleva en la muñeca de la/del paciente, y a su vez por un sensor que detecta la inclinación del tronco, y por ende, el centro de gravedad. Este movimiento genera una acción predeterminada en la cadera y en la rodilla opuesta y da como resultado un paso hacia adelante. Si la/el paciente no logra inclinarse el dispositivo no recibe la señal e interrumpe la marcha, lo cual brinda seguridad y posibilita controlar la deambulación sin operar con el control remoto. El ER también cuenta con un modo de transferencia sentado-parado-sentado que permite a la/al usuaria/o levantarse y sentarse de forma independiente. Además el dispositivo tiene la capacidad de subir y bajar escaleras con programas establecidos individualmente.

Del mismo modo, Grasmücke et al.⁸ realizaron un estudio en el cual utilizaron el ER de asistencia híbrida en pacientes con SCI para valorar los beneficios que este ofrecía. El equipo posee un sistema de retroalimentación neuromuscular activado por electromiografía que amplifica las diminutas señales bioeléctricas de las extremidades inferiores e induce la hipertrofia muscular. Como ventaja principal obtuvieron importantes progresos en las funciones de la marcha, tanto en la etapa aguda como en la etapa crónica de la lesión, y además produce un incremento en la movilidad y en la fuerza muscular, con significativas mejoras al caminar sobre el suelo cuando la/el paciente no utiliza el dispositivo robótico. La actividad neuronal y la realización de tareas específicas de forma repetida, basadas en el concepto de inducción de la plasticidad, promueven el aprendizaje y conducen a reestructurar la retroalimentación propioceptiva de forma

adecuada. El entrenamiento de la marcha recupera los circuitos espinales, fomenta la inhibición presináptica y normaliza la coordinación y la contracción de los músculos agonistas y antagonistas afectados.

Así también, Jansen et al.³⁶ concuerdan con estas/os autoras/es y a su vez en su investigación del año 2017 con veintiún participantes que presentaban LM, aportaron que el ER brinda la posibilidad de ajustar gradualmente el nivel de soporte en las articulaciones de la cadera y de la rodilla, en función de la musculatura flexora y extensora remanente para cada persona. De esta manera asiste al movimiento de forma independiente y en sincronía con el impulso voluntario de la/del paciente, lo cual permite el entrenamiento individualizado de los grupos musculares. Esta característica posibilita personalizar el patrón de marcha, la longitud de la zancada y la altura de los pasos de modo que los ejercicios se puedan adaptar a las situaciones cotidianas a las que la/el usuaria/o deba enfrentarse. Se debe agregar también, que las/los autoras/es destacaron que dieciocho de los veintiún pacientes de su estudio, mostraron una mejoría en sus disfunciones intestinales y vesicales, y dos de ellos lograron interrumpir el autocateterismo.

Lajeunesse et al.³⁴ realizaron una revisión de artículos en la cual cinco de siete estudios mostraron que la utilización de ER en las/los pacientes con LMI aumenta el nivel de actividad física. De acuerdo a los monitoreos de algunos parámetros durante un lapso de dos a tres meses, ese incremento de la movilidad generó beneficios en la circulación vascular y linfática, junto a una reducción de las UPP y de distintos problemas en la piel, así como también un mantenimiento de la masa corporal magra en las extremidades inferiores, una disminución en los espasmos musculares y una menor cantidad de ITU y problemas digestivos.

Por otra parte, Gagnon et al.⁶¹ realizaron una encuesta en el año 2017 a pacientes con SCI que se movilizaban con silla de ruedas manual, luego de que participaran en un programa de entrenamiento con ER con una duración de ocho semanas. Estos se mostraron significativamente satisfechos con los resultados, lo cual se reflejó de la siguiente manera: el $82,3\% \pm 6,9\%$ se manifestó conforme con el dominio del dispositivo; el $84,5\% \pm 6,9\%$ estuvo de acuerdo con los atributos del programa de entrenamiento de la marcha; el $79,6\% \pm 17\%$ se sintió capaz de aprender a sentarse, a ponerse de pie y a caminar con el ER; el $91,3\% \pm 0,1\%$ demostró estar motivada/o para continuar con la realización de actividad

física. La mayoría de las/los pacientes encuestadas/os percibió un nivel de esfuerzo de moderado a alto, tanto desde un punto de vista cognitivo como físico. Dentro de los objetivos del programa de Rehabilitación el alcance de al menos un grado de esfuerzo moderado es considerado beneficioso, dado que se corresponde con las pautas de actividad física más recientes y es recomendado para afrontar los efectos negativos del tiempo prolongado de inactividad, como es el caso de los usuarios de silla de ruedas.

De la misma forma, en una revisión sistemática del año 2017 realizada por Holanda et al.¹¹ que incluyó treinta y nueve artículos, afirmaron que gracias al uso de estos dispositivos robóticos existió una disminución en la percepción del dolor y en el nivel de espasticidad. Al mismo tiempo se demostraron cambios en la capacidad propioceptiva, en los distintos tipos de sensibilidad y en la actividad eléctrica a nivel muscular y a nivel cortical, como así también una ganancia con respecto al control postural y a las funciones urinarias e intestinales. Las/los autoras/es evidenciaron que este modo de intervención mejoró los parámetros cardiorrespiratorios y metabólicos, lo cual proporciona un desempeño mayor en el ejercicio de la marcha vinculado con el aumento de la velocidad, la longitud de la zancada y la distancia recorrida, que repercute positivamente en la calidad de vida de estas personas y logran un mayor nivel de independencia funcional.

Acerca de los parámetros clínicos, Benson et al.³³ destacan de modo similar que aquellas/os pacientes que completaron el programa de entrenamiento tuvieron un aumento de la frecuencia cardíaca promedio de 9 latidos por minuto y de la presión arterial sistólica de 4 mm/Hg. En efecto, se registró que la fatiga fue más severa después de una sesión con ER, en tanto que hubo mínimos cambios en la percepción del dolor. Dos participantes con espasticidad leve experimentaron una mejoría de 0,71 puntos según la escala de Ashworth, mientras que se observó un incremento en la puntuación motora de los miembros inferiores.

En el año 2018, Mekki et al.⁶² realizaron una exhaustiva revisión bibliográfica, con el fin de identificar las ventajas que tenían las/los pacientes con LM al utilizar ER para rehabilitarse. Entre los principales beneficios que otorgan estos dispositivos, distinguen el progreso de la recuperación mediante la repetición de la actividad, un mayor movimiento funcional y la plasticidad neuronal. Mencionan una investigación de Stampacchia et al. del año 2016 en la cual se evaluó la espasticidad en veintinueve participantes con SCI antes y después de una sesión con una duración aproximada de

cuarenta minutos de caminata en un ER. Se compararon los valores tanto del inicio como del final de la actividad, en la cual las puntuaciones se redujeron significativamente. En cambio, Kressler et al. en el año 2014 informaron que no hubo cambios en la espasticidad luego de dieciocho sesiones efectuadas por tres participantes. Las/los autoras/es sostienen que en este aspecto, es necesario contar con una mayor cantidad de ensayos clínicos para arribar a conclusiones firmes, dado que en general, la evidencia está basada en estudios con tamaños de muestra pequeña.

Por otra parte, investigaciones demostraron que el dolor crónico después de una SCI prevalece en aproximadamente cuatro de cada cinco personas. Mekki et al. citan en su estudio a Kressler et al. quienes realizaron una investigación con tres participantes, los cuales experimentaron una reducción en su dolor neuropático luego de la utilización del ER. Se citó nuevamente el estudio realizado por Stampacchia et al. en el cual doce sujetos informaron dolor antes de la utilización de ER, y luego de la actividad se observó una reducción significativa del mismo. A su vez las personas que padecen una LM tienen un riesgo aumentado y acelerado de contraer ECV, y como ya se ha indicado, la misma es una de las principales causas de muerte en esta población. Uno de los factores de riesgo de las patologías cardíacas es la obesidad, cuya prevalencia es elevada en las/los pacientes medulares como consecuencia de la inactividad física que deriva en una disminución de la masa corporal magra y en un aumento del tejido adiposo. Se ha demostrado que la realización de ejercicios con ER tiene como ventaja el incremento de la frecuencia cardíaca y del consumo de oxígeno, de modo tal que este tipo de terapia puede proporcionar una alternativa viable para contrarrestar los efectos negativos causados por la escasa movilidad.

Estudios más actuales, como el de Tóth et al.³¹ en el año 2020, coincide en que una de las ventajas que brinda el uso de ER es la oportunidad de realizar ejercicios intensivos, funcionales y personalizados, con un mayor número de repeticiones y que al mismo tiempo reduce la carga de trabajo de las/los Kinesiólogas/os. De esta manera, se estimula la plasticidad neuronal lo que potencia la recuperación neurológica. Estos dispositivos han evolucionado de forma tal que tienen un diseño ergonómico, autoportante y que se ajusta fácilmente al usuario. En relación a su configuración, permite programar individualmente parámetros de la marcha tales como la duración de la zancada, el tiempo de pausa entre cada paso y el grado de flexión de la cadera y de la rodilla. Después de la selección del modo, la/el paciente debe iniciar activamente el movimiento mediante el

cambio en su centro de gravedad, el cual es detectado por un sensor que da comienzo al patrón de marcha estipulado. Se demostró que el entrenamiento intensivo con ER produce una mejora significativa en la espasticidad tanto después del tratamiento a corto plazo como a largo plazo y con resultados alentadores en cuanto a la reducción del dolor crónico. A su vez, las/los autoras/es subrayan que estar de pie y caminar con regularidad induce a cambios positivos en la densidad del hueso, por consiguiente, esta actividad contrarresta el aumento de la resorción ósea producto de un estilo de vida sedentario, y en consecuencia el riesgo de fracturas patológicas.

Una investigación del presente año elaborada por Tamburella et al.⁶³ indica que la utilización de ER en una población con SCI en etapa subaguda, mostró mejoras significativas post entrenamiento. Estos cambios se observaron en la fuerza muscular de los miembros inferiores, en el equilibrio dinámico y en el equilibrio del tronco, además de la mejora en la capacidad de la marcha. También se observó una reducción importante de la espasticidad en individuos con LMI, tanto en la etapa subaguda como en la etapa crónica. En todos los estudios se informó una tendencia positiva en la reducción del dolor, mientras que en tres de ellos, se demostró un aumento significativo de la frecuencia cardíaca cuando la/el paciente se encontraba en bipedestación con el dispositivo robótico; en este sentido afirmaron que la postura erguida favorece la regulación de la función intestinal. Las/los participantes manifestaron la comodidad y estabilidad durante el uso de ER, como así también destacaron los beneficios emocionales, físicos y psicosociales relacionados a la interacción con la sociedad. Un estudio investigó exclusivamente los efectos vinculados con la salud ósea y la composición corporal en personas con LM crónica que realizaron entrenamiento robótico. El mismo reflejó un incremento considerable de la masa corporal magra en las extremidades inferiores, así como también, una reducción de la masa grasa total. En cuanto a la densidad mineral ósea, no se evidenciaron cambios significativos.

Por otro lado, Xiali et al.⁶⁴ informaron que el ER posibilita la realización de caminatas en interiores y en exteriores, y mejora el equilibrio estático. Señalaron además, en su estudio del presente año, que la terapia robótica es segura y la capacidad de la marcha progresa cuando el entrenamiento es gradual y persistente. Al mismo tiempo, afirmaron que reduce complicaciones secundarias tales como UPP, afecciones pulmonares e ITU, y mejora la dignidad de las/los pacientes.

Por último, Gil-Agudo et al.⁶⁵ en el año 2020 evidenciaron que los ER permiten la reiteración sostenida de un movimiento y la carga de trabajo se puede dosificar y administrar de forma personalizada. De acuerdo con uno de los paradigmas centrales de la Rehabilitación, este tipo de tratamiento favorece la participación activa por parte de la/del paciente en un entrenamiento orientado a tareas específicas y funcionales. Estos factores intervienen en el fenómeno de neuroplasticidad que pueden reproducirse mediante los sistemas robóticos con una elevada repetición del ciclo de la marcha y con la ejecución de movimientos precisos. De este modo, la/el paciente se beneficia con la realización de ejercicios en entornos seguros, con patrones normales de la marcha y así evita el desarrollo de malos hábitos durante su aprendizaje.

VI.4. Resultados en la Rehabilitación de la marcha con tratamiento convencional, respecto de los resultados obtenidos por la utilización del Exoesqueleto Robótico.

La recuperación de la función de la marcha después de una SCI se ha convertido en uno de los objetivos más importantes de la Rehabilitación, como así también la disminución de las comorbilidades asociadas a este tipo de lesión. Existen diferentes métodos convencionales de entrenamiento locomotor basados en el aprendizaje motor, que incluyen por ejemplo la asistencia manual por parte de la/del terapeuta durante la caminata sobre el suelo, la electroestimulación funcional, el estiramiento, el fortalecimiento de los diferentes grupos musculares y la repetición de pasos mediante BWSTT.

En la actualidad, la tarea de las/los Kinesiólogas/os en el abordaje de la recuperación de la marcha en estas/os pacientes, se encuentra favorecida por los avances de la tecnología robótica. Estos incluyen diversas terapias asistidas por ER tanto en cinta rodante como sobre el suelo, que brindan ayuda y nuevas soluciones para complementar las actividades de la Rehabilitación. Los dispositivos robóticos incrementan la eficiencia y la productividad de las/los profesionales, y permiten que las/los pacientes puedan realizar el entrenamiento con una menor demanda metabólica en comparación a las intervenciones tradicionales mencionadas anteriormente^{41, 66}.

Jansen et al.³⁶ indican que BWSTT permite a las/los pacientes con LMI caminar mientras se le brinda soporte parcial de su propio peso e induce los movimientos de pasos

coordinados y la activación muscular. En concordancia con Aach et al.³⁸, exponen que este tipo de herramienta está establecida y empleada ampliamente en Rehabilitación, y agregan que posibilita la locomoción en una etapa temprana e integra el entrenamiento del equilibrio, con un enfoque específico en la actividad junto a un patrón de marcha sistemático. En oposición, Calabró et al.²⁵ sostienen que la ejecución de estos ejercicios motores están limitados por la asistencia de al menos dos terapeutas, lo cual torna cada vez más difícil mantener la simetría temporal y espacial entre cada paso y asegurar su reiteración en las mismas condiciones que al inicio.

Si bien las/los pacientes al realizar BWSTT se ven beneficiadas/os con una disminución de la intensidad del dolor y de la espasticidad, como así también una reducción de la variabilidad de la presión arterial al sentarse y pararse, y una menor frecuencia cardíaca en reposo, tal como lo describen Kozlowski et al.⁶⁷ en su estudio del año 2015, requiere un sobreesfuerzo por parte de las/los profesionales que asisten en la terapia, y resulta en patrones de marcha menos reproducibles y con menor duración de la sesión.

Para superar esa dificultad, se han elaborado dispositivos robóticos que ofrecen diversas ventajas con respecto al entrenamiento convencional en cinta rodante, a saber: una mejora de la reproducción cinemática durante el ciclo de la marcha, el incremento de la intensidad, el tiempo de trabajo y el volumen de los ejercicios, una reducción de la demanda física de las/los Kinesiólogas/os y evaluaciones objetivas más precisas sobre la evolución de la/del paciente^{25, 36, 64}.

La Rehabilitación con ER permite un entrenamiento activo con la asistencia de una/un sola/o terapeuta, por medio de una marcha estandarizada con el compromiso de los músculos del tronco y ejercicios funcionales que se asemejan a los patrones de movimientos normales. Asimismo posibilita la extensión de la cadera y la carga completa de los miembros inferiores, lo que facilita la plasticidad neuronal. Como resultado puede inducir a mejoras en las representaciones de la corteza motora, fortalecer las capacidades de los grupos musculares y aumentar la coordinación^{68, 69}. En la actualidad existen varios dispositivos robóticos disponibles que cuentan con diferentes modos de control; en este aspecto, Fleerkotte et al.²⁸ concluyen que los ER controlados por impedancia son una herramienta segura y factible para el entrenamiento de la marcha que pueden aumentar la participación activa y la variabilidad paso a paso.

Yildirim et al.³⁷ en el año 2019 realizaron un programa de Rehabilitación durante ocho semanas, en el que un grupo realizó terapia convencional, en tanto que otro llevó a cabo un entrenamiento combinado con ER. El primero lo hizo con una frecuencia de dos sesiones diarias, durante cinco días a la semana; el segundo ejercitó fortalecimiento muscular, estiramiento, movilidad articular y caminata con ortesis con la misma periodicidad, y a su vez dos sesiones semanales con asistencia de ER, lo que representó al final del estudio un total de dieciséis entrenamientos con esta modalidad. Los resultados obtenidos arrojaron una mejora significativa en WISCI II y en las puntuaciones de la medida de independencia funcional para ambos grupos, sin embargo los mismos fueron significativamente mayores en el conjunto robótico. Como hallazgo, las/los autoras/es puntualizan que la Rehabilitación asistida con ER combinada con tratamiento convencional, es superior en términos de recuperación de la marcha con respecto a las terapias convencionales, y en concordancia con Swank et al.⁷ consideran al entrenamiento con dispositivos robóticos como un complemento de los métodos tradicionales, y no así como un reemplazo de ellos.

En un estudio del año 2017 realizado por Grasmücke et al.⁸ se efectuó el entrenamiento con ER en cinta rodante en personas con diferentes niveles y grados de extensión de SCI, que realizaban hasta el momento tratamiento convencional. Participaron cincuenta y cinco pacientes y el programa tuvo una duración de doce semanas, con un tiempo aproximado de 90 minutos por sesión. Las evaluaciones realizadas al finalizar el plan de tratamiento y que se detallan a continuación, demostraron que todas/os las/los participantes mejoraron su rendimiento con respecto al tratamiento tradicional, y del total de las/los pacientes, el 43,6% era menos dependiente de ayudas para caminar. Al inicio del estudio el tiempo medio acumulado de caminata fue de $12,59 \pm 4,72$ minutos y luego de doce semanas aumentó considerablemente a $29,55 \pm 5,61$ minutos. A su vez se observó un incremento en la distancia media deambulada de $185,64 \pm 134,70$ metros, a $887,38 \pm 357,79$ metros con ER sobre la cinta rodante. La prueba 10MWT se realizó antes y después de cada sesión sin el dispositivo robótico, y el tiempo medio disminuyó significativamente de $70,45 \pm 61,50$ segundos al inicio, a $35,22 \pm 30,80$ segundos a las doce semanas. En los 6MWT también hubo un rendimiento superior en la distancia media de $97,81 \pm 95,80$ metros a $146,34 \pm 118,13$ metros. Con respecto a la escala WISCI II, la puntuación media inicial fue $9,35 \pm 5,12$, en tanto que la misma mejoró a $11,04 \pm 4,52$ hacia el final del entrenamiento; en este sentido, las/los autoras/es determinan una

ganancia promedio de 1,69 niveles y resaltan que la mejora máxima se produjo entre la cuarta y la décima semana de entrenamiento, lo cual representa un progreso inducido por el entrenamiento con ER.

Chang et al.²³ llevaron a cabo en el año 2018 un estudio aleatorio durante tres semanas en el que participaron nueve personas con SCI, a quienes les asignaron al azar tratamiento convencional o entrenamiento asistido por ER con enfoque en la marcha. Ambos grupos recibieron semanalmente cinco sesiones de aproximadamente 60 minutos cada una. Los resultados obtenidos indicaron que todos mostraron un importante aumento en la longitud del paso. Al mismo tiempo, las/los pacientes entrenados con el dispositivo robótico tuvieron una mejora en los 6MWT, y aquellas/os que realizaron terapia tradicional progresaron significativamente en la prueba TUG.

Por otra parte, Benson et al.³³ afirman en su análisis del año 2015 que la deambulación con ER generó mejores resultados en todas/os las/ los participantes que lograron completar veinte sesiones con esta modalidad de entrenamiento, y destacan el incremento en la puntuación motora de los miembros inferiores en aquellas/os pacientes con LMI, quienes se beneficiaron principalmente en la capacidad de caminar distancias más largas.

En una revisión de múltiples ensayos aleatorios realizada en el año 2020 por Pinto et al.⁷⁰, encontraron resultados favorables asociados a la incorporación de los dispositivos robóticos para la recuperación de la marcha, en comparación a las/los pacientes que realizaban fisioterapia convencional. Resaltan una mejora significativa en 6MWT, un aumento en la longitud de zancada, como así también una mayor independencia y resistencia para caminar. En oposición, Gorgey et al.⁷¹ concluyeron en su análisis del año 2018 que la velocidad y la distancia de caminata con ER en cinta rodante, no presentó diferencias relevantes en comparación con el entrenamiento convencional sobre el suelo, dado que las velocidades de caminata variaron entre 0,31 m/s y 0,40 m/s.

En el año 2020, Tsai et al.⁶⁹ realizaron un estudio con un total de treinta participantes, de los cuales veinte recibieron tratamiento convencional y diez formaron parte del conjunto asistido con ER. Ambos grupos entrenaron un mínimo de 15 horas por semana que incluía fisioterapia, ejercicios de equilibrio y de fuerza, marcha y transferencias. Al mismo tiempo, los diez pacientes del grupo de intervención realizaron caminata sobre el suelo con la utilización de un exoesqueleto motorizado, quienes promediaron 31 minutos de actividad y 18 minutos de caminata con 456 pasos por sesión. Los resultados obtenidos

demonstraron importantes diferencias en las puntuaciones LEMS; para el grupo control se obtuvo un promedio de $4,6 \pm 6,1$, mientras que para las/los pacientes con intervención robótica el mismo fue de $14,3 \pm 10,1$. Cabe destacar que las/los autoras/es afirman que la marcha asistida con ER, en comparación al entrenamiento con ortesis y al BWSTT, requiere menos gasto de energía, genera menos tensión en las estructuras de las extremidades superiores e inferiores y tiene el potencial de facilitar la recuperación funcional y motora.

De modo similar a las conclusiones arribadas por autoras/es citadas/os previamente, Shin et al.³⁹ consideran a la terapia con ER como una herramienta adicional en la Rehabilitación de la marcha en las/los pacientes con LMI, y que en combinación con tratamiento convencional podría proporcionar mejoras en la función ambulatoria y en la recuperación neuromuscular. Realizaron un ensayo clínico con la participación de sesenta pacientes en el cual se comparó el entrenamiento asistido por ER y la terapia tradicional. Todas/os las/los pacientes asignados aleatoriamente a cada grupo fueron tratadas/os con fisioterapia durante cuatro semanas. Aquellas/os que formaron parte de la intervención con el dispositivo robótico, lo hicieron tres días a la semana con un tiempo de sesión de 40 minutos, y en los otros dos días fueron sometidas/os a fisioterapia regular por un lapso de 30 minutos. Por su parte, el grupo control ejerció dos sesiones al día con una frecuencia de cinco veces a la semana, basadas en los principios de Bobath. Al finalizar el programa, ambos grupos mostraron una mejora significativa en las puntuaciones LEMS sin marcadas diferencias entre ellos, en tanto que el grupo robótico manifestó un notable aumento del WISCI II. Las/os autoras/es infieren que la intervención con ER disminuye el nivel de asistencia, incrementa la duración del tratamiento, y también puede reducir las anomalías neuromusculares asociadas con la espasticidad, de manera tal que permita fomentar la coordinación y modificar la co-contracción entre los músculos antagonistas de los miembros inferiores.

Por último, Ki Yeun et al.⁴² elaboraron una revisión sistemática que incluyó diez ensayos con un total de quinientos dos participantes, y compararon los resultados entre el tratamiento convencional y el entrenamiento con ER. Los mismos demostraron mejoras significativas en la distancia recorrida, en la fuerza de los miembros inferiores y en el nivel funcional de movilidad e independencia para las/los pacientes tratadas/os con la terapia robótica. Sin embargo, la velocidad de la marcha tuvo una diferencia media de 0,08 m/s, lo cual no evidenció un aumento importante. En cambio, se reflejó una

disparidad acentuada de 45,05 metros en la distancia caminada con ER, una variación en el puntaje LEMS de 2,54 y en relación al equilibrio una diferencia media de 9,25 en la prueba TUG. Estas/os autoras/es consideran que la terapia robótica tiene mejores resultados por sobre los métodos convencionales, y a su vez permite el inicio temprano del entrenamiento de la marcha en las/los pacientes con mayor grado de dependencia, con un menor esfuerzo por parte de las/los Kinesiólogas/os, mediante un patrón de marcha más fisiológico y con el incremento en la intensidad y en el tiempo deambulado.

VII. RESULTADOS

La búsqueda bibliográfica suministró una gran variedad de artículos para la elaboración del presente trabajo de investigación. En mayor proporción, se seleccionaron informes de investigación, revisiones sistemáticas y ensayos clínicos, conforme a los criterios de inclusión enumerados previamente.

VII.1. Sobre los factores de riesgo en las personas con LM.

Varios de los estudios incluidos, analizaron el desarrollo de UPP. Dos de ellos fueron revisiones sistemáticas. La realizada por Chen et al.⁴⁵ extrajo los datos de veintinueve estudios, que arrojó una incidencia mundial de 0,23, y se destacó que las personas con incontinencia urinaria tienen un mayor riesgo de UPP. La otra revisión fue la de Shiferaw et al.⁴⁶ que contó con veinticuatro estudios, y reveló una magnitud global de 32,36% para dichas lesiones cutáneas.

Se extractó un ensayo clínico realizado por Schwartz et al.⁴⁴ en el cual participaron treinta individuos con LM y se analizó el vínculo entre la recurrencia de UPP y los biomarcadores circulatorios y musculares. Se detectaron valores elevados de las proteínas de unión a ácidos grasos, que se consideran clínicamente valiosas como indicador del riesgo a desarrollar UPP.

El estudio llevado a cabo por Sadeghi Fazel et al.⁴³ estuvo conformado por quinientos ochenta pacientes con LM, de los cuales el 28,1% tenían UPP activas y su localización más frecuente fue la región sacra con un 60,7%. Se evaluó la probabilidad de desarrollar UPP mediante la escala de Braden, cuyos resultados indicaron que en el 8,3% de las/los participantes el riesgo era grave y en el 70,1% era leve. Para el estudio con setecientos

cincuenta y cuatro individuos elaborado por Flett et al.⁴⁷, se halló que durante la fase aguda de la SCI se produjo el 30% de las UPP y su incidencia en el proceso de rehabilitación osciló entre el 10% y el 48%. También la mayoría de estos daños tisulares se localizaron en el sacro reflejado con el 41,7%, seguido del 20,3% en las tuberosidades isquiáticas, y del 16,5% en los talones.

La revisión sistemática de Pollock et al.⁵⁸ fue la única en analizar el TEPT en las personas con SCI, y concluyó que cerca del 40% presentó síntomas de evitación, ansiedad y recuerdos intrusivos durante la etapa aguda de la lesión.

En cuanto a las complicaciones hemorrágicas, dos estudios fueron incluidos en el análisis. DiGiorgio et al.⁵⁵ señalaron que de un total de cuarenta y nueve individuos, el 6,1% tenía TVP y el 4,1% presentaba EP. Estos autores no hallaron una asociación con respecto a la edad, al género, a la clasificación ASIA, ni a las intervenciones neuroquirúrgicas previas. En cambio, Eichinger et al.⁵⁶ identificaron la edad avanzada, paraplejía, LM completa y fracturas concomitantes en los miembros inferiores, como factores de riesgo de TEV. A su vez, encontraron que estos eventos ocurren en mayor medida durante la fase aguda de la LM y luego disminuyen.

En el estudio de Bethel et al.⁴⁸ se analizaron los datos de 22.516 personas con LM y se obtuvo una incidencia de fracturas del 15%, representada por 3.365 casos. El 80,1% ocurrió en las extremidades inferiores, cuyos sitios más frecuentes fueron la tibia y el peroné con el 25,8%, el fémur con el 18% y la cadera con el 12,5%.

Con respecto a las ECV, Yarar-Fisher et al.⁴⁹ indicaron que constituyen la cuarta causa principal de muerte entre las personas que envejecen con SCI, y su prevalencia es del 17,1%. Otro aspecto que destacan las/los autoras/es, es que en las/los pacientes con tetraplejía el riesgo a desarrollar ECV es mayor en comparación con aquellas/os con paraplejía. De manera similar, Miyatani et al.⁵³ analizaron una muestra de noventa adultos con SCI crónica y observaron que en las personas con tetraplejía la hipotensión arterial ocurría con mayor frecuencia, a diferencia de los individuos con paraplejía que presentaron una frecuencia cardíaca aumentada.

El estudio de Hill et al.⁵¹ destacó que la enfermedad renal crónica debido a la disfunción de la vejiga neurogénica, es un factor de riesgo sustancial para el desarrollo de ECV. Por su parte, Dorton et al.⁵² analizaron el índice de masa corporal, la relación cintura-altura y

la circunferencia de la cintura como determinantes de obesidad y hallaron a esta última como la más confiable. De esa forma, la medición de 97 cm en los hombres y de 88 cm en las mujeres es el parámetro a partir del cual es considerado como un factor de riesgo.

En la revisión sistemática realizada por Itodo et al.⁵⁴, destacaron la publicación de Van der Scheer et al. quienes desarrollaron las pautas que especifican el tipo y la prescripción mínima de ejercicios que las personas con LM necesitan para mejorar su estado físico y obtener los beneficios fisiológicos.

El estudio de Yielin et al.⁵⁷ incluyó un total de novecientos sesenta y cuatro pacientes con SCI, con una incidencia de ITU del 31,7%. Concluyeron que los hombres tenían un riesgo de 2,1 veces mayor que las mujeres, y ocurrió más frecuentemente en TSCI de grado A, B y C, de acuerdo a la clasificación AIS.

Por último, Marion et al.⁶⁰ determinaron en su estudio que el 79,3% experimentó al menos una comorbilidad secundaria, y el 38% de estos padeció tres o más complicaciones, cuyas proporciones fueron: ITU 42,8%, neumonía 39,2%, dolor neuropático 31,5%, delirio 18,2% y UPP 11%. Asimismo, Di Prinzio et al.⁵⁹ en su revisión de veinticinco artículos, identificaron a las ITU, a las afecciones del sistema respiratorio y a las UPP como las complicaciones secundarias que derivaron con mayor frecuencia en la internación de las/los pacientes con SCI.

VII.2. Acerca del tratamiento con Exoesqueleto Robótico.

Se seleccionaron ocho revisiones sistemáticas para el análisis del entrenamiento de la marcha con ER. En todas ellas se utilizaron sistemas robóticos estacionarios sobre cinta rodante, mientras que las revisiones de Lajeunesse et al.³⁴, Xiali et al.⁶⁴ y Hayes et al.⁶⁶ también incluyeron ER portátiles sobre el suelo.

Las investigaciones realizadas por Holanda et al.¹¹, Tóth et al.³¹, Mekki et al.⁶² y Hayes et al.⁶⁶, destacaron que una de las ventajas más importantes de la rehabilitación con ER es la posibilidad de realizar ejercicios intensivos y de manera repetitiva con el fin de promover la neuroplasticidad.

En tres de las revisiones, Holanda et al.¹¹, Tóth et al.³¹ y Tamburella et al.⁶³, se informó una reducción relevante de la espasticidad tanto en la etapa subaguda como en la etapa crónica, como así también una disminución en la percepción del dolor neuropático.

Por otro lado, Ki Yeun et al.⁴² y Hayes et al.⁶⁶ no evidenciaron una mejoría significativa en la velocidad de la marcha, requerida para la deambulaci3n comunitaria. Sin embargo, Lajeunesse et al.³⁴ hallaron un importante incremento en la velocidad luego de cuarenta y cinco sesiones con ER, con valores que alcanzaron los 0,51 m/s.

Holanda et al.¹¹, Ki Yeun et al.⁴² y Tamburella et al.⁶³ observaron que la marcha asistida con ER mejora la distancia recorrida, la fuerza muscular de los miembros inferiores, la longitud de la zancada y el equilibrio dinámico.

En relaci3n a los beneficios cardiovasculares, Holanda et al.¹¹, Mekki et al.⁶² y Tamburella et al.⁶³, evidenciaron que el entrenamiento con ER mejora los parámetros cardiorrespiratorios y metab3licos, e incrementa la frecuencia cardíaca y el consumo de oxígeno, de manera que contrarresta los efectos negativos originados por la escasa movilidad de las/los pacientes con LM.

Tóth et al.³¹ hallaron que la realizaci3n de ejercicios con ER induce a cambios positivos en la densidad del hueso, lo cual afronta el incremento de la resorci3n ósea que padecen las/los pacientes con SCI. En contraposici3n, Tamburella et al.⁶³ no encontraron cambios significativos en cuanto a la densidad mineral ósea.

Finalmente, las revisiones realizadas por Holanda et al.¹¹, Lajeunesse et al.³⁴ y Xiali et al.⁶⁴, afirmaron la mejora de las funciones intestinales y urinarias, y al mismo tiempo una reducci3n de las UPP y de las ITU.

Se incluyeron en el análisis dieciséis ensayos clínicos de entrenamiento de la marcha con ER.

Las evaluaciones llevadas a cabo antes, durante y al finalizar el programa de entrenamiento fueron: 10MWT, 6MWT, WISCI II, LEMS y TUG. Solo en un estudio, el realizado por Fleerkotte et al.²⁸, se tomaron las medidas espacio-temporales y cinemáticas, las cuales proporcionaron informaci3n útil sobre la calidad de la marcha.

Con respecto al tipo de dispositivo robótico, en siete de los estudios se utiliz3 un ER estacionario sobre cinta rodante, a saber: Grasmücke et al.⁸, Seungwon et al.²¹, Fleerkotte et al.²⁸, Jansen et al.³⁶, Yildırım et al.³⁷, Aach et al.³⁸ y Shin et al.³⁹; mientras que en nueve de ellos se emple3 un ER portátil sobre el suelo, estos son: Chang et al.²³, Benson et al.³³,

Tefertiller et al.³⁵, Baunsgaard et al.⁴⁰, Gorgey et al.⁴¹, Gil-Agudo et al.⁶⁵, Kozlowski et al.⁶⁷, Delgado et al.⁶⁸ y Tsai et al.⁶⁹.

El estudio de Fleerkotte et al.²⁸ fue el único que realizó el programa de entrenamiento con un ER controlado por impedancia, y afirmaron que su uso aumenta la participación activa y la variabilidad paso a paso.

En cuanto a la extensión de los programas, la misma ha sido variada. Aquellos con mayor duración fueron los realizados por Gorgey et al.⁴¹, Delgado et al.⁶⁸ y Tsai et al.⁶⁹ que alcanzaron las catorce semanas. Cuatro estudios, Grasmücke et al.⁸, Jansen et al.³⁶, Aach et al.³⁸ y Kozlowski et al.⁶⁷ se llevaron a cabo durante doce semanas, y el resto entre tres y ocho semanas.

Acerca del método de intervención, la mayoría de los programas se ejecutaron con un solo grupo destinado al entrenamiento con ER, excepto cuatro de ellos en los cuales se realizó la comparación con un grupo control tratado con kinesiología convencional; estos fueron los estudios de Chang et al.²³, Yildirim et al.³⁷, Shin et al.³⁹ y Tsai et al.⁶⁹.

Aach et al.³⁸ hallaron que un paciente cambió de grado AIS B a C, luego de doce semanas de entrenamiento con ER.

El ensayo de Benson et al.³³, fue el único en incorporar como parte del entrenamiento el ascenso y descenso por escaleras, conformado por un tramo de once escalones de 17 centímetros de altura cada uno de ellos. A su vez, las/los participantes debían caminar por un circuito de 23,5 metros, que presentaba una inclinación de 8° y cuatro giros de 90°. De los cinco pacientes que conformaron el estudio, cuatro de ellos lograron subir y bajar las escaleras, como así también, pudieron completar el trayecto. Las/los autoras/es hallaron que estos participantes mejoraron la velocidad de la marcha y fueron más rápidos para pararse, rotar y sentarse al final del programa.

Todos los estudios reportaron mejoras en las mediciones evaluadas. Sin embargo, se encontraron diferencias entre ellas, que pueden deberse al tiempo de evolución de la patología, al nivel y al grado de extensión de la LM de la población que conformaba la muestra, como así también a la frecuencia y duración del entrenamiento.

Entre las mediciones más relevantes al inicio y al final del entrenamiento, se destacan:

Grasmücke et al.⁸ informaron un aumento significativo de la distancia media recorrida en 6MWT de 97,81 metros a 146,34 metros. En tanto que para Jansen et al.³⁶, fue de 90,81 metros a 118,71 metros, y para Tefertiller et al.³⁵, de 92,0 metros a 107,5 metros.

Se hallaron diferencias similares en la mejora del tiempo medio de la prueba TUG. Las mismas fueron: Chang et al.²³ de 71 segundos a 55 segundos; Jansen et al.³⁶ de $53,29 \pm 6,84$ segundos a $38,75 \pm 5,70$ segundos; Tefertiller et al.³⁵ de 102,1 segundos a 83,6 segundos; Aach et al.³⁸ de $55,34 \pm 32,2$ segundos a $38,18 \pm 25,98$ segundos.

Con respecto a las mejoras en la puntuación LEMS después de la intervención, fueron informadas por Shin et al.³⁹ con un aumento medio de 31 a 37, Gil-Agudo et al.⁶⁵ de 25,25 a 33,5 y Aach et al.³⁸ de $21,75 \pm 8,3$ a $24,38 \pm 7,6$. Los autores Seungwon et al.²¹ afirman que LEMS es el factor más importante en la predicción de la capacidad de la marcha en las/los pacientes con SCI, y sostienen que puntajes mayores o iguales a 23 pueden predecir un progreso en la velocidad de la marcha.

Por último, las mejoras en el índice WISCI II se corresponden con una mayor capacidad para caminar y con una menor dependencia de los dispositivos de ayuda para la marcha. Se hallaron los siguientes puntajes entre el comienzo y la finalización de los entrenamientos con ER: de 5,0 a 9,0 en Yildirim et al.³⁷, de 9,25 a 14,25 en Gil-Agudo et al.⁶⁵, de 10,7 a 11,7 en Jansen et al.³⁶, de 9,35 a 11,04 en Grasmücke et al.⁸ y de 5,7 a 10,2 en Seungwon et al.²¹.

Cuadro 4: Características de los estudios incluidos en la revisión.

Artículo	Objetivos	Participantes	Evolución	n=	Dispositivo	Dosificación	Duración (semanas)	Medidas de resultado
Grasmücke et al. ⁸	Examinar los resultados en función de la edad y el nivel de lesión en pacientes con LM	Lesión completa e incompleta	< 6 meses > 6 meses	55	Estacionario en cinta rodante	5 sesiones de 90 min/semana	12	6MWT 10MWT WISCI II
Seungwon et al. ²¹	Evaluar las características clínicas que podrían servir como factores predictivos de mejora en la velocidad de la marcha tras el tratamiento con ER	Lesión incompleta	< 6 meses > 6 meses	29	Estacionario en cinta rodante	5 sesiones de 30 min/semana	4	10MWT WISCI II LEMS
Chang et al. ²³	Evaluar la confiabilidad y la eficacia potencial del tratamiento con ER y kinesiología convencional	Lesión completa e incompleta	> 6 meses	9	Portátil sobre suelo	5 sesiones de 60 min/semana	3	6MWT 10MWT TUG
Fleerkotte et al. ²⁸	Evaluar la viabilidad y el efecto de un protocolo de entrenamiento con ER controlado por impedancia	Lesión incompleta	> 6 meses	12	Estacionario en cinta rodante, controlado por impedancia	3 sesiones de 60 min/semana	8	6MWT 10MWT WISCI II TUG LEMS
Benson et al. ³³	Evaluar la viabilidad de realizar un ensayo que evalúe los efectos neurológicos y funcionales del uso de ER en personas con LM crónica	Lesión completa e incompleta	> 6 meses	5	Portátil sobre suelo	2 sesiones de 120 min/semana	10	6MWT 10MWT TUG
Tefertiller et al. ³⁵	Evaluar los resultados de seguridad y movilidad con el uso de ER en interiores y exteriores	Lesión completa e incompleta	< 6 meses > 6 meses	32	Portátil sobre suelo	3 sesiones de 60 min/semana	8	6MWT 10MWT TUG
Jansen et al. ³⁶	Investigar si el entrenamiento en cinta rodante apoyado con ER podría mejorar la movilidad funcional en pacientes con LM crónica	Lesión completa e incompleta	> 6 meses	21	Estacionario en cinta rodante	5 sesiones de 90 min/semana	12	6MWT 10MWT WISCI II TUG
Yıldırım et al. ³⁷	Determinar los efectos del entrenamiento de la marcha asistido por ER sobre la deambulaci3n y la capacidad funcional en pacientes con LM	Lesión completa e incompleta	< 6 meses > 6 meses	88	Estacionario en cinta rodante	2 sesiones de 30 min/semana	8	WISCI II

Cuadro 4 (continuación): Características de los estudios incluidos en la revisión.

Artículo	Objetivos	Participantes	Evolución	n=	Dispositivo	Dosificación	Duración (semanas)	Medidas de resultado
Aach et al. ³⁸	Determinar si el entrenamiento locomotor con ER es seguro de usar y puede aumentar la movilidad funcional en pacientes con LM crónica	Lesión completa e incompleta	> 6 meses	8	Estacionario en cinta rodante	5 sesiones de 60 min/semana	12	6MWT 10MWT WISCI II TUG LEMS
Shin et al. ³⁹	Determinar el efecto del entrenamiento de la marcha asistido por ER en comparación con el tratamiento convencional en superficie	Lesión completa e incompleta	< 6 meses > 6 meses	70	Estacionario en cinta rodante	3 sesiones de 40 min/semana	4	WISCI II LEMS
Baunsgaard et al. ⁴⁰	Evaluar la viabilidad, las características de entrenamiento y los cambios en la función de la marcha para personas con LM mediante el uso de ER	Lesión completa e incompleta	< 6 meses > 6 meses	52	Portátil sobre suelo	3 sesiones de 60 min/semana	8	10MWT WISCI II TUG LEMS
Gorgey et al. ⁴¹	Determinar si el uso de ER puede mejorar los parámetros de actividad física determinados por el tiempo de caminata, el tiempo de pie y la cantidad de pasos en personas con LM	Lesión completa e incompleta	< 6 meses > 6 meses	4	Portátil sobre suelo	1 sesión de 60 min/semana	14	6MWT 10MWT WISCI II
Gil-Agudo et al. ⁶⁵	Valorar la aplicabilidad en un entorno clínico de ER en la rehabilitación de la marcha de personas con LMI	Lesión incompleta	< 6 meses > 6 meses	4	Portátil sobre suelo	3 sesiones de 60 min/semana	5	6MWT 10MWT WISCI II TUG LEMS
Kozlowski et al. ⁶⁷	Cuantificar el tiempo y esfuerzo que requieren las personas con LM para aprender a utilizar un ER	Lesión completa e incompleta	< 6 meses > 6 meses	7	Portátil sobre suelo	3 sesiones de 120 min/semana	12	6MWT 10MWT
Delgado et al. ⁶⁸	Comprender la seguridad y la viabilidad de emplear ER en casos agudos de LM	Lesión completa e incompleta	< 6 meses	12	Portátil sobre suelo	3 sesiones de 90 min/semana	14	6MWT
Tsai et al. ⁶⁹	Explorar los efectos potenciales de incorporar la marcha asistida por ER en pacientes con LM	Lesión completa e incompleta	< 6 meses > 6 meses	10	Portátil sobre suelo	3 sesiones de 60 min/semana	14	LEMS

VIII. CONCLUSIÓN

La evolución en biotecnología ha permitido la reciente incorporación de los ER como parte de una terapia innovadora en la Rehabilitación de las personas con SCI, con resultados prometedores vinculados con la locomoción vertical.

De acuerdo al análisis de la revisión bibliográfica realizada, se puede señalar que el entrenamiento de la marcha asistida con ER en las/los pacientes con LMI evidenció mejoras significativas en cuanto a la distancia recorrida, la fuerza muscular y el nivel funcional de movilidad articular e independencia en las AVD, de forma tal que puede potenciar la recuperación de la función motora de los miembros inferiores.

Con base en los resultados clínicos obtenidos en los estudios revisados, también se puede afirmar que el tratamiento con ER permite un estilo de vida activo y, por consiguiente, la reducción de las comorbilidades asociadas a la inactividad y, al mismo tiempo, una mejora en la espasticidad y en la disminución del dolor crónico, que son manifestaciones características en quienes padecen este tipo de lesión.

Asimismo, se ha demostrado que los dispositivos robóticos permiten la deambulaci3n con un patr3n de marcha que se asemeja al fisiol3gico y reducen el grado de asistencia por parte de las/los Kinesiólogas/os. También posibilitan la evaluaci3n del progreso de la marcha de manera precisa y objetiva, y cabe destacar que no se han encontrado reacciones adversas de gravedad por el uso de los mismos.

Se puede concluir que la ejecuci3n repetida del gesto motor, el aumento de la intensidad en la actividad y la duraci3n del entrenamiento, son algunas de las características más importantes halladas en este tipo de intervenci3n, lo cual, basado en el concepto del aprendizaje motor, podría fomentar la neuroplasticidad en estos pacientes.

Sin embargo, no existe hasta el momento un consenso en cuanto a la frecuencia y a la duraci3n de las sesiones, como así tampoco hay conocimiento respecto de si el grado y el nivel de la LM, y/o el tiempo de evoluci3n de la patología, son factores determinantes en los efectos de la Rehabilitaci3n de la marcha con ER.

Por lo antes mencionado, la hipótesis planteada en este trabajo de investigaci3n se confirma parcialmente y se concluye que la terapia asistida por ER no reemplaza al

tratamiento convencional, sino que debe ser considerada como un abordaje terapéutico complementario en la recuperación de la marcha en las/los pacientes con SCI.

Se proponen como continuación de esta producción escrita, futuras investigaciones sobre estudios con tamaños de muestra más grande, en los cuales se revise la efectividad de la Rehabilitación con ER, se abarquen las diversas poblaciones con SCI, se incorporen las mediciones espacio-temporales y cinemáticas, y se puedan diseñar protocolos más apropiados para el entrenamiento de la marcha.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1- Henao-Lema C, Pérez-Parra J. Lesiones medulares y discapacidad: revisión bibliográfica. Agosto de 2010 [citado 18 de octubre de 2020]; 10(2). Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3306005.pdf>
- 2- Huete García A, Díaz Velázquez E. Análisis sobre la lesión medular en España. 2012 [citado 18 de octubre de 2020]. Disponible en: https://www.aspaym.org/pdf/publicaciones/LM_Aspaym_Media.pdf
- 3- Organización Mundial de la Salud. Lesiones Medulares. 19 de noviembre de 2013 [citado 18 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/spinal-cord-injury>
- 4- Lukersmith S. International Perspectives on Spinal Cord Injury. 2013 [citado 18 de octubre de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/259496836_International_Perspectives_on_Spinal_Cord_Injury
- 5- Organización Mundial de la Salud. Atención médica y rehabilitación. 2018 [citado 15 de noviembre de 2020]. Disponible en: <http://www.who.int/disabilities/care/es/>
- 6- Louie DR, Eng JJ, Lam T. Gait speed using powered robotic exoskeletons after spinal cord injury: a systematic review and correlational study. *J NeuroEngineering Rehabil*. 14 de octubre de 2015;12:82 [citado 21 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4604762/>
- 7- Swank C, Trammell M, Bennett M, Ochoa C, Callender L, Sikka S, et al. The utilization of an overground robotic exoskeleton for gait training during inpatient rehabilitation-single-center retrospective findings. *Int J Rehabil Res*. Septiembre de 2020;43(3):206-213 [citado 21 de octubre de 2020]. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32282573>
- 8- 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 [citado 21 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28463613/>

- 9- Costăchescu B, Niculescu A, Dabija M, Teleanu R, Grumezescu A, Eva L. Novel Strategies for Spinal Cord Regeneration. *Int J Mol Sci*. Abril de 2022;23(9):4552 [citado 23 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35562941/>
- 10- Rupp R, Biering-Sørensen F, Burns S, Graves D, Guest J, Jones L, et al. International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury: Revised 2019. *Top Spinal Cord Inj Rehabil*. 2021;27(2):1-22 [citado 24 de marzo de 2022]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34108832/>
- 11- Holanda L, Silva P, Amorim T, Lacerda M, Simão C, Morya E. Robotic assisted gait as a tool for rehabilitation of individuals with spinal cord injury: a systematic review. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2017;14(1):126 [citado 10 de enero de 2022]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29202845/>
- 12- Nas K, Yazmalar L, Şah V, Aydın A, Öneş K. Rehabilitation of spinal cord injuries. *World Journal of Orthopedics*. 2015;6(1):8-16 [citado 5 de noviembre 2021]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25621206/>
- 13- Anjum A, Da'in Yazid M, Fauzi Daud M, Idris J, Min Hwei A, Selvi Naicker A, et al. Spinal Cord Injury: Pathophysiology, Multimolecular Interactions, and Underlying Recovery Mechanisms. *Int J Mol Sci*. Octubre de 2020;21(20):7533 [citado 29 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33066029/>
- 14- Rabinstein A. Traumatic Spinal Cord Injury. *American Academy of Neurology*. 2018;24(2):551-566 [citado 11 de agosto de 2021]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29613899/>
- 15- Selassie A, Cao Y, Saunders L. Epidemiology of Traumatic Spinal Cord Injury Among Persons Older Than 21 Years: A Population Based Study in South Carolina, 1998-2012. *Top Spinal Cord Inj Rehabil*. 2015; 21(4):333-344 [citado 18 de marzo de 2022]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26689698/>
- 16- New P, Guilcher S, Jaglal S, Biering-Sorensen F, Noonan V, Ho C. Trends, Challenges, and Opportunities Regarding Research in Non-traumatic Spinal Cord Dysfunction. *Top Spinal Cord Inj Rehabil*. 2017;23(4):313-323 [citado 23 de marzo de 2022]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5667428/>

- 17- Vázquez R, Velasco M, Fariña M, Marqués A, Salvador de la Barrera S. Update on traumatic acute spinal cord injury. Part 1. *Med Intensiva*. 2017;41(4):237-247 [citado 15 de agosto de 2021]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28161028/>
- 18- Lee B, Cripps RA, Fitzharris M, Wing PC. The global map for traumatic spinal cord injury epidemiology: update 2011, global incidence rate. *Spinal Cord*. 2014;52(2):110-116 [citado 20 de agosto de 2021]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23439068/>
- 19- Eckert M, Martin M. Trauma: Spinal Cord Injury. *Surg Clin N Am*. 2017;97(5):1031-1045 [citado 25 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28958356/>
- 20- Harvey L. Physiotherapy rehabilitation for people with spinal cord injuries. *Journal of Physiotherapy*. 2016;62(1):4-11 [citado 11 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26701156/>
- 21- Seungwon Hwang, Hye-Ri Kim, Zee-AHan, Bum-Suk Lee, Soojeong Kim, Hyunsoo Shin, et al. Improved Gait Speed After Robot-Assisted Gait Training in Patients With Motor Incomplete Spinal Cord Injury: A Preliminary Study. *Annals of Rehabilitation Medicine*. 2017;41(1):34-41 [citado 15 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28289633/>
- 22- Musselman K, Shah M, Zariffa J. Rehabilitation technologies and interventions for individuals with spinal cord injury: translational potential of current trends. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2018;15(1):40 [citado 15 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29769082/>
- 23- Chang S, Afzal T, Berliner J, Francisco G, et al. Exoskeleton-assisted gait training to improve gait in individuals with spinal cord injury: a pilot randomized study. *Pilot Feasibility Stud*. 2018;4:62 [citado 9 de enero de 2022]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29556414/>
- 24- Morawietz C, Moffat F. Effects of Locomotor Training After Incomplete Spinal Cord Injury: A Systematic Review. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2013;94(11):2297-2308 [citado 20 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23850614/>

- 25- Calabró R, Manuli A, Leo A, Milardi D, Bramanti P, Cacciola A, et al. Robotic gait rehabilitation and substitution devices in neurological disorders: where are we now? *Neurol Sci.* 2016;37:503-514 [citado 22 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26781943/>
- 26- Quel de Oliveira C, Refshauge K, Middleton J, De Jong L, Davis G. Effects of Activity-Based Therapy Interventions on Mobility, Independence, and Quality of Life for People with Spinal Cord Injuries: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Neurotrauma.* 2017;34(9):1726-1743 [citado 22 de marzo de 2022]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27809702/>
- 27- Frasuńska J, Wojdasiewicz P, Tederko P, Wasiak K, Tarnacka B. Adherence to prescriptions of therapeutic exercises in patients with traumatic spinal cord injury. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine.* 2021;28(2):331-338 [citado 25 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34184519/>
- 28- Fleerkotte B, Koopman B, Buurke J, Van Asseldonk E, Van der Kooij H, Rietman J. The effect of impedance-controlled robotic gait training on walking ability and quality in individuals with chronic incomplete spinal cord injury: an explorative study. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation.* 2014;11:26 [citado 11 de enero de 2022]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24594284/>
- 29- Miller L, Zimmermann A, Herbert W. Clinical effectiveness and safety of powered exoskeleton-assisted walking in patients with spinal cord injury: systematic review with meta-analysis. *Medical Devices: Evidence and Research.* 2016;9:455-466 [citado 6 de enero de 2022]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27042146/>
- 30- Sale P, Russo EF, Scarton A, Calabro RS, Masiero S, Filoni S. Training for mobility with exoskeleton robot in Person with Spinal Cord Injury: A pilot study. *Eur J Phys Rehabil Med.* 2018;54(5):745-51 [citado 10 de enero de 2022]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29517187/>
- 31- Tóth L, Bors V, Pallag A, Pinczker V, Dóczy T, Cserhádi P, et al. Rehabilitation of traumatic spinal cord injury with lower limb exoskeleton. *Orv Hetil.* 2020;161(29):1200-1207 [citado 8 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32628619/>

- 32- Heinemann A, Jayaraman A, Mummidisetty C, Spraggins J, Pinto D, Charlifue S, et al. Experience of Robotic Exoskeleton Use at Four Spinal Cord Injury Model Systems Centers. *Academy of Neurologic Physical Therapy, APTA*. 2018;42(4):256-267 [citado 2 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30199518/>
- 33- Benson I, Hart K, Tussler D, Van Middendorp J. Lower-limb exoskeletons for individuals with chronic spinal cord injury: Findings from a feasibility study. *Clinical Rehabilitation*. 2016;30(1):73-84 [citado 14 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25761635/>
- 34- 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. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*. 2015;(11):535-547 [citado 20 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26340538/>
- 35- Tefertiller C, Hays K, Jones J, Jayaraman A, Hartigan C, Bushnik T, et al. Initial Outcomes from a Multicenter Study Utilizing the Indego Powered Exoskeleton in Spinal Cord Injury. *Top Spinal Cord Inj Rehabil*. 2018;24(1):78-85 [citado 11 de diciembre de 2021]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29434463/>
- 36- Jansen O, Grasmuecke D, Meindl R, 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;110:73-78 [citado 19 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29081392/>
- 37- Yıldırım M, Öneş K, Gökşenoğlu G. Early term effects of robotic assisted gait training on ambulation and functional capacity in patients with spinal cord injury. *Turk J Med Sci*. 18 de junio de 2019;49(3):838-843 [citado 21 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31134784/>
- 38- Aach M, Cruciger O, Sczesny-Kaiser M, Höffken O, Meindl R, Tegenthoff M, et al. Voluntary driven exoskeleton as a new tool for rehabilitation in chronic spinal cord injury: a pilot study. *The Spine Journal*. 2014;14(12):2847-53 [citado 30 de junio de 2022]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24704677/>

- 39- Cheol Shin J, Yong Kim J, Kyul Park H, Young Kim N. Effect of robotic-assisted gait training in patients with incomplete spinal cord injury. *Annals of Rehabilitation Medicine*. 2014;38(6):719-25 [citado 18 de julio de 2022]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25566469/>
- 40- Baunsgaard C, Nissen U, Brust A, Frotzler A, Ribeill C, Kalke Y, et al. Gait training after spinal cord injury: safety, feasibility and gait function following 8 weeks of training with the exoskeletons from Ekso Bionics. *Spinal Cord*. 2018;56(2):106-116 [citado 4 de julio de 2022]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29105657/>
- 41- Gorgey A, Wade R, Sumrell R, Villadelgado L, Khalil R, Lavis T. Exoskeleton Training May Improve Level of Physical Activity After Spinal Cord Injury: A Case Series. *Top Spinal Cord Inj Rehabil*. 2017;23(3):245-255 [citado 22 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29339900/>
- 42- Ki Yeun N, Hyun Jung K, Bum Sun K, Jin-Woo P, Ho Jun L, Aeri Y. Robot-assisted gait training (Lokomat) improves walking function and activity in people with spinal cord injury: a systematic review. *J Neuroeng Rehabil*. 2017;14(1):24 [citado 10 de abril de 2022]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28330471/>
- 43- Sadeghi Fazel F, Derakhshanrad N, Yekaninejad M, Vosoughi F, Derakhshanrad A, Saberi H. Predictive Value of Braden Risk Factors in Pressure Ulcers of Outpatients With Spinal Cord Injury. *Acta Med Iran*. 2018;56(1):56-61 [citado 13 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29436796/>
- 44- Schwartz K, Henzel K, Richmond M, Zindle J, Seton J, Lemmer D, et al. Biomarkers for recurrent pressure injury risk in persons with spinal cord injury. *J Spinal Cord Med*. 2020;43(5):696-703 [citado 9 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31490098/>
- 45- Chen H, Cai J, Du L, Shen H, Yu H, Song Y, et al. Incidence of Pressure Injury in Individuals With Spinal Cord Injury: A Systematic Review and Meta-analysis. *J Wound Ostomy Continence Nurs*. 2020;47(3):215-223 [citado 11 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32384524/>

- 46- Shiferaw W, Akalu T, Mulugeta H, Aynalem Y. The global burden of pressure ulcers among patients with spinal cord injury: a systematic review and meta-analysis. *BMC Musculoskelet Disord.* 2020;29;21(1):334 [citado 15 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32471497/>
- 47- Flett H, Delparte J, Scovil C, Higgins J, Laramée M, Burns A. Determining Pressure Injury Risk on Admission to Inpatient Spinal Cord Injury Rehabilitation: A Comparison of the FIM, Spinal Cord Injury Pressure Ulcer Scale, and Braden Scale. *Arch Phys Med Rehabil.* 2019;100(10):1881-1887 [citado 22 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31054293/>
- 48- Bethel M, Weaver F, Bailey L, Miskevics S, Svircev J, Burns S, et al. Risk factors for osteoporotic fractures in persons with spinal cord injuries and disorders. *Osteoporos Int.* 2016;27(10):3011-21 [citado 1 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27230522/>
- 49- Yarar-Fisher C, Heyn P, Zanca J, Charlifue S, Hsieh J, Brienza D. Early Identification of Cardiovascular Diseases in People With Spinal Cord Injury: Key Information for Primary Care Providers. *Arch Phys Med Rehabil.* 2017;98(6):1277-1279 [citado 22 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28185637/>
- 50- Gater D. Point: Counterpoint synopsis of cardiometabolic risk after spinal cord injury. *Spinal Cord Series and Cases.* 2019;27;5:98 [citado 3 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31798973/>
- 51- Hill M, Jörgensen S, Engström G, Persson M, Lexell J. The Swedish Spinal Cord Injury Study on Cardiopulmonary and Autonomic Impairment: Methodology, Cohort Demographics, and Initial Results. *Am J Phys Med Rehabil.* 2020;99(6):522-531 [citado 11 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32167960/>
- 52- Dorton M, Lucci V, De Groot S, Loughin T, Cragg J, Kramer J, et al. Evaluation of cardiovascular disease risk in individuals with chronic spinal cord injury. *Spinal Cord.* 2021;59(7):716-729 [citado 14 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33070157/>

- 53- Miyatani M, Alavinia M, Szeto M, Moore C, Craven C. Association between abnormal arterial stiffness and cardiovascular risk factors in people with chronic spinal cord injury. *Eur J Prev Cardiol.* 2017;24(5):552-558 [citado 6 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28117618/>
- 54- Itodo O, Flueck J, Raguindin P, Stojic S, Brach M, Perret C, et al. Physical activity and cardiometabolic risk factors in individuals with spinal cord injury: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Epidemiol.* 2022;37(4):335-365 [citado 7 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35391647/>
- 55- DiGiorgio A, Tsolinas R, Alazzeah M, Haefeli J, Talbott J, Ferguson A, et al. Safety and effectiveness of early chemical deep venous thrombosis prophylaxis after spinal cord injury: pilot prospective data. *Neurosurg Focus.* 2017;43(5):E21 [citado 28 de agosto de 2022]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29088948/>
- 56- Eichinger S, Eischer L, Sinkovec H, Wittgruber G, Traby L, Kammer M, et al. Risk of venous thromboembolism during rehabilitation of patients with spinal cord injury. *PLoS One.* 2018;13(3):e0193735 [citado 17 de agosto de 2022]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29590126/>
- 57- Yielin K, Mi H, Kyungmin D, Hye J, Jin J, Mi K, et al. Incidence and risk factors of urinary tract infections in hospitalised patients with spinal cord injury. *J Clin Nurs.* 2021;30(13-14):2068-2078 [citado 10 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33829566/>
- 58- Pollock K, Dorstyn D, Butt L, Prentice S. Posttraumatic stress following spinal cord injury: a systematic review of risk and vulnerability factors. *Spinal Cord.* 2017;55(9):800-811 [citado 28 de agosto de 2022]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28485385/>
- 59- Di Prinzio M, Argento F, Barbalaco L, Cazorro M, Pereyra A, Sánchez Correa C, et al. Risk factors for the development and recurrence of pressure ulcers in patients with spinal cord injury: A systematic review. *Revista de la Facultad de Ciencias Médicas de Córdoba.* 2019;76(4):242-256 [citado 15 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31833749/>

- 60- Marion T, Rivers C, Kurban D, Cheng C, Fallah N, Batke J, et al. Previously Identified Common Post-Injury Adverse Events in Traumatic Spinal Cord Injury- Validation of Existing Literature and Relation to Selected Potentially Modifiable Comorbidities: A Prospective Canadian Cohort Study. *J Neurotrauma*. 2017;34(20):2883-2891 [citado 2 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28562167/>
- 61- Gagnon D, Vermette M, Duclos C, Aubertin-Leheudre M, Ahmed S, Kairy D. Satisfaction and perceptions of long-term manual wheelchair users with a spinal cord injury upon completion of a locomotor training program with an overground robotic exoskeleton. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*. 2017;14(2):138-145 [citado 13 de julio de 2022]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29256640/>
- 62- Mekki M, Delgado A, Fry A, Putrino D, Huang V. Robotic Rehabilitation and Spinal Cord Injury: a Narrative Review. *Neurotherapeutics*. 2018;15(3):604-617 [citado 20 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29987763/>
- 63- Tamburella F, Lorusso M, Tramontano M, Fadlun S, Masciullo M, Scivoletto G. Overground robotic training effects on walking and secondary health conditions in individuals with spinal cord injury: systematic review. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2022;19(1):27 [citado 11 de agosto de 2022]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35292044/>
- 64- Xiali X, Xinwei Y, Huan T, Wanna L, Dezhi K, Zhonghe F, et al. The improvement of the lower limb exoskeletons on the gait of patients with spinal cord injury: A protocol for systematic review and meta-analysis. *Medicine*. 2022;101(4) [citado 29 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35089234/>
- 65- Gil-Agudo A, Del Ama-Espinosa A, Lozano-Berrio V, Fernández-López A, García-Carpintero A, Benito-Penalva J, et al. Robot therapy with the H2 exoskeleton for gait rehabilitation in patients with incomplete spinal cord injury. A clinical experience. *Sociedad Española de Rehabilitación y Medicina Física*. 2020;54(2):87-95 [citado 20 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32370833/>

66- Hayes S, James Wilcox C, Forbes White H, Vanicek N. The effects of robot assisted gait training on temporal-spatial characteristics of people with spinal cord injuries: A systematic review. *The Journal of Spinal Cord Medicine*. 2018;41(5):529-543 [citado 17 de febrero de 2022]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29400988/>

67- Kozlowski A, Bryce T, Dijkers M. Time and Effort Required by Persons with Spinal Cord Injury to Learn to Use a Powered Exoskeleton for Assisted Walking. *Top Spinal Cord Inj Rehabil*. 2015;21(2):110-21 [citado 13 de marzo de 2022]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26364280/>

68- Delgado A, Escalon M, Bryce T, Weinrauch W, Suarez S, Kozlowski S. Safety and feasibility of exoskeleton-assisted walking during acute/sub-acute SCI in an inpatient rehabilitation facility: A single-group preliminary study. *The Journal of Spinal Cord Medicine*. 2020;43(5):657-666 [citado 12 de diciembre de 2021]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31603395/>

69- Tsai C, Delgado A, Weinrauch W, Manente N, Levy I, Escalon M, et al. Exoskeletal-Assisted Walking During Acute Inpatient Rehabilitation Leads to Motor and Functional Improvement in Persons With Spinal Cord Injury: A Pilot Study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2020;101(4):607-612 [citado 26 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31891715/>

70- Pinto D, Garnier M, Barbas J, Chang S, Charlifue S, Field-Fote E, et al. Budget impact analysis of robotic exoskeleton use for locomotor training following spinal cord injury in four SCI Model Systems. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2020;17(1):4 [citado 12 de junio de 2021]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31924224/>

71- Gorgey A, Holman M. The future of SCI rehabilitation: Understanding the impact of exoskeletons on gait mechanics. *The Journal of Spinal Cord Medicine*. 2018;41(5):544-546 [citado 23 de julio 2020]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29869976/>



X. ANEXOS.

Anexo I.

Clasificación de ASIA

NORMAS INTERNACIONALES PARA LA CLASIFICACIÓN NEUROLÓGICA DE LESIÓN DE LA MÚDULA ESPINAL (ISNCSCI)

Nombre del Paciente: _____ Fecha/Hora del Examen: _____

Nombre Examinador: _____ Firma: _____

DERECHO

MOTOR

MÚSCULOS CLAVE

C5 Flexores del codo
C6 Extensores de muñeca
C7 Extensores de codo
C8 Flexores de los dedos de la mano
T1 Abductores del dedo meñique

ESD (Extremidad Superior Derecha)

EID (Extremidad Inferior Derecha)

CAV Contracción Anal Voluntaria (SI/No)

PARCIALES MOTORES

ESD +ESI =RMES TOTAL

MUX (25) (25) (50)

PARCIALES SENSITIVOS

TFD +TFI =TF TOTAL

MAX (56) (56) (112)

Puntos Sensitivos Clave

IZQUIERDO

MOTOR

MÚSCULOS CLAVE

C5 Flexores del codo
C6 Extensores de muñeca
C7 Extensores de codo
C8 Flexores de los dedos de la mano
T1 Abductores del dedo meñique

ESI (Extremidad Superior Izquierda)

EII (Extremidad Inferior Izquierda)

PAP Presión Anal Profunda (SI/No)

PARCIALES MOTORES

ESI +EII =RMEI TOTAL

MUX (25) (25) (50)

PARCIALES SENSITIVOS

PPD +PPI =PP TOTAL

MAX (56) (56) (112)

NIVELES NEUROLÓGICOS

1. SENSITIVO D I

2. MOTOR D I

3. NIVEL NEUROLÓGICO DE LA LESIÓN (NLL)

4. COMPLETA O INCOMPLETA?

5. ESCALA DEFICIENCIA DE ASIA (AIS)

6. ZONA DE PRESERVACIÓN PARCIAL

7. MOTOR D I

Este formulario puede ser copiado libremente pero no puede ser alterado sin permiso de la American Spinal Injury Association. REV 04/19

Graduación Función Motora

0 = Parálisis total
1 = Contracción visible o palpable
2 = Movimiento activo, rango de movimiento (ROM) completo con eliminación de gravedad
3 = Movimiento activo, ROM completo contra la gravedad
4 = Movimiento activo, ROM contra resistencia moderada en una posición muscular específica
5 = (Normal) movimiento activo, ROM completo contra resistencia total en una posición muscular específica suspendida en una persona sin deficiencia alguna

NE: No examinable (por inmovilización, dolor intenso tal que impide calificar al paciente, amputación de una extremidad, o contractura de más del 50% del ROM)

0*, 1*, 2*, 3*, 4*, 5* = Condición no relacionada con una LME presente*

Escala de Deficiencia de ASIA (AIS)

A = Completa. No hay preservación de función motora ni sensitiva en los segmentos sacros S4-5.

B = Sensitiva Incompleta. Hay preservación de la función sensitiva pero no de la motora en los segmentos sacros más distales S4-5 (tacto fino o pinchazo en S4-5 o presión anal profunda), y no hay preservación de función motora en más de tres niveles por debajo del nivel motor en uno u otro lado del cuerpo.

C = Motora Incompleta. Se preserva la función motora en los segmentos sacros más caudales durante la contracción anal voluntaria (CAV) O el paciente cumple con los criterios de lesión sensitiva incompleta (función sensitiva preservada en los segmentos sacros S4-5 al examinar TF, PP o PAP), con presencia de función motora en más de tres segmentos por debajo del nivel motor ipsilateral en cualquiera de los lados del cuerpo. (Esto incluye funciones de músculos clave o no-clave en más de tres segmentos por debajo del nivel motor para determinar el estado motor incompleto). Para AIS C – menos de la mitad de las funciones de músculo clave por debajo del NLL. Único tienen una clasificación de ≥ mayor o igual que 3.

D = Motora Incompleta. El estado motor incompleto tal y como fue definido arriba, con al menos la mitad (la mitad o más) de la función de los músculos clave por debajo del NLL con una clasificación de músculo mayor o igual a ≥ 3.

E = Normal. Si la sensibilidad y la función motora que se examinan con el ISNCSCI se clasifican como normales en todos los segmentos, y el paciente tiene déficits previos, entonces la clasificación AIS es E. Algunos sin LME inicial no recibe grado AIS.

Usando NE: Para documentar los niveles sensitivo, motor, y el NLL, el grado de Deficiencia de ASIA (AIS), y la zona de preservación parcial (ZPP) cuando resulta imposible determinarlos basados en los resultados del examen.

Pasos en la Clasificación

El siguiente orden es el recomendado para determinar la clasificación en individuos con LME:

- Determinar el nivel sensitivo para el lado derecho e izquierdo**
El nivel sensitivo es el dermatoma intacto más caudal, tanto para sensación de pinchazo como para tacto fino.
- Determinar el nivel motor para el lado derecho e izquierdo.**
Definido como el músculo más bajo que tiene al menos grado 3 (examinado en posición supina), siempre y cuando las funciones de los músculos clave representados en segmentos arriba de ese nivel se juzguen como intactos (grado 5)

Nota: en regiones en donde no hay dermatoma para examinar, el nivel motor se presume que sea el mismo que el nivel sensitivo, si la función motora por arriba de ese nivel es también normal.

- Determinar el nivel neurológico de la lesión (NLL).**
Esto se refiere al nivel más caudal de la médula con sensibilidad intacta y fuerza en músculos antigravitatorios (3 o más) siempre y cuando la función sensitiva y motora rostralmente es normal (intacta) respectivamente. El NLL es el más caudal de los niveles motor y sensitivo determinados en pasos 1 y 2.
- Determinar si la lesión es Completa o Incompleta.**
(E.e. ausencia o presencia de preservación sacra)
Si la contracción anal voluntaria = No Y todos los resultados sensitivos S4-5 = 0 Y presión anal profunda = No, entonces la lesión es Completa. De otra forma, la lesión es Incompleta.
- Determinar el Grado de la Escala de Deficiencia de ASIA (AIS).**
Es la lesión Completa? si SI, AIS=A

No ↓
Es la lesión Motora Completa? si SI, AIS=B
No ↓
Al menos la mitad (la mitad o más) de los músculos clave por debajo del nivel neurológico de la lesión están en grado 3 o mejor?
No ↓ AIS=C SI ↓ AIS=D

Si la sensibilidad y la función motora son normales en todos los segmentos, AIS = E

Nota: AIS E se usa en exámenes de seguimiento cuando una persona con una LME documentada ha recuperado función normal. Si durante el examen inicial no se encuentra déficit, la persona está neurológicamente intacta y la Escala de Deficiencia de ASIA no aplica.

- Determine la zona de preservación parcial (ZPP).**
La ZPP se usa solo en lesiones con ausencia función motora (no CAV) O función sensitiva (no SAP, no sensibilidad al TF y Pinchazo) en los segmentos sacros más distales S4-5, y se refiere a aquellos dermatomas y miotomas distales a los niveles sensitivo y motor que permanecen parcialmente inervados. Con preservación sacra o función sensitiva, la ZPP sensitiva no es aplicable y por lo tanto "NA" se registra en la casilla de la hoja de trabajo. De igual manera, si CAV está presente, la ZPP no es aplicable y registrada como "NA"

NORMAS INTERNACIONALES PARA LA CLASIFICACIÓN NEUROLÓGICA DE LESIÓN DE LA MÚDULA ESPINAL

Page 2/2

Anexo II.

Lower Extremity Motor Score (LEMS)

Grade	Function of the muscle
5	Normal power
4	Active movement against gravity and resistance
3	Active movement against gravity and resistance
2	Active movement gravity with gravity
1	Only slight movement
0	No movement

MMT: manual muscles testing.

Musculature	Nerve root
Hip flexors	L2
Knee extensors	L3
Ankle dorsiflexors	L4
Toes dorsiflexors and hip extensors	L5
Toes plantarflexors and ankle plantarflexors	S1

Anexo III.

Escala de Ashworth Modificada

Escala de Ashworth Modificada	
0	No hay cambios en la respuesta del músculo en los movimientos de flexión o extensión.
1	Ligero aumento en la respuesta del músculo al movimiento (flexión ó extensión) visible con la palpación o relajación, o solo mínima resistencia al final del arco del movimiento.
1+	Ligero aumento en la resistencia del músculo al movimiento en flexión o extensión seguido de una mínima resistencia en todo el resto del arco de movimiento (menos de la mitad).
2	Notable incremento en la resistencia del músculo durante la mayor parte del arco de movimiento articular, pero la articulación se mueve fácilmente.
3	Marcado incremento en la resistencia del músculo; el movimiento pasivo es difícil en la flexión o extensión.
4	Las partes afectadas están rígidas en flexión o extensión cuando se mueven pasivamente

Anexo IV.

Escala de Braden

<i>Percepción Sensorial</i> Capacidad de respuesta a estímulos dolorosos	1. Limitado completamente	2. Muy limitado	3. Limitado levemente	4. Sin impedimento
<i>Humedad</i> Grado de humedad de piel	1. Constantemente húmeda	2. Muy húmeda	3. Ocasionalmente húmeda	4. Raramente húmeda
<i>Actividad</i> Grado de actividad física	1. Confinado a la cama	2. Confinado a la silla	3. Ocasionalmente camina	4. Camina frecuentemente
<i>Movilidad</i> Control de posición corporal	1. Completamente inmóvil	2. Muy limitada	3. Levemente limitada	4. Sin limitaciones
<i>Nutrición</i> Patrón de ingesta alimentaria	1. Completamente inadecuada	2. Probablemente inadecuada	3. Adecuada	4. Excelente
<i>Fricción y roce</i> Roce de piel con sábanas	1. Presente	2. Potencialmente presente	3. Ausente	

Se considera como riesgo de desarrollar úlceras un puntaje menor o igual a 16.