



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

# TRABAJO DE FIN DE GRADO

---

## GRADO EN FISIOTERAPIA

### **Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad. Revisión bibliográfica**

Efficacy of high-intensity therapeutic exercise in the spinal cord injury patient.

Bibliographical revision

Eficacia no paciente con lesión medular, do exercicio terapéutico de alta intensidade

Revisión bibliográfica



Facultad de Fisioterapia

**Alumna:** Dña. Isabel Rodríguez Sosa

**DNI:** 47.435.811 J

**Tutora:** Dña. M<sup>a</sup>Eugenia Amado Vázquez

**Convocatoria:** Septiembre 202

## ÍNDICE

1. Resumen .....	7
1. Abstract .....	8
1. Resumen .....	9
2. Introducción .....	10
2.1 Tipo de trabajo .....	10
2.2 Motivación personal .....	10
3. Contextualización .....	11
3.1 Antecedentes .....	11
3.1.1 Lesión medular. Etiología y epidemiología .....	11
3.1.1.1 Etiología .....	11
3.1.1.2 Epidemiología .....	11
3.1.2 Fisiopatología .....	12
3.1.3 Clasificación de la LM .....	14
3.1.4 Manifestaciones clínicas y diagnóstico .....	17
3.1.4.1 Manifestaciones clínicas .....	17
3.1.4.2 Diagnóstico .....	21
3.1.5 Tratamiento en LM .....	21
3.1.5.1 Fisioterapia convencional .....	22
3.1.5.2 Ejercicio terapéutico de alta intensidad y LM .....	24
3.2 Justificación del trabajo .....	27
4. Objetivos .....	27
4.1 Pregunta de investigación .....	27
4.2 Objetivos .....	28
4.2.1 General .....	28
4.2.2 Específicos .....	28
5. Metodología .....	28
5.1 Fecha y bases de datos .....	28
5.2 Criterios de selección .....	28
5.2.1 Criterios de inclusión .....	29
5.2.2 Criterios de exclusión .....	29
5.3 Estrategia de búsqueda .....	29
5.4 Gestión de la bibliografía localizada .....	30

5.5. Selección de artículos .....	31
5.6 Variables de estudio .....	31
<b>6. Resultados.....</b>	<b>35</b>
6.1 Tipos de artículos seleccionados .....	35
6.2 Análisis de la muestra y método de intervención.....	35
6.3 Comprobar si es posible alcanzar y mantener rangos de alta intensidad en lesionados medulares.....	39
6.3.1. Calificación de la intensidad: FC y RPE.....	39
6.4 Comprobar que cambios se producen a nivel musculo esquelético .....	40
6.4.1 Fuerza: Máxima contracción voluntaria. ....	40
6.4.2 Reflejos: reflejo rotuliano .....	40
6.5 Comprobar si se producen cambios a nivel de la marcha .....	41
6.5.1 6 minute walk test (6MWT) .....	41
6.5.2 Time up and Go (TUG).....	43
6.5.3 Gait speed (5m walk test).....	43
6.5.4 Velocidad máxima (cinta rodante) .....	43
6.5.5 Promedio velocidades autoseleccionadas (SSS).....	44
6.5.6 Velocidad más rápida posible (FS) .....	44
6.5.7 Variables cinemáticas (Ángulos articulares excursiones articulares, cadencia, coordinación articular , Activación sinérgica muscular, longitud zancada) .....	44
6.5.8 Equilibrio de Berg (BBS).....	49
6.6 Comprobar si se producen cambios a nivel metabolismo.....	50
6.6.1 Captación VO2 máximo.....	50
6.6.2 Cambios BDNF .....	50
<b>7. Discusión .....</b>	<b>51</b>
7.1 Análisis de la muestra y del método de intervención.....	51
7.2 Comprobar si es posible alcanzar y mantener rangos de alta intensidad en lesionados medulares.....	52
7.3 Comprobar qué cambios se producen a nivel músculo-esquelético .....	54
7.3.1. Fuerza: Máxima contracción voluntaria .....	54
7.3.2 Reflejos: reflejo rotuliano .....	54
7.4 Comprobar si se producen cambios a nivel de la marcha .....	55
7.4.1 6 minutos marcha (6MWT) .....	55
7.4.2 Timed up and go (TUG).....	55
7.4.3 Gait Speed ( 5m walk test) .....	55

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

7.4.4 Velocidad máxima ( cinta rodante) .....	55
7.4.5 Promedio velocidades autoseleccionadas (SSS) .....	56
7.4.6 Velocidad más rápida posible (FS) .....	56
7.4.7 Variables cinemáticas (Ángulos articulares excursiones articulares, cadencia, coordinación articular , Activación sinérgica muscular, longitud zancada) .....	56
7.4.8 Equilibrio: Escala de Berg (BBS) .....	57
7.5 Comprobar si se producen cambios a nivel metabólico.....	58
7.5.1 VO2 pico .....	58
7.5.2 BDNF .....	59
7.6 Limitaciones .....	60
7.7 Recomendaciones .....	60
8. Conclusiones .....	62
9. Bibliografía.....	63
10. Anexos.....	69

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Categorías ASIA en función de la severidad de la lesión medular.....	16
Tabla 2: Alteraciones musculares en función del nivel de lesión. ....	17
Tabla 3: Funciones sobre las que actúa el ETAI sobre los lesionados medulares.....	24
Tabla 4: Detalles de la búsqueda.....	29
Tabla 5. Síntesis de las variables de estudio con los test, escalas e instrumentos de medida correspondientes.....	32
Tabla 6: Características de la muestra de los estudios.....	35
Tabla 7: Tipo de estudio, tipo y diseño de la intervención.....	37
Tabla 8: Resultados Bragz et al. para las medidas de la marcha.....	41
Tabla 9: Resultados para las variables de marcha Bisson y Newsam.....	42
Tabla 10: Resultados medidas de la marcha Holleran et al. ....	42
Tabla 11: Resultados variables cinemáticas Leech et al. ....	45
Tabla 12: Resultados Leech et al. sincronización actividad muscular a lo largo del ciclo de la marcha.....	45
Tabla 13: Resultados medidas cinemáticas Holleran et al. ....	46
Tabla 14: Resultados cinemática espacio-temporal y articular Ardestani et al. ....	47

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Imagen 1: Análisis de las sinergias Ardestani et al. ....	49
Imagen 2: Gráfica de los cambios en el porcentaje de BDNF en función de la intensidad, Leech y Hornby. ....	51

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de flujo donde se muestran los resultados iniciales de la búsqueda, resultados tras la aplicación de los filtros y los resultados seleccionados.....	31
---	----

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

## Índice de acrónimos/abreviaturas

---

<b>SNC</b>	Sistema nervioso central
<b>LM</b>	Lesión medular
<b>ETAI</b>	Ejercicio terapéutico de alta intensidad
<b>ET</b>	Ejercicio terapéutico
<b>LMT</b>	Lesión medular traumática
<b>LMNT</b>	Lesión medular no traumática
<b>ASIA</b>	Asociación Americana de Lesiones de la Médula Espinal
<b>ISCoS</b>	Sociedad Internacional de la Médula Espinal
<b>ISNCSCI</b>	Normas internacionales para la clasificación neurológica de las lesiones de la médula espinal
<b>SNA</b>	Sistema nervioso autónomo
<b>TVP</b>	Trombosis venosa profunda
<b>Rx</b>	Radiografía simple
<b>RMN</b>	Resonancia magnética
<b>AVD</b>	Actividades de la vida diaria
<b>FES</b>	Estímulos eléctricos funcionales
<b>FC<sub>máx</sub></b>	Frecuencia cardíaca máxima
<b>FC</b>	Frecuencia cardíaca
<b>RPE</b>	Escala de esfuerzo percibido
<b>TM</b>	Cinta de correr
<b>HIIT</b>	Entrenamiento a intervalos de alta intensidad

---

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

<b>PICO</b>	Paciente, Intervención, Comparación, Resultado (Outcome)
<b>MVC</b>	Máxima contracción voluntaria
<b>6MWT</b>	6 minutos marcha
<b>TUG</b>	Timed up and go
<b>SSS</b>	Promedio velocidades autoseleccionadas
<b>FS</b>	Velocidad más rápida posible
<b>ROM</b>	Rango de movimiento
<b>EMG</b>	Electromiografía
<b>BBS</b>	Escala de equilibrio de Berg

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

## **1. RESUMEN**

### **INTRODUCCIÓN**

La lesión medular tiene un gran impacto sobre la capacidad física debido a una reducción importante en la cantidad de actividad, causando graves problemas de salud, disminución en la participación en las actividades de la vida diaria y calidad de vida de aquellos que la padecen. El ejercicio terapéutico de alta intensidad podría ser una de las herramientas principales de rehabilitación para la recuperación de los lesionados medulares.

### **OBJETIVO**

El objetivo de esta revisión bibliográfica es investigar la evidencia científica disponible sobre la eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

### **MATERIAL Y MÉTODO**

Los artículos empleados para la realización de esta revisión bibliográfica se obtuvieron de diferentes bases de datos de la salud como Cochrane library, PEDro, Scopus, Pubmed y Web of science.

### **RESULTADOS**

Tras aplicar los filtros y los criterios de inclusión y exclusión, se han seleccionado un total de 7 artículos entre los que se incluyen dos estudios de caso, dos ensayos clínicos no controlados, dos ensayos clínicos aleatorios cruzados, y un ensayo clínico aleatorizado.

### **CONCLUSIONES**

Los resultados obtenidos sugieren que el ejercicio terapéutico de alta intensidad produce efectos positivos frente a la lesión medular. Sin embargo, la escasa bibliografía disponible, no respalda la existencia de un adecuado protocolo de aplicación y una eficacia significativa desde la evidencia científica.

### **PALABRAS CLAVE**

Lesión medular, fisioterapia, alta intensidad, ejercicio terapéutico, o entrenamiento locomotor



## **1. ABSTRACT**

### **BACKGROUND**

Spinal cord injury has a great impact on physical capacity due to a significant reduction in the amount of activity, causing serious health problems, decreased participation in activities of daily living and quality of life for those who suffer it. High intensity therapeutic exercise could be one of the main rehabilitation tools for the recovery of spinal cord injuries.

### **OBJETIVE**

The aim of this bibliographical revision is to investigate the available scientific evidence on the efficacy of high-intensity therapeutic exercise in spinal cord injury patients.

### **METHODS**

The articles used for this bibliographical revision were obtained from different health databases such as Cochrane library, PEDro, Scopus, Pubmed and Web of science.

### **OUTCOMES**

After applying the filters and the inclusion and exclusion criteria, a total of 7 articles have been selected including two case studies, two uncontrolled clinical trials, two randomized crossover clinical trials, and one randomized clinical trial.

### **CONCLUSIONS**

The results obtained suggest that high intensity therapeutic exercise produces positive effects against spinal cord injury. However, the limited bibliography available does not support the existence of an adequate application protocol and significant efficacy from scientific evidence.

### **KEYWORDS**

Spinal cord injury, physical therapy, high intensity, therapeutic exercise, or locomotor training

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

## **1. RESUMO**

### **INTRODUCCIÓN**

A lesión medular ten un gran impacto na capacidade física debido a una redución significativa na cantidade de actividade, causando graves problemas de saúde, diminución da participación en actividades da vida diaria e calidade de vida de quen a padece. O exercicio terapéutico de alta intensidade podería ser un dos principais instrumentos de rehabilitación para a recuperación dos lesionados medulares.

### **OBXECTIVO**

O obxectivo desta revisión bibliográfica é investigar a evidencia científica dispoñible sobre a eficacia no paciente con lesión medular, do exercicio terapéutico de alta intensidade.

### **MATERIAL E MÉTODO**

Os artigos empregados para realizar esta revisión bibliográfica obtivéronse de diferentes bases de datos sanitarias como a biblioteca Cochrane, PEDro, Scopus, Pubmed e Web of science.

### **RESULTADOS**

Tras aplicar os filtros e os criterios de inclusión e exclusión, seleccionáronse un total de 7 artigos entre os que se inclúen dous estudos de caso, dous ensaios clínicos non controlados, dous ensaios clínicos aleatorios cruzados, e un ensaio clínico aleatorizado.

### **CONCLUSIÓNS**

Os resultados obtidos suxiren que o exercicio terapéutico de alta intensidade produce efectos positivos fronte a lesión medular. Sin embargo, a escasa bibliografía dispoñible, non respalda a existencia dun adecuado protocolo de aplicación e unha eficacia significativa dende a evidencia científica.

### **PALABRAS CHAVE**

Lesión medular, fisioterapia, alta intensidade, exercicio terapéutico ou adestramento locomotor

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

## **2. INTRODUCCIÓN**

### **2.1 Tipo de trabajo**

Actualmente hay un aumento en la demanda de la neurorrehabilitación como consecuencia de varios factores, entre ellos por ejemplo, la supervivencia a las lesiones del sistema nervioso central (SNC) y una población envejecida.

Una de las características más importantes del SNC es su gran complejidad y posibilidad de deterioro como es en este caso una lesión medular (LM) (1).

Los trastornos de carácter neurológico constituyen la principal causa de discapacidad y la segunda de muerte en todo el mundo. Entre ellos la LM es una fuente importante de discapacidad a nivel global (2).

Aunque los datos procedentes de las tasas de incidencia, prevalencia y mortalidad han disminuido para gran cantidad de países en determinados períodos de tiempo, el número absoluto de personas incapacitadas o afectadas por estas enfermedades ha sufrido un aumento en todo el mundo durante los últimos años.

Por lo que la carga de los trastornos neurológicos, especialmente los no transmisibles está planteando un desafío importante para la sostenibilidad y eficiencia de los sistemas de salud, que deben de estar continuamente planteando el diseño de nuevas pruebas, tratamientos y programas para la prevención de las mismas de mayor efectividad (2).

El tipo de trabajo seleccionado es una revisión bibliográfica, cuyo objetivo es revisar la literatura publicada acerca de la aplicación del ejercicio terapéutico de alta intensidad (ETAI) en adultos con lesión medular incompleta, crónica y comprobar su efectividad.

### **2.2 Motivación personal**

Se realiza este trabajo con objeto de profundizar en la fisioterapia neurológica, concretamente en la rehabilitación de lesionados medulares, sobre todo en aquellos con lesiones crónicas incompletas, ya que es un tema sobre el que deseo alcanzar un mayor conocimiento. El interés por investigar acerca de esta patología comenzó tras realizar un tratamiento durante una rotación en Estancias Clínicas.

La selección de este tema en concreto, ha sido impulsada por el interés personal de comprobar los cambios y mejoras que se producen en el paciente al realizar modificaciones sobre la intensidad de una herramienta como es el ejercicio terapéutico (ET), ya que su aplicación me parece algo novedoso en este tipo de pacientes. Es por ello que me gustaría saber la evidencia científica que hay publicada sobre el tema en los últimos años. Además también tuve la oportunidad de ver la aplicación dicha técnica en una de mis rotaciones en Estancias Clínicas II.

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

## **3. CONTEXTUALIZACIÓN**

### **3.1 Antecedentes**

#### **3.1.1 Lesión medular. Etiología y epidemiología**

La LM se puede definir como el daño en la médula espinal, de cualquier etiología, que puede originar parálisis en diferentes puntos y grados de extensión, pérdida de la sensibilidad y disfunción vesical, intestinal y sexual, además de importantes consecuencias psíquicas y socioeconómicas que determinarán un antes y un después en la vida del sujeto (3).

##### **3.1.1.1 Etiología**

Las LM pueden ser de tipo traumático o no traumático. Tanto lesión medular traumática (LMT) como lesión medular no traumática (LMNT) pueden ocurrir a cualquier edad (4).

La causa más frecuente de LMT son los accidentes de tráfico, y la segunda, son las caídas. Una de las principales características del marco temporal de las LMT es que se produce de manera instantánea, como consecuencia del trauma directo sobre las estructuras anatómicas (5).

Por otro lado, las causas que pueden producir una LMNT son muy diversas, pueden ser de origen congénito-genético (disrafismo espinal, malformación de Arnold Chiari, malformaciones esqueléticas, paraplejia espástica, alteraciones espino-cerebelosas, leucodistrofias, adreno-mieloneuropatía, atrofia espino-musculares u otras) o adquirido (patologías degenerativas de la columna, enfermedades metabólicas, inflamatorias, autoinmunes, neoplásicas, alteraciones vasculares, tóxicos o infección). Incluso en algunos casos puede deberse a una cascada de acontecimientos (4).

A diferencia de la LMT, el inicio en la LMNT no sigue una cronología definida. Además las patologías que pueden dar lugar a una LMNT pueden mostrar síntomas al cabo de minutos, horas días semanas o incluso meses (4).

##### **3.1.1.2 Epidemiología**

Aunque se ha tratado de cuantificar la incidencia y prevalencia mundiales de la LM hay varios factores que han impedido que se haya hecho una estimación precisa:

La falta de un método normalizado entre las diferentes regiones, por lo que los datos correspondientes a algunos países se han extrapolado a partir de cifras obtenidas en zonas urbanas o rurales, por lo que pueden no ser del todo representativas. La procedencia de la mayor parte de los datos por parte de países desarrollados (como Estados Unidos o España

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

por ejemplo), quedando escasa la información procedente de países en desarrollo de África, América del Sur y Asia. Y por último la alta tasa de mortalidad en los accidentes, durante la recuperación y el transporte de los pacientes (6).

Los datos mundiales indican una elevada incidencia anual de entre 12,1 y 57,8 casos por millón de habitantes, y la prevalencia oscila entre 236 y 1009 casos por millón de habitantes (7). Aproximadamente el 50% de las LM se producen en personas menores a 30 años, siendo el perfil más común varones de entre 15 y 25 años de edad. Solo un 15% aproximadamente de los casos afectan a mujeres y un 18% a mayores de 45 años (8).

En un estudio epidemiológico realizado en el Hospital Nacional de Paraplégicos en 2018 contabilizaron que en Europa la incidencia anual se sitúa por debajo de los 20 casos por millón, mientras que en Norte América y Asia supera los 50 casos por millón. España ha experimentado incremento de casos en los últimos treinta años, pasando de 8 casos por millón en 1980 a 23,5 en 2009. De manera que actualmente la incidencia de este tipo de lesiones en nuestro país se sitúa en el rango normal de los países europeos (3).

En España, los estudios epidemiológicos existentes son escasos, con cifras globales que oscilan entre 0,8 y 2,3 casos/100.000 habitantes (9). Con respecto a la LMT, las caídas fueron la causa más frecuente siendo las ocurridas en la vía pública un 45% de los casos, seguida de las ocurridas en el hogar con un 29%. Los accidentes laborales tales como caídas desde diversas alturas o atropellos, representaron un 15%, los intentos de suicidio un 11%, los accidentes de tráfico con un 13%, los accidentes en actividades deportivas o de ocio un 8% y las agresiones un 1% (3).

Para la LMNT el aumento de la esperanza de vida favorece la aparición de lesiones de tipo vascular y neoplásico que produce un aumento en la incidencia (5). Las enfermedades de origen vascular representan aproximadamente el 14% de los casos, los tumores con afectación de la médula el 12%, las complicaciones en procedimientos médicos o quirúrgicos un 10%, las causas osteo-articulares o degenerativas un 8%, las inflamatorias o autoinmunes un 7%, las infecciones un 4% y por último las causas congénitas un 3% (3).

### **3.1.2 Fisiopatología**

La LMT se produce fundamentalmente por dos mecanismos. Inicialmente se produce una lesión primaria producto del impacto directo sobre las estructuras vertebrales (mediante fuerzas de tracción y compresión) que sufren un desplazamiento. Esto provoca una

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

alteración axonal, del sistema vascular y muerte celular como consecuencia del desarrollo de una hemorragia (10).

Tras la lesión mecánica inicial consecuencia del traumatismo, inmediatamente o minutos después se desencadenarán una serie de procesos celulares y de tipo bioquímico, con las consecuentes alteraciones iónicas y excito-toxicidad, que cursarán con isquemia, presencia de edema y liberación de radicales libres que definiremos como lesión secundaria. El daño que se produce en los diferentes tejidos incrementará de manera progresiva alterando los diferentes niveles de la médula. En la fase inicial se produce el shock espinal, que se caracteriza por la flacidez y la pérdida de la actividad refleja por debajo del nivel de la lesión, y una vez se supere esta fase que puede tener una duración desde días hasta semanas, se podría producir la aparición de la espasticidad (9).

Además, la falta de control de los sistemas somáticos y autonómicos, conlleva a una reducción de la actividad física y de la respuesta cardiovascular al ejercicio, que tiene consecuencias como (7):

**Cambios a nivel respiratorio.** Los problemas funcionales más frecuentes son de tipo restrictivo. se produce una disminución de la “*compliance*” toraco-pulmonar, movimientos paradójicos del tórax, dependencia postural de la capacidad vital y debilidad de la musculatura respiratoria, en especial de la espiratoria. En el caso de las lesiones hasta C3, se presenta compromiso del diafragma, por lo que necesariamente precisarán asistencia mecánica ventilatoria (11).

**Cambios a nivel cardíaco .** Sobre todo en las lesiones altas (tetraplejia) hay pérdida de masa muscular en el ventrículo izquierdo, que se produce como consecuencia de una disminución en la carga sobre el miocardio. También se puede producir el llamado pseudoinfarto, que es un aumento en los niveles de troponina que puede producir cambios o no en el electrocardiograma (12).

**Cambios a nivel muscular.** Atrofia muscular, hipertonía (7), pérdida de fuerza de los músculos directamente afectados por la LM (13), que además presentarán una disminución en el diámetro de la fibra, de la actividad voluntaria y un retraso en la transformación de las fibras lentas en fibras rápidas. Su área de corte transversal estará compuesto principalmente por fibras de tipo I (contracción lenta y de mayor resistencia a la fatiga) (14).

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

### 3.1.3 Clasificación de la LM

Además de la clasificación etiológica mencionada en apartados anteriores, podemos clasificar la LM en función varias características como: la fase temporal en la que se encuentra (si es aguda o crónica), la extensión en la médula (si hay interrupción parcial o completa de la comunicación entre la medula y el sistema nervioso) y el nivel de la lesión (donde se ha producido el daño y estructuras anatómicas afectadas).

#### **En función del marco cronológico:**

El desarrollo y evolución de la LM se divide en 5 fases: inmediata (entre las 0 y 2 horas), aguda (2 y 48 horas), subaguda (de 2 días a 2 semanas) , intermedia (de 2 semanas a 6 meses) y crónica (a partir de los 6 meses donde la degeneración continúa y sufre una extensión hacia las zonas vecinas a la lesión) (10).

#### **En función del nivel y de la extensión de la lesión:**

El nivel neurológico de lesión corresponde al segmento más caudal de médula espinal que conserva función, y por lo tanto la función motora y sensitiva no se conservará de manera total o parcial por debajo de este. Por lo que distinguiremos entre **lesiones altas** producidas a nivel cervical, y **lesiones bajas** que se producen a nivel torácico, lumbar y sacro (15).

Para determinar el nivel de lesión y gravedad *La Asociación Americana de Lesiones de la Médula Espinal (ASIA)*, la *Sociedad Internacional de la Médula Espinal (ISCoS)* y las *Normas internacionales para la clasificación neurológica de las lesiones de la médula espinal (ISNCSCI)* son herramienta principal a nivel internacional. En el ISNCSCI se lleva a cabo un examen físico de las funciones motoras y sensitivas con el posterior registro de la información, en la que se obtienen las puntuaciones totales motoras de los músculos llave y sensoriales, nivel neurológico de la lesión, escala de deterioro ASIA, y si la lesión es completa o incompleta (**Anexo 2**).

Para examinar las funciones motoras se determina el nivel motor ASIA , a través de una valoración motora, en la que se valora la fuerza de diez músculos claves. Cada grupo muscular clave representa un miotoma entre C5 y T1, y entre L2 y S1. Se comprueba la fuerza de cada músculo en posición supina y se evalúa a través de la escala clásica de 6 puntos del test manual para fuerza (**Anexo 3**). Al finalizar, se definirán dos niveles motores, uno que representará el lado derecho y otro el izquierdo. El *nivel motor* ASIA está definido por el músculo clave más distal que tenga al menos grado 3/5 de fuerza, suponiendo que

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

todos los músculos clave situados por encima de éste tienen grado 5/5 de fuerza. El nivel derecho e izquierdo pueden ser diferentes (8).

A través de la valoración del nivel sensitivo se definen dos niveles sensitivos: uno para el lado derecho del cuerpo y otro para el lado izquierdo. Una valoración sensitiva ASIA supone comprobar el tacto leve y la sensibilidad al dolor en 28 puntos clave en cada lado del cuerpo. Se utiliza una escala de tres puntos para el tacto leve y para el pinchazo, donde la sensación normal se puntúa "2", la anómala (aumentada o reducida) "1", y la ausencia de sensación "0". El *nivel sensitivo* ASIA se define como el punto más caudal que tenga un grado 2/2 para el pinchazo y tacto leve, suponiendo que todos los puntos clave por encima tienen también grado 2/2. Al igual que en la valoración motora, el nivel sensitivo para el lado derecho puede diferir del hallado en el lado izquierdo (8).

Esto permite estandarizar la práctica y facilitar la evaluación de los signos neurológicos en pacientes con LM permitiendo elaborar una hipótesis con respecto a las mejoras que podrán experimentar los pacientes en un futuro (16).

### **En función de la extensión del daño:**

**Las lesiones completas** son aquellas en las que hay una pérdida tanto de función sensitiva como motora en los segmentos sacros inferiores (3), es decir, se pierde toda comunicación medular por debajo del nivel donde se asienta la lesión. También hay una pérdida de la inervación autónoma (5).

**Las lesiones incompletas**, en las que se centrará esta revisión, se pueden definir como aquellas en las que se conserva la función motora y sensitiva por debajo del nivel donde se asienta la lesión (3). La función se puede conservar de manera parcial o total. Hay varios síndromes medulares incompletos entre los que encontramos:

- Preservación sacra: El borde periférico de la médula espinal está preservado. Las vías motoras y sensitivas hacia los segmentos sacros permanecen intactas y los pacientes conservan sensación sacra, el control anal voluntario y la posibilidad de movimiento de los dedos de los pies (8).
- Síndrome de Brown-Sequard: Se produce cuando se daña un lado de la médula espinal. La consecuencia es la pérdida de la propiocepción y función motora del mismo lado y la pérdida de la sensibilidad al dolor y a la temperatura en el lado opuesto (8).
- Lesión de la médula central: Habitualmente se producen tras lesiones de hiperextensión de la columna cervical en personas mayores con espondilosis cervical. Suele provocar una parálisis más grave de las extremidades superiores que de las extremidades inferiores. Además, se presenta con frecuencia una lesión mixta que combina



Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

características de una lesión de la médula central y del síndrome de Brown-Sequard (8).

- Síndrome medular cervical anterior. Se asocia con lesiones en flexión que dañan los dos tercios anteriores de la médula espinal. En consecuencia, las columnas posteriores están intactas. Normalmente, un paciente con un síndrome medular cervical anterior tiene preservados el tacto fino y la propiocepción, pero no tiene función motora, ni sensibilidad al dolor ni a la temperatura por debajo del nivel de la lesión (8).

La escala ASIA establece de esta manera 5 categorías en función de la severidad de la lesión (**tabla 1**) (17):

GRADOS	
<b>A (Completa)</b>	Sin función motora ni sensitiva en los segmentos sacros
<b>B (Incompleta)</b>	Hay función sensitiva hasta S4-S5 sin conservación de la función motora
<b>C (Incompleta)</b>	Permanece la función sensitiva y parcialmente la motora. Los músculos claves infra-lesionales tienen una puntuación menor a 3.
<b>D (Incompleta)</b>	Sensibilidad normal. Mitad de los músculos claves infralesionales tienen una valoración media mayor a 3.
<b>E (Normalidad)</b>	Función motora y sensitiva normales

Tabla 1: categorías ASIA en función de la severidad de la lesión medular (17).

Por lo tanto en función del **nivel de la lesión** podemos hablar de:

**Paraplejía:** el daño medular se encuentra por debajo de los segmentos cervicales. Se producirá afectación de tronco, órganos pélvicos y extremidades inferiores (5).

**Tetraplejía:** el daño medular se encuentra en los segmentos cervicales. Habrá afectación de tronco, de los órganos pélvicos y tanto de extremidades superiores como inferiores. Además en caso de que el daño estructural se localice por encima del nivel de C4, se producirá una tetraplejía con necesidad de ventilación mecánica, ya que se afectaría la musculatura respiratoria y el sujeto no puede hacerlo por el mismo (5).

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

### 3.1.4 Manifestaciones clínicas y diagnóstico

#### 3.1.4.1 Manifestaciones clínicas

El sujeto suele cursar con una serie de características clínicas cuya severidad y presencia depende de la localización del daño, del tipo y síndrome clínico. (13) La lesión puede producir síntomas en las estructuras propias del nivel afectado, y sintomatología en zonas alejadas de este nivel como consecuencia de una alteración de las vías largas, que desconectarán los niveles inferiores del resto del SNC al quedar interrumpidas. Las principales manifestaciones clínicas son (18):

Dolor, habitualmente de carácter focal como consecuencia de la afectación del hueso, de las meninges, de los ligamentos y vasos de la piamadre. Si hay afectación radicular sensitiva, en algunos casos se acompaña de dolor, parestesias o hipostesias en determinados dermatomas. Meses después del inicio de la clínica puede aparecer dolor quemante relacionado con lesiones de las vías sensitivas, de carácter más difuso (18).

Los trastornos motores se manifestarán con sensación de fatiga y falta de destreza acompañada de debilidad, por afectación de la motoneurona del asta anterior y de la raíz motora, donde la debilidad se acompañará de atrofia, fasciculaciones y arreflexia en las áreas correspondientes. También puede haber afectación de la vía piramidal que provocará debilidad con signos piramidales por debajo del nivel de la lesión y del mismo lado. En la siguiente tabla (**tabla 2**) se muestran las diferentes afectaciones musculares en función del nivel de lesión (18).

Nivel medular	Déficit motor	Reflejo alterado
C1-C4	Diafragma	
C5	Deltoides, supra e infraespinoso	Bicipital
C6	Bíceps y supinador largo <sup>[1]</sup> <sub>SEP</sub>	Bicipital y estilorradiar
C7	Tríceps, extensores de muñeca, separador corto del pulgar	Tricipital
C8-D1	Musculatura intrínseca de la mano <sup>[1]</sup> <sub>SEP</sub>	
L2-L3	Psoas iliaco, cuádriceps	
L4	Cuádriceps <sup>[1]</sup> <sub>SEP</sub>	Rotuliano
L5	Extensor del dedo gordo, peroneos, tibial anterior <sup>[1]</sup> <sub>SEP</sub>	
S1	Gemelos, flexores plantares y de dedo gordo, glúteo mayor	Aquileo
S2-S5	Esfínter anal	

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

*\*Tabla 2: alteraciones musculares en función del nivel de lesión (18).*

Con respecto a los trastornos sensitivos, puede existir un nivel por el cual debajo la sensibilidad esté alterada o ausente de manera clara, sin embargo la lesión se suele localizar dos o tres niveles por encima del nivel exploratorio (18). Puede aparecer dolor habitualmente de carácter agudo que acompaña a la lesión, y que poco a poco va disminuyendo a medida que se produce la curación. Sin embargo cuando permanece en fase crónica se convierte en un factor incapacitante (12).

En los esfínteres, cuando la lesión se asienta en los segmentos S2-S4 o por debajo en la zona del cono medular o cola de caballo se producirá la vejiga flácida con retención urinaria por atonía y orina por rebosamiento, ya que el centro de control de la micción voluntaria y refleja parasimpática se encuentra en estos segmentos. En la fase del shock medular y en caso de que la lesión se asiente por encima de S2 se produce una retención urinaria por atonía y arreflexia del músculo detrusor con conservación de la actividad refleja del esfínter externo. Pasado este período, la vejiga se vuelve espástica, con hipertonía del detrusor e incontinencia urinaria (18).

Los lesionados medulares además son propensos a sufrir diversas complicaciones:

#### **3.1.4.1.1 Complicaciones autónomas y simpáticas:**

**Desregulación cardíaca:** se produce por inestabilidad de la tensión arterial, alteraciones en el ritmo cardíaco o presencia de coágulos en la sangre (19).

**Regulación de la temperatura y secreción del sudor:** se produce por la pérdida de control simpático por debajo del nivel de la lesión. Pueden producirse una sudoración excesiva (hiperhidrosis), ausencia de sudor (anhidrosis) y disminución de la sudoración (hipohidrosis). Los síntomas más comunes tras la LM son una sudoración mínima/abolida por debajo del nivel de la lesión y una sudoración profusa por encima del nivel de la lesión, aunque puede variar y se debe a un mecanismo compensatorio (12).

**Shock neurogénico:** como resultado del desequilibrio del control en el sistema nervioso autónomo (SNA) se produce una hipotensión grave y bradicardia por la bajada de la presión sanguínea (12).

**Hipotensión postural:** habitualmente se produce cuando los pacientes pasan de estar tumbados a estar sentados. Se origina por la pérdida de control del SNA simpático a nivel supraespinal y a la incapacidad de regular la presión sanguínea. Se produce un

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

estancamiento de la sangre tanto en el abdomen como en las extremidades y la presión sanguínea cae, dándole al paciente sensación de mareo y pérdida de consciencia. Esta complicación es característica de lesiones por encima de T6 (8).

#### **3.1.4.1.2 Complicaciones respiratorias:**

Son una de las principales causas de morbilidad y mortalidad en las personas con LM. Los pacientes, especialmente con lesiones altas, pueden cursar con retención de secreciones, ya que como se mencionó en apartados anteriores, poseen una mayor denervación de los músculos de ventilación disminuyendo así tanto la capacidad inspiratoria como la fuerza muscular espiratoria, que provoca una tos alterada. Además la LM puede llevar a un estado de dominancia parasimpática que podría incrementar la producción de moco y contribuir a la hiperreactividad de las vías respiratorias. Combinando una tos ineficiente con un aumento de la cantidad de moco el sistema respiratorio puede colapsar y alterar la depuración mucociliar (20).

Algunas de las estas complicaciones son: alteraciones de la mecánica ventilación-perfusión, problemas de aspiración, infección, microatelectasias e insuficiencia pulmonar (21).

#### **3.1.4.1.3 Complicaciones motoras:**

**Espasticidad:** presente en aquellos pacientes sin alteración en las motoneuronas inferiores (8). Se produce como consecuencia de un shock espinal asociado con parálisis muscular, reducción del tono muscular y ausencia de reflejos en los tendones por debajo del nivel de la lesión. Se suele establecer tras 2-6 meses después de la lesión (12), aumentando gradualmente a lo largo del año hasta que se estabiliza (8). Cursará con reflejos tendinosos exagerados, aumento del tono muscular y espasmos musculares. Hasta un 70% de los lesionados medulares cursan con espasticidad (12), generando más complicaciones en los pacientes con lesiones incompletas (8).

La espasticidad puede tener varios estímulos causales. El tacto y el estiramiento suelen ser los más frecuentes. Su aumento puede estar causado por el brote neural o variaciones en la sensibilidad de los receptores neurales. Existen varias pruebas o test que nos permiten cuantificar la espasticidad, entre los más empleados encontramos: la escala de Tardieu y la escala de Ashworth modificada. Las repercusiones más importantes de la espasticidad son el dolor, presencia de contracturas, úlceras por presión, y que dificulta el movimiento y los cuidados de higiene (8).

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

**Espasmos:** se produce por la incapacidad de controlar la actividad refleja provocando que los reflejos se vuelvan exagerados (19).

**Disreflexia autónoma:** Es una respuesta simpática refleja aumentada a estímulos nocivos. Aparece cuando hay irritación, dolor o estímulos al sistema nervioso por debajo del nivel de la lesión (19).

#### **3.1.4.1.4 Complicaciones por la inmovilización:**

**Osteoporosis:** se produce a largo plazo por la inmovilización y la ausencia de cargas y compresión axial. Aumenta el riesgo de padecer fracturas. Otros factores que influyen son las alteraciones asociadas a la LM de carácter metabólico, endocrino, neurológico y vascular (8).

**Osificación heterotópica:** formación de hueso fuera del sistema esquelético bajo el nivel de la lesión habitualmente alrededor de los hombros, codos, caderas y rodillas. Suele ocurrir en los primeros meses. En caso de ser un cuadro severo, se producen grandes restricciones en la movilidad y por lo tanto impide la función (8).

**Úlceras por presión:** Aparecen en zonas de prominencias óseas como resultado de la presión por las superficies de soporte. En los primeros días favorecen su desarrollo la pérdida de sensibilidad, la inmovilidad, el traumatismo craneal y los dispositivos de inmovilización de columna. Las principales zonas en riesgo son occipucio, escápulas, sacro, cóccix, tobillos, talones y las clavículas (22).

**Tromboembolismo:** los trombos están causados por la estasis de la sangre, la parálisis, la falta de movimiento (8), la hemostasia alterada y el aumento de la actividad del factor VIII. La incidencia es mayor en fase aguda (12). Es importante, ya que el desprendimiento de un trombo venoso es una de las mayores causas de mortalidad, y puede dar como resultado una embolia pulmonar. Los trombos son comunes en las venas de la pantorrilla, pero son más peligrosos cuando se sitúan en las venas de la ingle y del muslo. Los signos de trombosis venosa profunda (TVP) son: inflamación localizada, fiebre baja, decoloración de la piel y calor (8).

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

### **3.1.4.2 Diagnóstico**

Inicialmente se realizará una exploración neurológica básica, donde se evaluará el mecanismo que provocó la lesión y la pérdida de conciencia que sufrió el sujeto. Si hay conciencia será preciso llevar a cabo una valoración motora y sensitiva completa.

El examen neurológico se realizará a través de los ISNCSCI, ASIA e ISCoS, mencionadas anteriormente. Está protocolizado realizar esta exploración al ingreso, a las 72h, al mes y al alta. En el caso de sospechar de un deterioro de la médula espinal también se llevará a cabo esta exploración (9).

Además para el diagnóstico se realizan pruebas complementarias de imagen. La selección será en función de las circunstancias en las que se produjo la lesión, para detectar lesiones asociadas, y dependerá de los recursos disponibles en cada centro. Tradicionalmente se realizaba la radiografía simple (Rx), aunque la tendencia actual es realizar TAC, más sensible y específica que la Rx.

La Resonancia Magnética (RMN), es la prueba que se debe escoger si la situación clínica lo permite, ya que puede detectar lesiones de tejidos blandos y ligamentos en el lugar de la lesión neurológica, determinar el tipo de LM (contusión, edema, hemorragia, sección medular), permite evaluar el compromiso del canal, el grado de compresión medular y la longitud de la lesión (9).

### **3.1.5 Tratamiento en LM**

La LM es una patología compleja, y la discapacidad que adquiere requiere de un tratamiento multidisciplinar, ya que afecta a todos los ámbitos de las actividades de la vida diaria (AVD). Es importante tener en cuenta los aspectos psicológicos y sociales que van ser determinantes en el proceso de adaptación e integración social (5).

Las órtesis estarán muy presentes a lo largo del tratamiento. En el caso de que la LM lleve asociada inestabilidad de la columna vertebral inicialmente, se inmovilizará la columna 6-12 semanas empleando órtesis halotorácicas. Cuando se considera que la columna está estable, se traslada al paciente en una silla de ruedas; a menudo, con otra órtesis espinal que llevaría durante unos meses más (8). El tratamiento quirúrgico más frecuente se basará en descompresión y estabilización, puesto que la compresión podría exacerbar la lesión secundaria y dificultar la recuperación neurológica (22). Tras comenzar las movilizaciones en los pacientes post-operados, pueden o no requerir algún tipo de órtesis (8).

Posteriormente para la rehabilitación de la función de caminar, las órtesis estarán nuevamente muy presentes, existiendo tres tipos: las mecánicas (órtesis de cadera, rodilla,

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

tobillo y pie, de marcha recíproca y de unión medial), las híbridas (se activan mediante estímulos eléctricos funcionales (FES)) y las de potencia que hacen referencia a los exoesqueletos (23). Además también podrán utilizar dispositivos de asistencia como por ejemplo, los andadores o los bastones (24).

### **3.1.5.1 Fisioterapia convencional**

El principal objetivo desde la fisioterapia en pacientes con LM es mejorar la calidad de vida relacionada con la salud y se alcanzará a través de una mejora en la capacidad de los pacientes para participar en las AVD. Hay seis deficiencias que son sensibles a la rehabilitación y suponen una reducción de la actividad y limitaciones en la participación: dificultad en la función respiratoria, falta de capacidad, dolor, alteración en la fuerza, falta de movilidad articular y alteraciones en la salud cardiovascular (8).

En **fase aguda**, el tratamiento de fisioterapia debe iniciarse lo antes posible (25). Inmediatamente tras la LM, los fisioterapeutas deben prevenir o tratar el dolor, la función respiratoria disminuida, la pérdida de movimiento articular y la debilidad (8).

Como objetivos para esta fase los pacientes deberían poder posicionarse con el cabecero de la cama elevado y alcanzar la sedestación lo antes posible (una vez se estabilice la lesión ósea), para entrenar antes de sentarse en la silla de ruedas, y evitar así múltiples complicaciones relacionadas con la respiración (26). Además se debe conservar la función neurológica residual, evitar el daño secundario, restaurar la estabilidad y la alineación de la columna (22). Además durante esta fase es muy importante la prevención de complicaciones, especialmente la aparición de úlceras por presión y problemas de circulación como la TVP. Por este motivo, se realizarán cambios de posición programados en los que el paciente debe ser observado para prevenir la aparición de hipotensión ortostática. Esto debe iniciarse en el momento del ingreso y continuar durante la hospitalización (26).

La fisioterapia respiratoria se centrará en tratamiento torácico profiláctico, que incluye ejercicios de respiración profunda, percusión y tos, asistidos si es necesario (25).

La rehabilitación pasiva postoperatoria (26) se realizará para mantener los rangos completos de movimiento (25), y para restaurar la función neurológica (26). El tratamiento de la espasticidad, se realizará con el objetivo de reducirla, ya que puede reducir la funcionalidad de las extremidades a pesar de una fuerza muscular conservada en las mismas (25).

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

Tan pronto como la condiciones del paciente lo permiten, se comienza con el entrenamiento de rehabilitación activa, realizando fisioterapia temprana con métodos como: estimulación eléctrica de frecuencia intermedia, estimulación eléctrica de baja frecuencia, magnetoterapia, y especialmente ET (26). Además estará presente el uso de exoesqueletos (27).

En **fase crónica** los pacientes continúan con el proceso de fisioterapia, donde se corregirán afectaciones relacionadas con la falta de destreza o con el estado físico (8).

La recuperación de tareas funcionales será uno de los objetivos para la mejora de la funcionalidad en las AVD. El entrenamiento de tareas persigue la recuperación motora después del daño al SNC. Se analiza el movimiento, y el fisioterapeuta buscará cuales son aquellas tareas que al paciente le puede interesar recuperar tras la lesión y entrenarlas de una manera creativa y efectiva empleando bases del control y aprendizaje motor y plasticidad (28).

Recuperar la capacidad de caminar es la meta y el otro objetivo a perseguir para aquellas personas que padecen una LM crónica incompleta. Lo que busca la fisioterapia con el entrenamiento de la marcha es que el paciente genere patrones básicos y que sea capaz de ejecutar estrategias de adaptación para variar la velocidad o hacer frente a los obstáculos y así caminar con seguridad en el hogar o en un ambiente exterior. El enfoque de rehabilitación establecido para mejorar la función de caminar lesionados medulares es el entrenamiento locomotor o ET (29).

El ET o entrenamiento locomotor puede definirse como una modalidad de fisioterapia diseñada para mejorar la recuperación del control postural, el equilibrio, la posición de pie, la marcha, la salud y la calidad de vida después de una lesión neurológica u otras patologías. En el caso de la LM dará lugar a la activación neuromuscular por debajo del nivel de la lesión para promover la recuperación de la función motora, y así, entrenar el SN para recuperar una o varias tareas específicas. Se centra en el entrenamiento de los componentes lesionados para que vuelvan a funcionar lo más cerca posible de los niveles de control neuromuscular anteriores a la lesión (30). Dentro del ET, existen varias intervenciones basadas en el ejercicio, como son el ejercicio aeróbico, entrenamiento de resistencia, entrenamiento de equilibrio, entrenamiento de la marcha y o la realización de estas de manera combinada (7)



Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

De esta manera el entrenamiento de la marcha puede realizarse como un trabajo de precisión sobre diferentes superficies, variando los diferentes ambientes e introduciendo tareas secundarias guiadas visualmente como ascender o sortear obstáculos y con mayor o menor peso corporal. También puede realizarse como un trabajo de resistencia basado en cinta rodante que implica la práctica repetitiva de los pasos (29).

Además en el tratamiento en fase crónica se incluyen la terapia robótica y dispositivos como el Lokomat (**Anexo 4**) para la recuperación de la fuerza, velocidad, distancia y otros parámetros de la marcha (31)(32).

### 3.1.5.2 Ejercicio terapéutico de alta intensidad y LM

Para reducir todos estos efectos negativos producidos por la LM, es importante fomentar la participación de lesionados medulares en diferentes actividades terapéuticas o programas adaptadas a su condición (7).

El ETAI, por definición es aquel que se realiza entre un 85% y el 95% de la frecuencia cardíaca máxima (FC<sub>máx</sub>) para la edad del sujeto (33). Sin embargo en los estudios en lesionados medulares, la FC objetivo de los tratamientos de alta intensidad se suele situar entre un 70-85% de la FC<sub>máx</sub> para la edad.

Por otro lado la "intensidad" se define como la carga de trabajo. En lesionados medulares, la intensidad idónea es aquella que permite al paciente realizar una cantidad adecuada de pasos de buena calidad, que además vienen determinados por un mayor o menor apoyo del peso corporal (34). La intensidad se modifica fácilmente alterando la velocidad del movimiento (cambios en la velocidad de la marcha) o las cargas transportadas por el paciente. La forma de estimarla será a través de medidas cardiopulmonares, directas y objetivas, como es la frecuencia cardíaca (FC) o indirectas y subjetivas como son las clasificaciones del esfuerzo percibido (RPE).

Las funciones sobre las que actúa el ETAI en pacientes con LM se presentan en la siguiente tabla (**Tabla 3**) (35):

Coordinación de las extremidades
Cinemática de las extremidades
Velocidad marcha
Equilibrio marcha
Simetría (calidad) de los pasos

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

Resistencia
Capacidad respiratoria
Presión sanguínea
FC

*Tabla 3: funciones sobre las que actúa el ETAI sobre los lesionados medulares (35).*

Tras la LM, las deficiencias residuales de fuerza, control postural y coordinación suelen contribuir a reducir la velocidad de la marcha y a una cinemática de marcha aberrante (marcha con una alteración de la calidad), Las estrategias de entrenamiento utilizadas para tratar la disfunción locomotora varían y a menudo incluyen ejercicios como el entrenamiento de fuerza, equilibrio y flexibilidad, además de la práctica de la marcha en una cinta de correr (TM) o sobre el suelo. Entre las tareas empleadas para llevar a cabo el trabajo de marcha durante sesión de ETAI en lesionados medulares, encontramos las siguientes:

- Entrenamiento en TM dependiente de la velocidad: el sujeto camina sobre una TM a una velocidad adecuada a sus capacidad física al mismo tiempo que se mantienen los rangos de FC específicos para la alta intensidad.
- Entrenamiento dependiente de la habilidad: El sujeto debe caminar en múltiples direcciones y a través de obstáculos como por ejemplo planos inclinados, vallas, conos...etc, de tal manera que se desafían sus capacidades para mantener la estabilidad postural, la propulsión y el balanceo de las extremidades. Además se pueden añadir complicaciones a la tarea, como lastres en los tobillos, o según la tolerancia del paciente se puede permitir un mayor o menor uso de pasamanos.
- Entrenamiento sobre suelo: El sujeto caminará sobre el suelo con un sistema de suspensión que le proporciona una mayor seguridad, al mismo tiempo que realiza trabajo de la marcha dependiente de la velocidad o de la habilidad similar al descrito anteriormente.
- Entrenamiento en escaleras. Busca optimizar tanto la calidad de la práctica de la tarea como la cantidad de escalones que puede subir o bajar el individuo, al mismo tiempo que aumenta las demandas neuromusculares y cardiovasculares.

Además la práctica de marcha sobre TM con el uso de un arnés y apoyo del peso corporal en el caso de ser necesario ( % del peso corporal dependiendo del nivel de habilidad) también es otra de las formas de plantear un protocolo de ETAI.

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

En los pacientes con lesiones neurológicas, el pisar en múltiples contextos (por ejemplo, sobre el suelo, las escaleras, la cinta rodante, y los obstáculos o alrededor de ellos) puede imitar las condiciones de pisada que se pueden encontrar en los entornos comunitarios y permitir de esta manera, una adaptación más rápida a los entornos del mundo real (36).

Además de las mencionadas en los párrafos anteriores, existen varias modalidades más para realizar ETAI:

Realizar sesiones de ET de menor duración y de alta intensidad a través de un tratamiento basado en actividades funcionales específicas seleccionadas de manera previa por el paciente, o el llamado entrenamiento a intervalos de alta intensidad “high intensity interval training” (HIIT). Este consiste en la realización de ejercicio intenso durante períodos cortos de tiempo seguidos de períodos de recuperación de manera cíclica. Se puede realizar a través de marcha o de carrera en función de las capacidades físicas de los pacientes.

Los mecanismos que subyacen a las ganancias en la función locomotora tras un entrenamiento de alta intensidad podrían incluir el aumento de la capacidad metabólica a través de cambios en la capacidad y eficacia cardiopulmonar, cambios en el metabolismo musculares y el aumento de la síntesis y la liberación de factores neurotróficos que pueden subyacer a los cambios plásticos en los circuitos supraespinales o espinales (37).

Es por eso que uno de los principales fundamentos de la neurología en los que se basa el ETAI es la neuroplasticidad o capacidad de regeneración del SN. Es una de sus características más importantes, ya que el SNC para funcionar durante el desarrollo y en las etapas de la madurez depende en gran medida de la capacidad de las conexiones sinápticas para adaptarse y reorganizarse (38). Por lo tanto, se considera importante la repetición del ejercicio para establecer patrones de movimiento (35).

El entrenamiento debería ser específico para la tarea, para activar así, los circuitos neuronales encargados de producir los patrones motores, producir un beneficio sobre las funciones sensoriales y regular la entrada aferente que imita la tarea de las AVD (34).

Finalmente el momento en el que se comience a realizar el entrenamiento locomotor y la sincronización de los programas de ejercicio terapéutico empleados pueden determinar los efectos beneficiosos o perjudiciales que experimente el paciente. No se debe realizar en fases agudas, ya en el caso de aumentar la actividad física y consecuentemente la FC y el flujo sanguíneo, existe un mayor riesgo de neurotoxicidad, por lo que la intervención es

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

adecuada para pacientes en fases sub-agudas o crónicas, siendo estas últimas en las que se centrará esta revisión (34).

### **3.2 Justificación del trabajo**

La LM tiene un gran impacto sobre la capacidad física de aquellos que la padecen, ya que sufren una reducción importante en la cantidad de actividad que realizan, y grandes problemas como consecuencia de la falta de fuerza, disminución en la resistencia, pero sobre todo disminuye su participación en las AVD y su calidad de vida (7).

Tras la LM los datos apuntan a que la mayor capacidad de respuesta y adaptación del SN se produce inmediatamente después de la lesión y que este período podría extenderse hasta dos años o más, durante la fase crónica (39). El ETAI podría ser una de las herramientas principales para la recuperación de los lesionados medulares (40). Existe la teoría de que estas intervenciones basadas en la actividad física podrían mejorar la función locomotora de los individuos con LM incompleta, y de que la intensidad del ET podría influir positivamente en los resultados de la rehabilitación (37). Sin embargo, a día de hoy todavía no hay un consenso sobre que intervenciones basadas en el ejercicio y que dosificación lograrán una óptima recuperación de las actividades.

Por lo tanto, se realiza esta revisión bibliográfica, con el objetivo de investigar si existe un protocolo adecuado de aplicación y la evidencia científica disponible sobre la eficacia de aplicar un programa de ETAI en pacientes adultos con lesión medular crónica, incompleta.

## **4.OBJETIVOS**

### **4.1 Pregunta de investigación**

Para realizar las búsquedas de la revisión se identificaron previamente los componentes de la pregunta de investigación. En este caso la pregunta se ha elaborado siguiendo el esquema PICO con los siguientes componentes: P que hace referencia al problema o paciente, I que hace referencia a la intervención que se va a analizar y C que hace referencia a la comparación y O que hace referencia a los resultados:

**P:** Lesión medular (*Patient*)

**I :** Ejercicio terapéutico de alta intensidad (*Intervention*)

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

**C:** Comparación de las técnicas en el mismo grupo, antes y después de la intervención, o si hay con un grupo control. (**Comparison**)

**O:** Eficacia del ejercicio terapéutico de alta intensidad en lesionados medulares (**Outcome**)

Por lo tanto la pregunta que se debe plantear es la siguiente: ¿Es eficaz en lesionados medulares el ejercicio terapéutico de alta intensidad?

## 4.2 Objetivos

### 4.2.1 General

Investigar la evidencia científica disponible sobre la eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

### 4.2.2 Específicos

- Análisis de la muestra y método de intervención.
- Comprobar si es posible alcanzar y mantener rangos de alta intensidad en lesionados medulares.
- Comprobar qué cambios se producen a nivel músculo-esquelético
- Comprobar si se producen cambios a nivel de la marcha
- Observar si se producen cambios a nivel metabólico

## 5. METODOLOGÍA

### 5.1 Fecha y bases de datos

Para realizar las búsquedas y encontrar la información para esta revisión se realizó una búsqueda de la literatura publicada referente al tema anteriormente descrito en diferentes bases de datos de ciencias de la salud, Pubmed, Scopus, Cochrane Library, PEDro, y Web of Science. La búsqueda se realizó durante los meses de abril y mayo de 2020.

Inicialmente se lleva a cabo una búsqueda en bases de datos específicas para Fisioterapia y revisiones sistemáticas, para comprobar la existencia de trabajos sobre el tema y posteriormente buscar en el resto de bases de datos mencionadas anteriormente.

### 5.2 Criterios de selección

Para llevar a cabo la selección de los artículos en las diferentes bases de datos se llevó a cabo la elaboración de una serie de criterios de inclusión y exclusión para eliminar aquellos artículos que no sean objeto de esta revisión.

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

### 5.2.1 Criterios de inclusión

- Paciente/s adultos con LMT o LMNT, crónica, incompleta.
- Artículos que analicen programas de fisioterapia basados en ejercicio terapéutico de alta intensidad.
- Publicaciones en inglés, español.
- Tipos de artículos: estudios de caso, serie de casos, ensayo clínico no controlado, ensayo clínico aleatorizado cruzado, ensayo clínico aleatorizado.
- Estudios cuya fecha de publicación se encuentre en los últimos 5 años.

### 5.1.2 Criterios de exclusión

- Otras patología asociadas no susceptibles de tratamiento con ETAl.
- Artículos donde se empleen modelos animales.
- Artículos que no fueran obtenidos de manera gratuita a través de la UDC.

## 5.3 Estrategia de búsqueda

Antes de realizar las búsquedas en las bases de datos, a través de búsqueda avanzada, se identificaron las palabras clave de la pregunta de investigación que se planteó en uno de los apartados anteriores. Las palabras clave para esta revisión son: “Lesión medular”, “fisioterapia”, “alta intensidad” o “intensivo”, “ejercicio terapéutico”, “entrenamiento locomotor”, “entrenamiento interválico de alta intensidad”.

A continuación se presenta la tabla donde se muestra detalladamente la búsqueda, resultados iniciales y los resultados seleccionados tras la aplicación de los filtros:

*Tabla 4: detalles de la búsqueda.*

Base de datos	Estrategia de búsqueda	Resultados iniciales	Filtros aplicados	Resultados seleccionados
Cochrane library	(“spinal cord injury”):ti,ab,kw AND (“physiotherapy”):ti,ab,kw AND (“intensive”):ti,ab,kw AND (“locomotor training”):ti,ab,kw	4	Últimos 5 años	0

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

<b>PEDro</b>	("Spinal cord injury") AND ("fitness training")	99	Últimos 5 años Ensayo clínico	<b>1</b>
<b>PubMed</b>	"Spinal Cord Injuries"[Mesh] AND "Physical Therapy Modalities"[Mesh]) OR "Physical Therapy Specialty"[Mesh] AND "Exercise Therapy"[Mesh] AND "High-Intensity Interval Training"[Mesh]	3	Últimos 5 años	<b>0</b>
<b>Scopus</b>	TITLE-ABS-KEY ("spinal cord injury") AND (TITLE-ABS-KEY ("physiotherapy") OR ("physical therapy") OR ("rehabilitation")) AND TITLE-ABS-KEY ("high intensity") AND (TITLE-ABS-KEY ("locomotor training") OR ("therapeutic exercise") OR ("exercise therapy"))	20	Últimos 5 años	<b>5</b>
<b>Web of science</b>	TS=("spinal cord injury") AND TS= ("physiotherapy" OR "physical therapy" OR "rehabilitation") AND TS=("high intensity") AND TS=("therapeutic exercise" OR "locomotor training" OR "exercise therapy")	16	Últimos 5 años	<b>0</b>

## 5.4 Gestión de la bibliografía localizada

Para gestionar la bibliografía analizada se ha empleado el gestor bibliográfico Zotero. A través de él, se han citado los diferentes artículos y se ha añadido la bibliografía en formato Vancouver.

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

## 5.5. Selección de artículos

Al realizar las búsquedas se encontraron 142 resultados. Tras aplicar los filtros deseados, en este caso la fecha de publicación, que tendrá como fecha límite el haberse publicado en los últimos 5 años, se procedió a consultar los títulos y los resúmenes. Se aplicaron los criterios de inclusión y exclusión, y se seleccionaron aquellos artículos que se analizarán en esta revisión, eliminando aquellos que no cumplieron las condiciones. Además se obtuvo un artículo más por búsqueda libre que cumplía los requisitos de la revisión.

A continuación en la **Figura 1** se presenta el diagrama de flujo donde se representa el desarrollo de la selección de los trabajos.

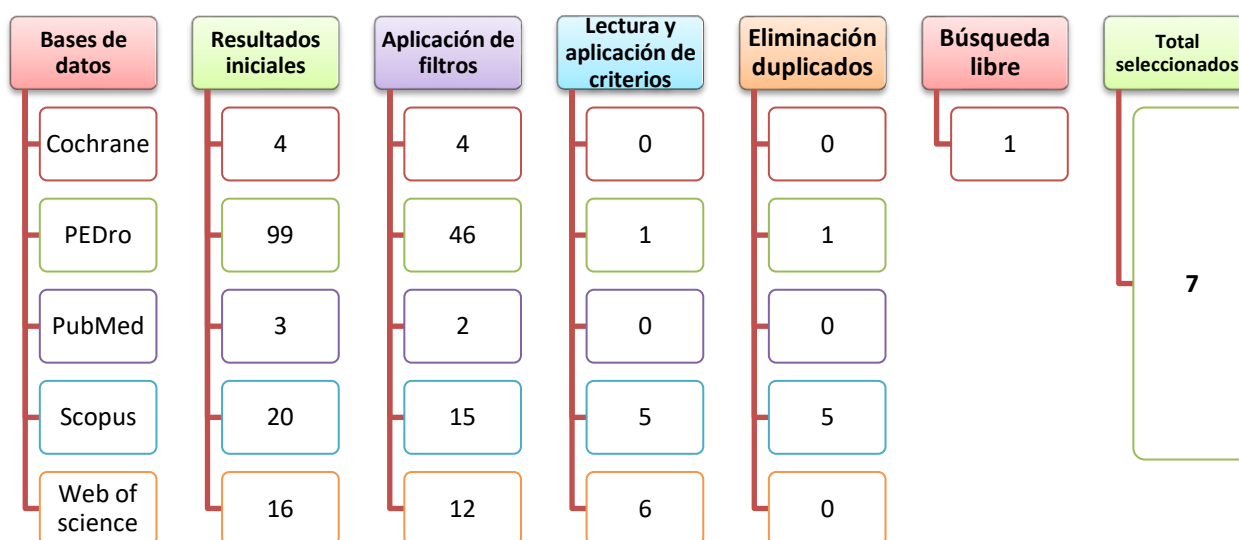


Figura 1. Diagrama de flujo donde se muestran los resultados iniciales de la búsqueda, resultados tras la aplicación de los filtros y finalmente los resultados seleccionados.

## 5.6 Variables de estudio

En la siguiente tabla (**tabla 5**) se muestran las variables de estudio medidas junto con los test, escalas e instrumentos de medida empleadas para valorarlas:



Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

Variable medida	Test, escalas e instrumentos de medida
Niveles de intensidad	<ul style="list-style-type: none"><li>• Frecuencia cardíaca</li><li>• Calificaciones de esfuerzo percibido</li></ul>
Musculo-esquelético	<ul style="list-style-type: none"><li>• Fuerza: máxima contracción voluntaria</li><li>• Reflejos: Reflejo rotuliano</li></ul>
Cambios marcha	<ul style="list-style-type: none"><li>• 6 minute walk test</li><li>• Time up and Go</li><li>• Gait speed</li><li>• Velocidad máxima</li><li>• Promedio velocidades autoseleccionadas</li><li>• Velocidad más rápida posible</li><li>• Variables cinemáticas (rango de movimiento, cadencia, coordinación articular , Activación sinérgica muscular, longitud zancada)</li><li>• Equilibrio de Berg</li></ul>
Parámetros bioquímicos	<ul style="list-style-type: none"><li>• Captación máxima oxígeno</li><li>• Concentraciones de BDNF</li></ul>

Tabla 5. Síntesis de las variables de estudio con los test, escalas e instrumentos de medida correspondientes.

A continuación se describen brevemente las diferentes escalas:

Para evaluar los niveles de intensidad:

- **Frecuencia cardíaca:** número de veces que se contrae el corazón durante un minuto (latidos por minuto) (41).
- **Calificaciones de esfuerzo percibido (RPE): (Anexo 5)** Medida para la calificación subjetiva de la intensidad del ejercicio. Tiene una puntuación que va desde 6 hasta 20. (42).

Para los cambios a nivel músculo esquelético:

- **Fuerza:**

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

- **Fuerza máxima contracción voluntaria (MVC):** Tensión más alta que los músculos pueden desarrollar cuando se contraen rápidamente, contra una resistencia y manteniendo la tensión durante al menos 3 segundos. (43)
- **Reflejos**
  - **Reflejo rotuliano:** Medición de las respuestas del tendón rotuliano (torque, amplitud y actividad electromiográfica) a través de estresores de frío, calor y cognitivos (42).

Cambios en la marcha:

- **6 Minutos marcha (6MWT):** Medida de resistencia. Se pide a los pacientes que caminen tan lejos como puedan en 6 minutos, descansando allí donde lo necesiten. La distancia que cubran y los descansos que necesiten se contabilizan. La ficha empleada para realizar la prueba se puede observar en el **(Anexo 6)** (8).
- **Timed up and go (TUG):** Prueba que mide el tiempo que se tarda en levantarse desde una silla, caminar 3 m, girarse y caminar de vuelta para sentarse de nuevo en la silla. No se proporciona ayuda física durante la realización (8). **(Anexo 7)**.
- **Gait speed (5M WALK TEST):** Evalúa el promedio de 3 pruebas consecutivas de velocidad de marcha auto seleccionada por el paciente en una distancia de 5 m que recorrerá caminando al mismo tiempo que es cronometrado. (44)
- **Velocidad máxima (TM):** Velocidad máxima que puede alcanzar un individuo. Se realiza mediante un test incremental, en este caso en un TM (con apoyo del peso corporal o uso de pasamanos en función de las capacidades físicas del paciente), de tal manera que con el paso del tiempo (minutos) se va incrementando la velocidad, cada “x” tiempo, hasta que el individuo no es capaz de mantener el ritmo, hay inestabilidad en la marcha o llega a la fatiga. La velocidad más alta a la que llega, es el resultado que buscamos. La FC se evalúa simultáneamente utilizando un pulsioxímetro y RPE se registra manualmente durante los últimos 30 segundos de cada minuto (36).
- **Promedio a velocidades auto-seleccionadas (SSS):** Se solicita a los sujetos que caminen a su velocidad normal auto seleccionada en una TM durante un tiempo

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

establecido. Posteriormente el procedimiento se repite para una velocidad rápida auto seleccionada y una velocidad lenta auto seleccionada (45).

- **Velocidad más rápida posible (FS):** El pico de velocidad más alta que puede alcanzar el individuo. Se solicita al individuo que camine a la velocidad más alta posible durante un tiempo establecido (36).
  
- **Variables cinemáticas:**
  - Rango de movimiento (ROM). Capacidad para desplazar un segmento o parte del cuerpo dentro de un arco de recorrido lo más amplio posible manteniendo la integridad de las estructuras anatómicas implicadas.
  - Cadencia: ciclos o pasos por unidad de tiempo.
  - Coordinación articular
  - Activación sinérgica muscular y coordinación neuromuscular:  
**Electromiografía (EMG):** Pruebas que miden la actividad eléctrica de los músculos y nervios. Se realiza con el objetivo de saber si existe, y de esta manera diagnosticar un problema muscular, nervioso o de ambos. La EMG permite comprobar si los músculos responden correctamente a las señales nerviosas (46).
  - Longitud zancada: La longitud de zancada es la distancia de dos pasos o entre el talón del mismo pie.
  
- **Escala de equilibrio de Berg (BBS):** Escala de 14 elementos que evalúa cuantitativamente el equilibrio y el riesgo de caídas en adultos mayores mediante la observación directa de su desempeño . Mide la capacidad del paciente para mantener el equilibrio, ya sea estáticamente o dinámicamente o mientras realiza varios movimientos funcionales. Los ítems se califican de 0 a 4, con una puntuación de 0 que representa la incapacidad de completar la tarea y una puntuación de 4 que representa la finalización independiente del ítem. Se calcula una puntuación global de 56 puntos posibles. Las puntuaciones de 0 a 20 representan un deterioro del equilibrio, 21 a 40 representan un equilibrio aceptable, y 41 a 56 representan un buen equilibrio. El BBS mide tanto los aspectos estáticos como los dinámicos del equilibrio. **(Anexo 8)** (47).

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

Para los marcadores bioquímicos:

- **Captación máxima oxígeno (VO<sub>2</sub> PICO):** Máxima cantidad de oxígeno que nuestro organismo puede transportar en un minuto. Constituye la manera más eficaz de medir la capacidad aeróbica de un individuo. Se mide en ml/kg/min (48).
- **Concentraciones BDNF:**
  - **BDNF:** proteína que se encuentra en el cerebro y la médula espinal llamada factor neurotrófico derivado del cerebro. Promueve la supervivencia de las neuronas, desempeñando un papel en el crecimiento, la maduración (diferenciación) y el mantenimiento de estas células. En el cerebro, el BDNF está activo en las conexiones entre las células nerviosas (sinapsis) y además ayuda a regular la plasticidad sináptica, que es importante para el aprendizaje y la memoria (49).

## 6.RESULTADOS

Finalmente, tras aplicar los criterios elaborados para la selección de los trabajos, se han analizado 7 artículos en esta revisión. En este apartado se mostrarán de manera detallada los resultados encontrados en cada uno de ellos. **(Anexo 1).**

### 6.1 Tipos de artículos seleccionados

Entre los 7 artículos analizados se encuentran dos estudios de caso, dos ensayos clínicos no controlados, dos ensayos clínicos aleatorios cruzados, y un ensayo clínico aleatorizado.

### 6.2 Análisis de la muestra y método de intervención.

Las características de la muestra se muestran en la siguiente tabla:

*Tabla 6: Características de la muestra de los estudios*

Autor	Nº pacientes	Nivel de lesión	Clasificación ASIA	Duración	Sexo	Rango de edad	Promedio de edad
Bragz et al.*(37)	15	C1-T10	C o D	> 1 año	H=11 M=4	18-75 años	49 ± 8,1 años
Onushko et al. (42)	13	C3-T6	C=1 D=12	> 1 año	No específica	18-75 años	50 ± 7,2

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

							años
<b>Bisson y Newsam (50)</b>	1	C6	C	> 1 año	M=1	18-75 años	70 años
<b>Leech et al.(51)</b>	9	C4-T10	No especifica	> 1 año	H=6 M=3	18-75 años	H=50,33 M=50 (años)
<b>Leech y Hornby* (52)</b>	11	C3-T4	C=1 D=10	> 6 meses	H=9 M=2	18-75 años	H=41,77 M=38 (años)
<b>Holleran et al. (36)</b>	4	C5-T3	C=2 D=2	> 1 año	H=3 M=1	18-75 años	H=42,33 M=18 (años)
<b>Ardestani et al. (24)</b>	12	T10 o superior	C o D	> 1 año	No especifica	18-75 años	No especifica

Con respecto a las características de las muestras, se puede comprobar que el tamaño de las mismas es limitado, con estudios con un número de sujetos inferior a 20. Sin embargo en algunos casos como el trabajo realizado por **Bragz et al. (37)** o **Leech y Hornby (52)** la muestra inicial fue mayor a la cantidad de individuos que fueron capaces de completar el estudio.

En relación al nivel de lesión, la totalidad de estudios cuentan con lesiones desde cervical alta (C1-C3) hasta T10 las lesiones más bajas, sin presencia de lesiones a nivel lumbar. Si nos referimos a la clasificación ASIA de las lesiones, todas son lesiones incompletas, con un claro predominio de lesiones grado D con una menor presencia de lesiones grado C. Todos los sujetos se encuentran en fase crónica de la lesión de más de un año de duración, salvo el trabajo de **Leech y Hornby (52)**, donde se incluyen sujetos en fase crónica de más de 6 meses de duración. De un total de 60 individuos analizados en todos los estudios únicamente 40 de ellos fueron caracterizados en función de su sexo, mostrando un predominio del sexo masculino con 29 hombres y 11 mujeres.

Por último en relación a la edad de la muestra, todos los estudios recogieron individuos adultos comprendidos en un rango de edad entre 18 y 75 años, donde la media de edad de los individuos predominante es entre los 40 y los 50 años de edad.

En la siguiente tabla se muestran las características en referencia al tipo de estudio, a la intervención realizada y los datos referentes al diseño de las sesiones:

*Tabla 7: Tipo de estudio, tipo y diseño de la intervención*

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

<b>Autor</b>	<b>Tipo de estudio</b>	<b>terapia</b>	<b>Nº de sesiones</b>	<b>Duración</b>	<b>Días/semana</b>	<b>Tiempo (semanas)</b>
<b>Bragz et al.* (37)</b>	Ensayo aleatorio cruzado	4 tareas de paso (10 minutos por sesión) :trabajo en cinta rodante dependiente de la velocidad, entrenamiento dependiente de la habilidad, trabajo sobre suelo, trabajo en escaleras	20	1h	3-5 días	6 semanas
<b>Onushko et al. (42)</b>	Ensayo clínico aleatorizado	4 tareas de paso: trabajo en cinta rodante dependiente de la velocidad, entrenamiento dependiente de la habilidad, trabajo sobre suelo, trabajo en escaleras.	20	40 minutos	3-5 días	4-6 semanas
<b>Bisson y Newsam (50)</b>	Estudio de caso	Actividades funcionales específicas para cada tarea, identificadas por el paciente seguidas de un periodo "off" (2 de 12 y 10 semanas) sin terapia especializada, con un programa de ejercicios individualizado en su casa	14	90 minutos	5 días	3 semanas de sesiones en un período de 22 semanas
<b>Leech et al. (51)</b>	Ensayo no controlado	Marcha sobre TM con el uso de un arnés y apoyo del peso corporal sólo cuando era necesario (hasta el 40% dependiendo del nivel de habilidad)	No especifica	1h	3 días	12 semanas
<b>Leech y Hornby* (52)</b>	Ensayo no controlado	Ejercicio de intensidad graduada en TM con arnés comenzando a 0,1 m/s durante 2 min, con incrementos de velocidad de 0,1 m/s cada 2 min.	1	hasta requerir soporte del arnés o parada voluntaria de la prueba		
<b>Holleran et al. (36)</b>	Estudio de caso (Serie de casos)	2 primeras semanas (6-10 sesiones), sólo se realizó marcha hacia adelante en una TM motorizada (trabajo en cinta de correr dependiente de la velocidad)	40	1h	3-5 días	10 semanas

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

		Las semanas restantes:4 tareas de paso: trabajo en cinta rodante dependiente de la velocidad, entrenamiento dependiente de la habilidad, trabajo sobre suelo, trabajo en escaleras.				
<b>Ardestani et al. (24)</b>	Ensayo aleatorio cruzado	4 tareas de paso: trabajo en cinta rodante dependiente de la velocidad, entrenamiento dependiente de la habilidad, trabajo sobre suelo, trabajo en escaleras.	20	1h	No especifica	4-6 semanas

Como se puede observar en la tabla 7, en relación al tipo de estudio, vemos que los trabajos son diferentes entre si. Entre ellos se encuentran dos estudios de caso, dos ensayos no controlados, un ensayo clínico aleatorizado y dos ensayos aleatorios cruzados, por lo que se puede observar que en la mayoría de los estudios publicados, se carece de un grupo control. La mayoría de las intervenciones se centraron en el trabajo de la marcha, donde predominantemente el trabajo realizado consistió en 4 tareas de la función de caminar, basados en trabajo en cinta rodante dependiente de la velocidad, entrenamiento dependiente de la habilidad, trabajo sobre suelo y trabajo en escaleras (37)(42)(36)(24). En el caso de **Leech et al.** (51) y de **Holleran et al.** (36) se realizó marcha sobre TM con el uso de un arnés y apoyo del peso corporal, **Leech y Hornby** (52) realizaron ejercicio de intensidad graduada en TM con arnés, con incrementos de velocidad, y por último **Bisson y Newsam** (50) realizaron actividades funcionales específicas para cada tarea, identificadas por el paciente seguidas de un periodo "off" sin terapia especializada, con un programa individualizado a domicilio.

En referencia al número de sesiones, fue predominante que el estudio tuviera una duración de 20 sesiones (37)(42)(24), **Leech y Hornby** (52) solo realizaron una única sesión, **Holleran et al.** (36) 40 sesiones, **Bisson y Newsam** (50) 14, y **Leech et al.** (51) no especificaron en su trabajo el número de sesiones realizadas.

Teniendo en cuenta la duración de la terapia (tiempo de sesión) la mayoría tuvieron una duración de 1h (37)(51)(36)(24), exceptuando el trabajo de **Onushko et al.** (42) donde la duración de las sesiones fue de 40 minutos, **Bisson y Newsam** (50) que hicieron sesiones de 90 minutos y **Leech y Hornby** (52) con una duración de la terapia variable, ya que estuvo

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

determinada por el tiempo que el paciente tolerara la prueba, es decir, que requiriese soporte de arnés o parase voluntariamente la prueba.

La frecuencia con la que se realizaban las sesiones fue de 3-5 días en casi todos los estudios (37)(42)(51)(50)(36), exceptuando a **Leech y Hornby** (52) que como se mencionó anteriormente solo realizaron una única sesión. **Ardestani et al.** (24) no lo especifican.

Por último la duración del tratamiento en semanas fue de entre 4-6 semanas (37)(42)(24), de 22 semanas (50), 12 semanas (51) y 10 semanas (36). Lo que muestra que no existe una gran uniformidad en la duración de los mismos.

### **6.3 Comprobar si es posible alcanzar y mantener rangos de alta intensidad en lesionados medulares.**

#### **6.3.1. Calificación de la intensidad: FC y RPE**

**Onushko et al.** (42) para calificar la intensidad del ejercicio, emplearon las variables de RPE y FC. Los resultados mostraron que el grupo de alta intensidad tuvo una media máxima de FC  $72 \pm 12\%$  del máximo predicho para la edad por sesión de entrenamiento y una media de esfuerzo percibido de  $17 \pm 1$ . Las diferencias fueron significativas entre los grupos de entrenamiento de baja y alta intensidad para el RPE ( $p < 0,01$ ), pero no en la FC ( $p = 0,07$ ).

En el estudio de **Bragz et al.** (37) que tuvo como objetivo evaluar los efectos de la intensidad del ET en los resultados de la marcha, los individuos realizaron un diseño cruzado aleatorio donde los participantes se asignaron al azar a un tratamiento de alta o baja intensidad. La calificación de la intensidad del ejercicio medida con la FC y con el RPE obtuvo los siguientes resultados: El promedio de FC máxima alcanzada durante cada sesión fue diferente entre los grupos. Con el ETAI, se alcanzó un promedio de FC de  $70\% \pm 12\%$  FCmáx. El primer grupo no pudo alcanzar los rangos de alta intensidad, ya que los aumentos de velocidad o la resistencia/asistencia añadida no lograron aumentar la FC lo suficiente como para alcanzar las zonas objetivo. El promedio de RPE durante el ETAI frente a la de baja fue de  $16 \pm 1,4$  y  $13 \pm 1,1$ .

En la serie de casos llevada a cabo por **Holleran et al.** (36) el objetivo fue evaluar la viabilidad y la eficacia a corto y largo plazo de la práctica de paso a través de ETAI. La intensidad del ejercicio también se midió a través de las variables de FC y RPE. Los valores máximos de FC alcanzados durante las sesiones se situaron en un promedio de entre el 65% y el 83% de la FCmáx prevista para la edad. Los valores de RPE máximo oscilaron en un rango entre 17 y 19.



Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

**Leech et al.** (51) por su parte evaluaron los efectos de la exposición repetida al ETAI. Los 9 individuos que realizaron terapia de alta intensidad, caminaron sobre una TM con el uso de un arnés y el apoyo del peso corporal cuando era necesario (hasta el 40% del peso corporal, dependiendo del nivel de habilidad). Valoraron los cambios en la percepción de la intensidad del entrenamiento locomotor a través del RPE durante la actividad. Los individuos contaban con una intensidad objetivo superior a 14. El promedio de la RPE obtenido durante estas sesiones de entrenamiento fue de 15.

En el estudio de **Ardestani et al.** (24) evaluaron los efectos de la intensidad del ET en la coordinación cinemática y neuromuscular a través de un diseño cruzado aleatorio, donde los individuos fueron sometidos a un tratamiento de alta y baja intensidad. Respecto a la calificación de la intensidad del ejercicio compararon medidas repetidas de las intensidades del ejercicio, medidas a través de la FC máxima (alto:  $127 \pm 23$  vs. bajo:  $107 \pm 19$ ;  $p < 0.001$ ) y RPE máximo ( $16 \pm 1.3$  vs.  $13 \pm 1.1$ ;  $p < 0.001$ ).

Por último en el trabajo realizado por **Leech y Hornby** (52) se demostraron aumentos significativos en las medidas absolutas y relativas cardiorrespiratorias y subjetivas de la intensidad del ejercicio, de intensidades bajas a moderadas y altas. La FC y el RPE de los subconjuntos fueron coherentes con los datos normativos a intensidades bajas, moderadas y vigorosas.

## **6.4 Comprobar que cambios se producen a nivel musculo esquelético**

### **6.4.1 Fuerza: Máxima contracción voluntaria.**

**Onushko et al.** (42) tuvieron como objetivo evaluar la coordinación simpático-somatomotora después un entrenamiento locomotor de alta o baja intensidad. Los individuos fueron asignados al azar para recibir un tratamiento de ETAI o de baja intensidad. Obtuvieron que la intensidad no tuvo efecto significativo en la fuerza voluntaria, ya que ambos grupos no demostraron diferencias en la MVC antes y después del entrenamiento y una fuerza similar de extensión de rodilla. (alta intensidad pre vs. post:  $p = 0,25$ ; baja intensidad pre vs. post:  $p = 0,35$ ).

### **6.4.2 Reflejos: reflejo rotuliano**

Los cambios en los reflejos, se evaluaron a través del torque del tendón rotuliano. **Onushko**

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

**et al.** (42) por su parte observaron que el grupo de ETAl demostró una disminución significativa en el %Δ P-P de torque reflejo comparado con el grupo de ET de baja intensidad durante los ensayos con estímulos de frío ( $p < 0,01$ ), dolor ( $p < 0,05$ ) y de carácter cognitivo ( $p < 0,05$ ) tanto durante el período estresante como en el de recuperación.

## 6.5 Comprobar si se producen cambios a nivel de la marcha

### 6.5.1 6 minute walk test (6MWT)

**Bragz et al.** (37) no observaron efectos significativos en relación a la prueba de 6MWT, donde se observaron efectos significativos en el tiempo ( $P < 0,01$ ), pero no en el tiempo por intensidad, (cambios después de alta contra baja intensidad:  $26 \pm 27$  vs  $14 \pm 30$  m;  $P = 0,16$ ). Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla (**Tabla 8**):

Medidas primarias	Alta intensidad		Baja intensidad		valores P de cruce		Valores P grupos iniciales	
	Pre	Post	Pre	Post	tiempo	Tiempo x intensidad	tiempo	Tiempo x intensidad
6MWT (m)	196 ± 128	223 ± 147	197 ± 131	211 ± 136	<.01 <sup>[1][2]</sup>	.10 <sup>[1][2]</sup>	<.01	.24
Velocidad TM (m/s)	0.72 ± 0.46	0.90 ± 0.48	0.77 ± 0.40	0.79 ± 0.44	.02	<.01	<.01	<.01
Secundarias: clínicas								
SSS (m/s)	0.49 ± 0.30	0.54 ± 0.32	0.49 ± 0.28	0.48 ± 0.27	.43	.02	.24	.52
FS (m/s)	0.64 ± 0.41	0.76 ± 0.46	0.71 ± 0.45	0.78 ± 0.49	.01	.01	.02	.23
BBS (a.u)	32 ± 15	31 ± 15	32 ± 16	32 ± 15	.74	.42	.71	.45

*Tabla 8: Resultados del estudio de Bragz et al para las medidas de la marcha (37).*

**Bisson & Newsam** (50), en su estudio, llevaron a cabo sesiones de fisioterapia de corta duración y alta intensidad para aumentar la autoeficacia, la confianza y la función. En el 6MWT la paciente mejoró su distancia de caminata en la semana 1 en 27,7 m, con un total final de mejora del 145% desde la línea de base hasta el final de la evaluación de la semana 3. Los datos obtenidos para las variables de marcha tras el tratamiento se muestran en la (**Tabla 9**):

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

	5m gait speed	Timed up and go	6 minute walk distance
examen	0,13m/s	-----	-----
Comienzo semana 1	-----	52,5 s	60 m
Final semana 1	0,26 m/s	37,0 s	87,8 m
Comienzo semana 2	0,27 m/s	31,1 s	91,4 m
Final semana 2	0,32 m/s	-----	106,7 m
Comienzo semana 3	0,44 m/s	30,2 s	139,6 m
Final semana 3	0,46 m/s	30,3 s	147,2 m
% cambio desde examen hasta final del programa	254%	42%	145%
<b>Cambio mínimo detectable (MCD)</b>	0,13m/s	No establecido	45,8 m o 22% cambio
<b>MCD alcanzado o excedido</b>	Si	n/a	Si
<b>Diferencia mínima de importancia clínica</b>	0,13m/s	10,8 s	36 m
<b>MCID alcanzado o excedido</b>	Si	Si	Si

Tabla 9: resultados para las variables de la marcha Bisson y Newsam (50).

Holleran et al (36) por su parte observaron mejoras medias en el 6MWT (41±28 m). . Los resultados obtenidos en el trabajo en relación a los cambios en la marcha se muestran en la (Tabla 10):

	S1			S2			S3			S4		
primarias	Pre	Post	F/U	Pre	Post	F/U	Pre	Post	F/U	Pre	post	F/U
SSS (m/s)	0.22	0.26	0.24	0.10	0.19	-	0.13	0.18	0.12	1.02	1.25	0.99
FS (m/s)	0.29	0.36	0.36	0.10	0.26	-	0.16	0.27	0.15	1.53	1.64	1.37
6MWT (m)	76	87	91	35	64	-	34	80	31	432	509	433
<b>Secundarias</b>												
BBS	9	12	15	8	12	-	5	7	6	51	53	51
Velocidad máxima TM (m/s)	0.50	0.60	0.50	0.20	0.50	-	0.10	0.30	0.10	1.2	1.3	1.3

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

*Tabla 10: Resultados medidas de la marcha Holleran et al. (36).*

### 6.5.2 Time up and Go (TUG)

**Bisson & Newsam (50)** obtuvieron una disminución en el TUG, mejorando desde la semana 1 de 52,5 a 37,0 s hasta el final de la semana 3 con una mejora total del 42% desde la línea de base (**Tabla 9**).

### 6.5.3 Gait speed (5m walk test)

La velocidad de la marcha sufrió un aumento continuo en el estudio de **Bisson & Newsam (50)** con una mejora total del 254% desde la línea de base. Durante la semana 2, la paciente identificó que quería caminar con muletas para el antebrazo, porque sentía que serían menos restrictivas para su movilidad. La velocidad de marcha con muletas bilaterales se midió inicialmente al final de la segunda semana de intervención (0,19 m/s), y mejoró mínimamente al final de la tercera semana de intervención (0,22 m/s) (**Tabla 9**).

### 6.5.4 Velocidad máxima (cinta rodante)

El estudio de **Bragz et al. (37)** mostró cambios significativos en el ETAI frente al de baja. Se observaron efectos significativos para la prueba de velocidad máxima en cinta rodante, tanto en tiempo como tiempo x intensidad ( $0,18 \pm 0,14$  vs  $0,02 \pm 0,02$  m/s,  $P = 0,02$  y  $P < 0,01$ ) Además el análisis estadístico del grupo paralelo inicial solamente (es decir, excluyendo el entrenamiento cruzado) reveló ganancias significativamente mayores en la velocidad máxima de la TM después de un entrenamiento de alta vs. baja intensidad realizado primero ( $0,21 \pm 0,13$  vs.  $0,00 \pm 0,12$  m/s,  $P < 0,01$ ) con ganancias similares después del período de entrenamiento del segundo ( $0,15 \pm 0,14$  vs.  $0,03 \pm 0,10$  m/s). (**Tabla 8**).

Por su parte **Leech et al. (51)** en la evaluación de los efectos del entrenamiento de alta intensidad sobre las medidas de la marcha reveló cambios aumentos significativos en las velocidades máximas (de  $X0,64$  [SD 0,26] m/s a  $X0,80$  [0,25] m/s,  $P.01$ ). **Holleran et al (36)** también revelaron aumentos en la velocidad máxima de la TM ( $0,18 \pm 0,10$  m/s) (**Tabla 10**). Por otro lado, y en consonancia, **Ardestani et al. (24)** observaron también aumentos significativos en la velocidad de la TM después del ETAI ( $0,75 \pm 0,38$  a  $1,0 \pm 0,40$  m/s,  $p < 0,01$ )

Por último **Leech y Hornby (52)**, demostraron un amplio rango de velocidades máximas de marcha alcanzadas durante la prueba (0,4-1,6 m/s). La velocidad media alcanzada en intensidades de ejercicio bajas, moderadas y altas fue de 0,36 - 0,12 (33% de la velocidad máxima), 0,75 - 0,23 (66% de la velocidad máxima), y 1,1 - 0,35 (100% de la velocidad máxima) m/s, respectivamente.

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

### **6.5.5 Promedio velocidades autoseleccionadas (SSS)**

En el trabajo llevado a cabo por **Bragz et al.** (37) observaron efectos significativos de las interacciones tiempo y tiempo por intensidad para el SSS ( $0,12 \pm 0,10$  vs  $0,03 \pm 0,13$  m/s,  $P = 0,01$ ) El análisis de las medidas clínicas secundarias para los grupos de entrenamiento inicial sin el cruce no revelan ninguna interacción significativa de tiempo por intensidad para el SSS ( $0,04 \pm 0,10$  vs  $0,01 \pm 0,05$  m/s,  $P = 0,52$ ). Sin embargo, para ambas medidas se observaron cambios similares después del segundo período de entrenamiento (SSS,  $0,05 \pm 0,07$  vs  $-0,03 \pm 0,09$  m/s). (**Tabla 8**).

Por su parte **Holleran et al** (36) entre los cambios observados en la función de caminar también incluyeron mejoras medias para esta variable ( $0,10 \pm 0,09$  m/s) (**Tabla 10**).

### **6.5.6 Velocidad más rápida posible (FS)**

**Bragz et al.** (37) en el análisis para los grupos de entrenamiento inicial no revelan ninguna interacción significativa de tiempo por intensidad para el FS ( $0,14 \pm 0,11$  vs  $0,05 \pm 0,14$  m/s,  $P = 0,23$ ), Sin embargo, para ambas medidas se observaron cambios similares después del segundo período de entrenamiento (FS,  $0,10 \pm 0,09$  vs  $0,02 \pm 0,12$  m/s).

El estudio de **Holleran et al** (36) reveló mejoras medias para el FS con resultados de ( $0,11 \pm 0,03$  m/s) (**Tabla 10**).

### **6.5.7 Variables cinemáticas (Ángulos articulares excursiones articulares, cadencia, coordinación articular , Activación sinérgica muscular, longitud zancada)**

**Leech et al.** (51) encontraron que a velocidades más rápidas, se produjeron aumentos significativos tanto en la longitud como en la cadencia de las zancadas. Además las comparaciones entre el preentrenamiento y el posentrenamiento del ROM articular a las velocidades más rápidas indicaron un aumento del ROM total de la rodilla, con cambios más limitados en el ROM total de la cadera y el tobillo. Los resultados de las variables cinemáticas se muestran en la (**Tabla 11**):

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

Variable	Velocidades más rápidas				velocidad más rápida de adaptación			
	pre	post	p	n	pre	post	p	n
Medidas espaciotemporales								
Cadencia (pasos min)	72 ± 21	81 ± 19	.02	9	72 ± 21	69 ± 20	.19	9
Longitud zancada (m)	1.0 ± 0.2	1.2 ± 0.2	<.01	9	1.0 ± 0.2	1.1 ± 0.2	.02	9
Cadencia COV	5.6 ± 1.9	4.4 ± 2.5	.24	9	5.6 ± 1.9	4.9 ± 2.7	.28	9
Longitud zancada COV	4.1 ± 1.1	4.1 ± 1.9	.90	9	4.1 ± 1.1	4.5 ± 3.5	.78	9
Cinemática de las articulaciones								
Total conjunto ROM (°)								
tobillo	30 ± 13	31 ± 12	.61	9	30 ± 13	30 ± 10	.93	9
rodilla	47 ± 14	50 ± 13	.05	9	47 ± 14	50 ± 13	.29	9
cadera	41 ± 12	45 ± 9.3	.06	9	41 ± 12	41 ± 10	.73	9
Total conjunto ROM COV								
tobillo	19 ± 14	11 ± 3.7	.06	9	19 ± 14	9.9 ± 4.3	.07	9
rodilla	7.7 ± 3.7	8.4 ± 6.3	.69	9	7.7 ± 3.7	9.6 ± 6.7	.44	9
cadera	5.6 ± 2.1	6.5 ± 2.5	.31	9	5.6 ± 2.1	5.0 ± 1.5	.27	9

Tabla (11): Resultados de las variables cinemáticas Leech et al. (COV= coeficiente porcentual de variación de la media (51).

En cuanto a la sincronización de la actividad muscular, evaluada a través de EMG a lo largo del ciclo de marcha, no se encontraron cambios significativos en las velocidades más rápidas o en las de mayor adaptación (51). Los datos obtenidos en el estudio se muestran en la (Tabla 12):

Músculo	Velocidades más rápidas			velocidad más rápida de adaptación			
	Pre	Post	P	Pre	Post	P	n
Recto femoral	0.86 ± 0.19	0.84 ± 0.25	.92	0.86 ± 0.19	0.82 ± 0.16	.35	6
Vasto lateral	0.89 ± 0.23	0.98 ± 0.57	.60	0.89 ± 0.23	1.06 ± 0.78	.60	6
semimembranoso	0.44 ± 0.15	0.66 ± 0.63	.46	0.44 ± 0.15	1.34 ± 2.18	.25	6

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

<b>Gastrocnemio medial</b>	1.18±1.94	0.28±0.11	.17	1.18±1.94	0.29± 0.11	.35	6
<b>Sóleo</b>	0.48±0.18	1.05±1.44	.89	0.48±0.18	1.10±1.42	.69	5
<b>Tibial anterior</b>	0.93±0.86	0.71±0.51	.60	0.93±0.86	0.63±0.50	.60	6

Tabla 12: Resultados Leech et al. sincronización actividad muscular a lo largo del ciclo de la marcha (51).

Holleran et al. por su parte observaron que inmediatamente después del entrenamiento, todos los participantes demostraron cambios en la longitud de la zancada, en la cadencia, o en ambas. El ROM del tobillo, la rodilla y la cadera aumentó mínimamente, en la extremidad menos dañada entre los participantes, mientras que los cambios en la extremidad más dañada fueron más pequeños. No hubo tendencias consistentes de cambios en la cinemática articular o espacio-temporal (Tabla 13).

	S1		S2		S3		S4	
	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
<b>Espacio-temporal</b>								
<b>Velocidad (m/s)</b>	0.50	0.60	0.20	0.50	0.10	0.30	1.2	1.3
<b>Longitud zancada (m)</b>	1.2	1.5	0.7	1.1	0.5	0.9	1.5	1.4
<b>Cadencia (pasos/min)</b>	51	51	37	57	24	46	100	111
<b>Menos afectada</b>								
<b>ROM tobillo (°)</b>	40	45	14	18	16	38	34	36
<b>ROM rodilla (°)</b>	81	85	73	68	47	50	46	61
<b>ROM cadera (°)</b>	60	70	49	48	29	42	55	58
<b>ACC</b>	0.95	0.95	0.79	0.86	0.61	0.52	0.89	0.87
<b>Más afectada</b>								
<b>ROM tobillo (°)</b>	38	43	21	22	11	13	18	19
<b>ROM rodilla (°)</b>	79	72	73	68	26	25	29	26
<b>ROM cadera (°)</b>	66	65	36	38	17	30	46	48
<b>ACC</b>	0.88	0.84	0.62	0.79	0.54	0.47	0.89	0.96

Tabla 13: Resultados medidas cinemáticas Holleran et al (36).

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

Por último **Ardestani et al.** (24) a través de su estudio, observaron aumentos no significativos tanto en la cadencia ( $88\pm 43$  a  $98\pm 33$  pasos/min,  $p=0,52$ ) como en la longitud de la zancada ( $1,07\pm 0,30$  a  $1,12\pm 0,26$  m,  $p=0,83$ ). Además también se observaron aumentos significativos en el ROM de la articulación bilateral de la cadera (fuerte:  $p=0,04$ ; débil:  $p=0,01$ ) y el ROM de la rodilla (fuerte:  $p=0,03$ ; débil:  $p=0,04$ ) del miembro fuerte ( $p=0,02$ ). La coordinación de la flexión de cadera y rodilla (es decir, ACC) también mejoró bilateralmente con cambios que alcanzaron significación estadística sólo en la extremidad más débil ( $p=0,04$ ). Sin embargo a pesar de los cambios dentro de cada grupo de entrenamiento, no se observaron diferencias significativas en los cambios observados entre ETAI y de baja intensidad.

La evaluación de los cambios cinemáticos a velocidades equiparadas confirmó mejoras significativas en el ROM de la rodilla del miembro más débil ( $p=0,02$ ) así como en la asimetría de la cadera y la rodilla del miembro interno (fuerte:  $p=0,04$  débil:  $p=0,04$ ) con. Por lo demás, las comparaciones de velocidad no mostraron cambios significativos en la cinemática de las articulaciones después de ninguno de los dos paradigmas de entrenamiento. Los resultados se muestran en la **tabla 14**:

	Alta intensidad		Baja intensidad		Alta vs baja
	Pre	Post	Pre	Post	
Variable de marcha	Pre	Post	Pre	Post	P
	Media±Std	Media±Std	Media±Std	Media±Std	
<b>FUERTE</b>					
Excursión de tobillo	27.6±13.3	26.5±14.6	25.5±13.4	24.8±12.8	0.87
Dorsiflexión de tobillo	21.0±7.5	16.4±6.3*	18.0±5.6	15.6±7.5	0.25
Flexión plantar de tobillo	6.7±13.1	10.1±14.3	7.5±11.7	9.2±14.4	0.60
Excursión de rodilla	44.4±12.4	50.7±12.5*	49.3±11.8	48.1±17.0	0.30
Extensión de rodilla	6.5±10.6	6.3±11.9	2.7±11.5	5.7±9.7	0.42
Flexión de rodilla	50.9±14.1	57.0±15.3*	51.9±13.2	53.8±13.9	0.23
Excursión de cadera	42.8±11.1	48.1±8.4*	45.6±8.6	48.3±10.7	0.71
Extensión de cadera	15.1 ±12.7	9.7±10.4	15.0±12.4	6.9±11.1*	0.51



Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

<b>DÉBIL</b>	Flexión de cadera	27.7±7.3	38.4±7.0*	30.5±8.5	41.5±11.7*	0.96
	ACC*	0.93±0.05	0.96±0.03	0.95±0.05	0.96±0.03	0.25
	SKW*	1.02±0.35	0.99±0.26	0.97±0.28	1.16±0.59	0.17
	Excursión de tobillo	28.2±14.9	29.3±12.1	29.1±12.6	28.0±13.5	0.90
	Dorsiflexión de tobillo	21.2±7.7	17.6±11.5	15.4±7.8	17.6±8.2	0.08
	Flexión plantar de tobillo	9.7±17.7	13.7±17.9	13.7±15.0	11.4±14.9	0.29
	Excursión de rodilla	39.0±14.5	42.0±13.9	45.1±15.8	42.7±14.0	0.12
	Extensión de rodilla	10.9±13.8	12.2±16.3	4.5±12.8	5.7±10.5	0.99
	Flexión de rodilla	49.9±14.5	54.2±14.1*	49.6±13.8	48.4±13.20	0.09
	Excursión de cadera	39.2±10.8	45.5±1.0*	43.5±11.6	45.0±13.5	0.39
	Extensión de cadera	12.8±18.7	8.8±9.2	14.4±12.7	5.9±10.8*	0.46
	Flexión de cadera	26.3±14.6	36.7±11.1*	29.1 ±10.9	39.1±12.4*	0.94
	ACC*	0.91±0.08	0.95±0.05*	0.94±0.07	0.94±0.07	0.07
	SKW*	1.1± 0.40	1.2± 0.40	1.04 ±0.38	1.09 ±0.31	0.78

Tabla 14: Resultados cinemática espacio-temporal y articular Ardestani et al. (24).

Analizando las sinergias (extraídas de señales de EMG): los ensayos de velocidad máxima demostraron un aumento de la complejidad neuromuscular desde la línea de base hasta el post tratamiento de alta intensidad (miembro débil: 4,3±0,75 a 4,9±0,66, p=0,01; miembro fuerte: 4,0±0,60 a 4,5±0,52, p=0,02). Más específicamente, 6/12 y 5/12 participantes demostraron un aumento de al menos una sinergia en sus miembros más débiles y fuertes respectivamente después de realizar ETAI. En los análisis de sinergia en los ensayos de velocidad de emparejamiento los resultados fueron similares; es decir la complejidad

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

neuromuscular aumentó después de realizar ETAI (miembro débil:  $4,3\pm 0,75$  a  $4,8\pm 0,57$ ,  $p=0,04$ ; miembro fuerte:  $4,0\pm 0,60$  a  $4,4\pm 0,52$ ,  $p=0,03$ ) pero permaneció sin cambios después de realizar ET de baja intensidad (miembro débil:  $4,8\pm 0,57$  a  $4,6\pm 0,51$ ,  $p=0,25$ ; miembro fuerte:  $4,5\pm 0,67$  a  $4,6\pm 0,51$ ,  $p=0,31$ ) Los resultados se muestran en la siguiente imagen **(Imagen 1)**

Subject ID	Order	High intensity						Low intensity			
		Strong			Weak			Strong		Weak	
		BSL	POST		BSL	POST		BSL	POST	BSL	POST
1	H/L*	4	4	↑	5	5	↑	5	4	5	4
4	H/L**	4	4	↑	4	5		5	5	5	5
5	H/L	4	4		4	4		4	5	4	4
6	H/L	4	5	↑	3	5	↑	4	5	5	5
7	H/L	5	5	↑	5	5	↑	5	5	5	5
11	H/L	3	4		4	4	↑	3	4	6	4
2	L/H**	5	5		5	5		5	5	5	5
3	L/H	4	5		5	5		5	5	5	4
8	L/H	4	4		4	5		5	4	5	5
9	L/H	3	5		4	6		4	5	5	5
10	L/H	4	5		5	6		5	4	5	5
12	L/H	4	4		3	4		4	4	4	4

\*H/L: received high-intensity LT first, followed by low-intensity LT

\*\*L/H: received low-intensity LT first, followed by high-intensity LT

*Imagen 1: Análisis de las sinergias Ardestani et al. (24).*

### 6.5.8 Equilibrio de Berg (BBS)

**Bragz et al. (37)** no observaron efectos principales o de interacción significativos para esta variable. Los cambios no se relacionaron con las ganancias en los resultados locomotores primarios o secundarios (*all*  $rs < 0.30$ ,  $P > .05$ ). **(Tabla 9)**. Por otro lado **Holleran et al (36)** encontraron aumentos en el BBS de  $2,8\pm 0,96$  **(Tabla 12)**.

## 6.6 Comprobar si se producen cambios a nivel metabolismo

### 6.6.1 Captación VO<sub>2</sub> máximo

En el trabajo llevado a cabo por **Bragz et al.** (37) el análisis de los resultados metabólicos fue secundario. Los resultados no revelaron cambios significativos para el consumo máximo de oxígeno (VO<sub>2</sub>pico) en relación tiempo por intensidad. Analizando las condiciones de entrenamiento iniciales sin el cruce reveló diferencias significativas entre los grupos ( $2,6 \pm 1,7$  vs  $-0,22 \pm 2,0$  mL O<sub>2</sub>/kg/min,  $P = 0,01$ ), aunque se observaron diferencias más pequeñas en los cambios en la coincidencia de pico de VO<sub>2</sub> durante el segundo período de entrenamiento ( $1,9 \pm 2,1$  vs  $1,1 \pm 1,8$  mL O<sub>2</sub>/kg/min).

En la serie de casos llevada a cabo por **Holleran et al.** (36) como variable secundaria se encontraron cambios y mejoras en el consumo máximo de oxígeno medido a través del VO<sub>2</sub> pico ( $4,3 \pm 1,5$  ml/kg/min). Durante el período de seguimiento las ganancias no se mantuvieron por lo menos 1 año después del entrenamiento, con todos los resultados clínicos similares a las evaluaciones previas al entrenamiento.

### 6.6.2 Cambios BDNF

**Leech y Hornby** (52) el objetivo fue determinar el efecto de los diferentes niveles de intensidad del ejercicio locomotor en las concentraciones periféricas de neurotrofinas. Evaluando el porcentaje de los niveles de BDNF en reposo, se demostraron posteriormente cambios significativos con el ejercicio y la recuperación ( $p < 0,01$ ). Se observaron mayores aumentos en BDNF durante el ETAI, en comparación con la intensidad moderada y a la baja. Además tras 15 y 30 minutos después del ejercicio el BDNF disminuyó significativamente, en comparación con las condiciones de alta intensidad.

Además, no se encontró ninguna relación entre los cambios en BDNF y la duración del ejercicio lo que apoya el papel principal de la intensidad en el aumento de BDNF con el ejercicio.

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

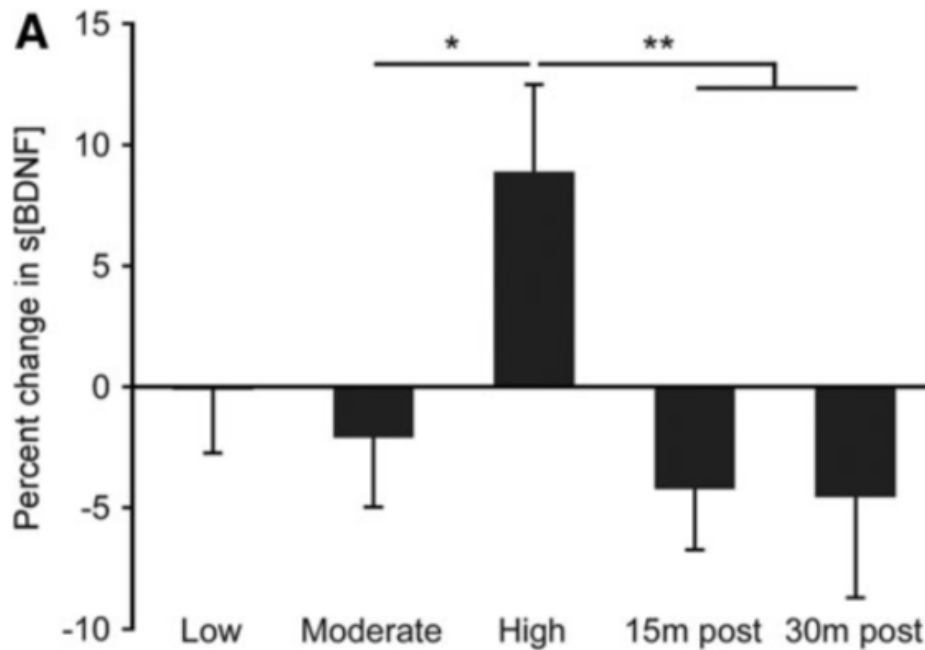


Imagen 2: gráfica de los cambios en el porcentaje de BDNF en función de la intensidad. Leech y Hornby (52).

## 7. DISCUSIÓN

Tras llevar a cabo un análisis de los resultados obtenidos en cada uno de los artículos seleccionados para esta revisión, en este apartado se realizará una discusión acerca de las diferentes variables que hemos determinado anteriormente.

### 7.1 Análisis de la muestra y del método de intervención

Todos los estudios se centran en el abordaje de lesiones medulares en sujetos humanos adultos crónicos incompletos de más de seis meses de duración, no siendo abordadas en los lesiones de tipo completo, u lesiones incompletas en otras fases de la patología. La totalidad de los artículos abordan individuos entre los 18 y lo 75 años de edad con un claro predominio masculino, lo que concuerda con los siguientes datos epidemiológicos: perfil más común de lesionados medulares (varones adultos), con un menor porcentaje de mujeres que concuerda con aproximadamente un 15% de los casos (8).

Un 52% de las lesiones medulares se producen a nivel cervical únicamente (C1-C8). Un 32% de estas lesiones se corresponden a tetraplejas tipo incompleto y en el caso de las

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

paraplejas, siendo un 48% de los casos de LM, el 21% también se corresponden a lesiones incompletas. Tanto en paraplejas como en tetraplejas, existe una dominancia clara de ASIA grado D. (8) Todos estos datos concuerdan con los datos sociodemográficos de los pacientes presentes en los diferentes artículos, donde únicamente se abordan lesiones cervicales y torácicas (C1-T10) con una mayoría de lesiones con clasificación ASIA D.

En cuanto al tipo de estudio, existe una predominancia de trabajos que carecen de un grupo control. Todos ellos se centran en el abordaje de la marcha, exceptuando los estudios de: **Leech y Hornby** (52), que se centra en la valoración de parámetros de carácter bioquímico como son las concentraciones de neurotrofinas, y por otro lado el trabajo de **Onushko et al.** (42) que se centra en evaluar los cambios en el sistema simpático-somatomotor.

En cuanto al diseño del tratamiento (número de sesiones, duración de la sesión, frecuencia y duración del tratamiento), existen ciertas concordancias aunque hay diferencias entre los autores. La mayor coincidencia se produce tanto en relación a la intervención realizada (siendo la más empleada la realización de 4 tareas de marcha), como a la frecuencia de las sesiones, siendo la mayoría de ellas entre 3 y 5 días a la semana. Por último en referencia número de las sesiones, duración de las mismas y duración total del tratamiento, los datos son variados entre sí, sin una clara uniformidad.

## **7.2 Comprobar si es posible alcanzar y mantener rangos de alta intensidad en lesionados medulares**

Con respecto a la calificación de la intensidad del ejercicio para los protocolos de alta intensidad los individuos debían alcanzar valores de FC objetivo entre el 70-85% de la FC<sub>máx</sub> prevista para la edad (46)(37)(36)(51)(24).

Concretamente en el estudio llevado a cabo por **Onushko et al.** (42) la media máxima alcanzada de FC fue de  $72 \pm 12\%$  del máximo calculado para la edad por sesión de entrenamiento, donde uno de los individuos no fue capaz de alcanzar los objetivos de FC para la alta intensidad. En otros estudios como el de **Bragz et al.** (37), con el ETAI se alcanzó un promedio de FC de  $70\% \pm 12\%$  FC<sub>máx</sub>. En este caso también se encontraron dificultades para lograr la intensidad deseada, ya que el primer grupo que realizó el protocolo no pudo tampoco alcanzar las zonas objetivo.

**Holleran et al.** (36) obtuvieron valores máximos de FC situados en un promedio de entre el 65% y el 83% de la FC<sub>máx</sub> prevista para la edad, donde todos los individuos alcanzaron el

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

objetivo. Sin embargo a pesar de haber sido capaces de alcanzarlo, algunos individuos, mostraron una incapacidad para mantener sistemáticamente el rango de FC deseado de al menos el 70%. Por ejemplo tanto el sujeto número 1 como el 2, obtuvieron una media para el pico de FC por debajo o cerca del 70%, a pesar de los intentos de alcanzar hasta el 85%.

Por otro lado **Ardestani et al.** (24) alcanzaron una FC máxima de  $127 \pm 23$ . Los sujetos lograron mayores niveles de FC durante la realización de ETAI, alcanzando el objetivo, aunque la cantidad total de pasos no fue diferente al de baja intensidad, potencialmente debido a un mayor número de descansos. Finalmente en el trabajo realizado por **Leech y Hornby** (52) concluyeron que los valores obtenidos para La FC se encuentran acorde a alta intensidad con un promedio de  $152 \pm 25$ .

Por lo tanto los datos muestran que fue posible alcanzar un nivel de esfuerzo de alta intensidad en los lesionados medulares aunque con dificultades en ocasiones para alcanzar y mantener los rangos de FC. Entre las teorías que podrían explicar este suceso, encontramos la que defienden **Onushko et al.** que afirma que la dificultad para alcanzar estos niveles elevados puede deberse a la reducción de la retroalimentación aferente con déficits en la activación neuromuscular después de una LM, o más probablemente a la disminución del impulso central a los circuitos neurales simpáticos que inervan el corazón (42). Además la totalidad de los estudios cuentan con lesiones cervicales y torácicas, que por encima de T6 podrían presentar respuestas inadecuadas al ejercicio como consecuencia de esta falta de control del sistema autónomo (42). **Bragz et al.** en correspondencia a esto sostienen que las respuestas alteradas en relación a la FC pueden deberse a factores relacionados con la lesión (es decir, la alteración de la función autónoma), la falta de movilidad y el desacondicionamiento después de la lesión, o incluso a variaciones individuales que existían antes del LM incompleta (37).

Otra de las de las razones que explicarían esta dificultad para alcanzar y mantener los niveles de FC para la alta intensidad, es que la ecuación empleada para predecir la FC<sub>máx</sub> fue  $(208 - 0,7 \times \text{edad})$ . Esta ecuación se basa en modelos estadísticos de individuos sanos, por lo que puede sobreestimar la FC alcanzable en pacientes con LM y de esta manera proponer un objetivo irreal para el paciente (42).

Por otro lado, la calificación de la intensidad en función de los valores para la RPE debían encontrarse 15-17 (“difícil” a “muy difícil”) (42)(37)(24), superiores a 14 (51) y entre 15 y 18 (36). En el estudio de **Onushko et al.** (42) la media de RPE fue de  $17 \pm 1$ . **Bragz et al.** (37).

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

Alcanzaron valores de RPE de  $16 \pm 1,4$  durante el ET de alta intensidad. Por otro lado para la serie de casos **Holleran et al.** (36) los valores de RPE máximo oscilaron en un rango entre 17 y 19 superando el valor de 19 el objetivo para la variable. **Leech et al.** (51) por su parte lograron un promedio de la RPE durante las sesiones de 15, y **Ardestani et al.** (24) alcanzaron un RPE máximo  $16 \pm 1,3$ . Por último en el trabajo realizado por **Leech y Hornby** (52) los valores obtenidos de también RPE fueron de  $16 \pm 1,8$ .

Los resultados obtenidos muestran que todos los individuos fueron capaces de alcanzar los niveles de intensidad subjetivos en función de la RPE, incluso superando los niveles pautados para la variable.

## **7.3 Comprobar qué cambios se producen a nivel músculo-esquelético**

### **7.3.1. Fuerza: Máxima contracción voluntaria**

La fuerza únicamente fue evaluada como variable por uno de los trabajos. **Onushko et al.** (42) que midieron la fuerza de base de las MVC de los extensores de la rodilla derecha. Los resultados obtenidos para esta variable no fueron los esperados, ya que la intensidad no produjo cambios significativos. En este caso ambos grupos no demostraron diferencias en la MVC antes y después del ETAI, ya que la fuerza de extensión de rodilla fue similar entre ambos grupos.

### **7.3.2 Reflejos: reflejo rotuliano**

En relación a los reflejos **Onushko et al.** plantean la hipótesis de que después de una lesión neurológica, la pérdida o disminución del control central sobre las redes espinales conduce a una desregulación tanto de los sistemas simpático y motor (42).

De esta manera observaron que la intensidad del ET alteraba de manera diferente la coordinación entre los reflejos de estiramiento y la actividad simpática. Después de un protocolo de ETAI, los reflejos de estiramiento disminuyeron durante las respuestas de los reflejos simpáticos inducidos por el frío, el dolor y cognitivo. Los resultados sugieren que los ejercicios intensivos son importantes para producir cambios neuronales para la recuperación motora y el acoplamiento simpático-somotor a través de las vías interneuronales de la columna vertebral. Además se plantea la posibilidad de que el entrenamiento intensivo en la cinta rodante locomotora puede haber mejorado el control de las vías descendentes comunes a los sistemas simpático y motor, llevando a cambios en el acoplamiento

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

simpático-somator, y sugieren que los programas de ejercicios de mayor intensidad pueden ser más beneficiosos para la recuperación en lesionados medulares incompletos.

## **7.4 Comprobar si se producen cambios a nivel de la marcha**

La marcha se evalúa en 5 estudios (37)(50)(51)(36)(24), utilizando el, 6MWT, TUG, 5m marcha, velocidad máxima TM, SSS, FS, Variables cinemáticas (Ángulos articulares excursiones articulares, cadencia, coordinación articular , Activación sinérgica muscular, longitud zancada) y la BBS como variables de medida.

### **7.4.1 6 minutos marcha (6MWT)**

En relación a esta variable, en estudios con grupo control como el de **Bragz et al.** (37) demostraron que el ETAI provocó mayores ganancias en la función locomotora en comparación con el de baja intensidad. Sin embargo no observaron diferencias para el 6MWT en función de la intensidad. Por otro lado en estudios sin grupo control, **Holleran et al.** (36) demostraron mejoras modestas en las medidas clínicas de la ambulación, mostrando dos individuos de los 4 que participaron en el estudio cambios que excedían las puntuaciones de cambio mínimo detectable para 6MWT (es decir, 46 m). Por último **Bisson y Newsam** (50) en su estudio de caso, y en concordancia con los autores anteriores, también encontraron resultados favorables para esta variable, obteniendo mejoras clínicamente significativas en la velocidad, resistencia al caminar, y en la movilidad general para el 6MWT.

### **7.4.2 Timed up and go (TUG)**

**Bisson y Newsam** (50) observaron cambios de carácter positivo, obteniendo mejoras clínicamente significativas en la velocidad, resistencia al caminar, y en la movilidad general en el TUG.

### **7.4.3 Gait Speed ( 5m walk test)**

Para esta variable de marcha **Bisson y Newsam** (50) también obtuvieron mejoras clínicamente significativas en la velocidad, resistencia al caminar, y en la movilidad general.

### **7.4.4 Velocidad máxima ( cinta rodante)**

En el ensayo de **Ardestani et al.** (24) se obtuvieron aumentos significativos en la velocidad de la TM tras el protocolo de alta intensidad. En consonancia con estos resultados **Leech et al.** (51) también demostraron que el ETAI produjo cambios significativos, dando lugar a



Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

aumentos en la velocidad máxima de marcha de 0,64-0,80 m/s, y con mejoras específicas en el patrón de marcha. De acuerdo con los resultados obtenidos en estos dos estudios **Bragz et al.** (37), **Holleran et al.** (36), también obtuvieron aumentos significativos en relación a esta variable.

#### **7.4.5 Promedio velocidades autoseleccionadas (SSS)**

**Bragz et al.** (37) demostraron que el ETAI provocó mayores ganancias en resultados locomotores en comparación con el de baja intensidad, con resultados con cambios y mejoras significativas para el SSS. **Holleran et al.** (36) por su parte demostraron mejoras modestas con cambios en 3 de los 4 participantes para el SSS.

#### **7.4.6 Velocidad más rápida posible (FS)**

**Bragz et al.** (37) en su ensayo cruzado aleatorio, se demostró que el ETAI provocó cambios significativos en la FS. De la misma manera **Holleran et al.** (36) observaron para esta medida clínica de la marcha, mejoras modestas no significativas en 3/4 participantes.

#### **7.4.7 Variables cinemáticas (Ángulos articulares excursiones articulares, cadencia, coordinación articular , Activación sinérgica muscular, longitud zancada)**

**Holleran et al.** (36) con respecto a las variables cinemáticas, demostraron mejoras en la longitud de la zancada para (S1), la cadencia para (S4), o ambas en (S2 y S3). De acuerdo con estos resultados, **Leech et al.** (51) aunque los sujetos no mostraron cambios significativos dependientes de la intensidad en la variabilidad del movimiento o actividad muscular aberrante durante la marcha, si que dio lugar a un aumento significativo en las variables de cadencia y longitud de las zancadas. De esta manera concluyeron a favor de los resultados de los otros trabajos que el ETAI puede mejorar tanto la calidad como la función de la marcha en individuos con LM.

Por otro lado **Ardestani et al.** (24) revelaron cambios con mejoras tanto en la cinemática espacio-temporal y sagital de las articulaciones como en las sinergias neuromusculares tras la realización de un protocolo de ETAI. Se observaron aumentos significativos en las excursiones de la articulación bilateral de la cadera y la excursión de la rodilla del miembro fuerte. Sin embargo para la coordinación de la flexión de cadera y rodilla se obtuvieron mejoras de forma bilateral con cambios que alcanzaron significación estadística sólo en la extremidad más débil.

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

Estos aumentos significativos en la complejidad neuromuscular, podrían indicar que las ganancias en las sinergias neuromusculares podrían no deberse únicamente a las mejoras en las velocidades alcanzadas por los sujetos, si no que también habría una influencia de los efectos del entrenamiento. A su vez, podría sugerir cambios en las estrategias neuromusculares a lo largo del ciclo de la marcha. Además los datos ponen de manifiesto la capacidad potencial de los individuos de activar discretamente grupos motores seleccionados para cumplir con varias demandas biomecánicas del ciclo de marcha, y que puede contribuir a mejorar la velocidad o los patrones cinemáticos. De esta manera concluyen que aunque los datos referentes al ETAI son favorables, las contribuciones a la mejora del rendimiento locomotor (es decir, la velocidad) siguen sin estar claras (24).

#### **7.4.8 Equilibrio: Escala de Berg (BBS)**

De los dos estudios que evaluaron esta variable, el estudio de **Bragz et al.** (37), en este caso no encontraron efectos de interacción significativos para el BBS. Del mismo modo **Holleran et al.** (36) por su parte también demostraron mejoras modestas en el equilibrio aunque las ganancias no alcanzaron un mantenimiento en el tiempo, siendo este inferior a un año después del tratamiento. Los cuatro sujetos que participaron en el estudio mostraron pequeñas ganancias para el BBS.

Una mayor intensidad puede mejorar la velocidad de la marcha, ya que el ETAI precisa de una activación neuromuscular mayor para alcanzar mayores cargas de trabajo, y que además facilita de manera potencial cambios en la neuroplasticidad que pueden contribuir a mejorar el rendimiento locomotor (24).

En correspondencia con los resultados y conclusiones de los estudios en relación a las mejoras en los parámetros de la marcha la **guía de la APTA** publicada en 2020 (53) también recomienda entrenamiento de marcha de moderada a alta intensidad después de una lesión del SNC. Basándose en 12 ensayos clínicos aleatorios de nivel 1 que examinan si el entrenamiento de la marcha de intensidad moderada a alta, o el entrenamiento de la marcha rápida, dan como resultado un mayor beneficio que la fisioterapia convencional, el estiramiento o el entrenamiento de la marcha de baja intensidad. De estos, 10 artículos se centraron directamente en la realización de actividades de caminata de intensidad moderada a alta, y 8 demostraron un beneficio significativo sobre los grupos de comparación. Por lo tanto sostiene que los fisioterapeutas deben usar intervenciones de entrenamiento para caminar de intensidad moderada a alta en este caso para mejorar la velocidad y la distancia de caminata en los individuos mayores de 6 meses, en fase crónica.

## 7.5 Comprobar si se producen cambios a nivel metabólico

### 7.5.1 VO2 pico

El VO2 es un importante predictor de la morbilidad y la mortalidad, por lo que es importante evaluar su importancia y los cambios que se producen en los diferentes paradigmas de tratamiento en relación a esta variable, para así tratar de producir mejoras en la capacidad aeróbica de los lesionados medulares (54). De esta manera **Bragz et al.** (37) no encontraron cambios significativos para el consumo máximo de oxígeno en relación tiempo x intensidad, por otro lado, los participantes del estudio de **Holleran et al.** (36), tras las intervenciones, demostraron también mejoras modestas en los resultados de la función metabólica. Durante las pruebas de ejercicio graduado, el pico de VO2 aumentó entre los participantes con ganancias medias. Ambos estudios concuerdan en que no se produce un aumento significativo en esta variable.

En consonancia con los resultados obtenidos en relación al VO2 de ambos trabajos, en otros estudios en los cuales emplearon otros paradigmas de ETAI como son el HIIT también se mostraron valores más altos de captación de oxígeno en respuesta al HIIT frente al MICT (ejercicio de intensidad moderada) revelando el potencial de que el entrenamiento a intervalos de alta intensidad se instituya como un componente de tratamiento en personas con LM, ya que tanto la captación de oxígeno aumentó durante ambas sesiones de entrenamiento de intervalos, pero sin embargo, fueron similares al ejercicio de intensidad moderada (55), por lo que los cambios tampoco fueron significativos.

Graham et al. (54) también llevaron a cabo la evaluación de los efectos del entrenamiento de intervalos de alta intensidad versus moderada en los marcadores de Salud Cardiometaabólica en individuos con LM. Este estudio encontró una mejora general del 7,2% y del 17,2% en la capacidad aeróbica en los grupos HIIT y MIT.

En general, los estudios de investigación anteriores han mostrado mejoras en el VO2 pico después de una variedad de intervenciones de ejercicio en individuos con LM. sin embargo aunque sugieren que se producen mejoras en la capacidad aeróbica, no son mejoras significativas, y en ciertos casos, los resultados apenas difieren de los obtenidos al realizar ejercicio de intensidad moderada. Por otro lado también es importante resaltar que los resultados favorables indican mejorías en la aptitud cardiovascular y la capacidad aeróbica después de un programa de ejercicio terapéutico de alta intensidad.

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

### 7.5.2 BDNF

En referencia a los cambios producidos a nivel bioquímico **Leech y Hornby** (52) fueron los primeros autores en evaluar el efecto del ET sobre la expresión de los factores neurotróficos en pacientes con LM incompleta. A través de los datos obtenidos, observaron modificaciones dependientes de la intensidad en la concentración de BDNF periférico, con el mayor aumento durante la mayor intensidad de ejercicio. De esta manera concluyeron en una única sesión, que los cambios en el BDNF periférico dependientes del ejercicio están relacionados con la intensidad relativa del ET en los individuos con LM incompleta motora.

Algunos autores plantean que el BDNF es un fuerte modulador de la plasticidad neuronal durante el desarrollo y la edad adulta y de la plasticidad inducida por la lesión. Su función va desde la neurogénesis teniendo la capacidad de promover la supervivencia y el desarrollo neuronal, hasta el aprendizaje, modulación del dolor, sensibilización central y la formación de la memoria. Además sostienen que tiene impacto tras la LM, ya que la propia lesión produce cambios fisiológicos en la expresión del receptor del BDNF. De esta manera creen que los tratamientos que aumentan los niveles de BDNF en la columna vertebral tras una LM, podrían promover la recuperación funcional y la plasticidad. (38)

Previamente Rojas Vega et al. (56) fueron los primeros en investigar en este campo los efectos del ejercicio en los factores neurotróficos, y lo realizaron en atletas con LM torácica, ASIA A y B. La investigación fue relevante para determinar los efectos potenciales del ejercicio en la rehabilitación neurológica. De esta manera concluyeron que las concentraciones de BDNF en reposo fueron elevadas en atletas con LM, que el ejercicio de corta duración de intensidad moderada pero no inminente después de un ejercicio de alta intensidad de larga duración aumenta las concentraciones séricas de BDNF.

Sin embargo, los resultados son incompatibles con los datos aportados por el estudio de **Leech y Hornby** (52). Rojas-Vega et al. (56) utilizaron dos paradigmas separados de ciclismo manual que difirieron tanto en duración como en intensidad relativa. Los sujetos realizaron un ejercicio de calentamiento de 10 minutos con una FC máxima del 54% seguido de una prueba de tiempo de duración prolongada con una FC máxima del 89%. En contraste con los hallazgos de **Leech y Hornby**, el ejercicio de baja intensidad condujo a un aumento significativo del BDNF en comparación con los niveles de reposo, mientras que el ejercicio de alta intensidad no lo hizo. De esta manera postulan que la duración prolongada del ET de alta intensidad podría producir una absorción del BDNF. Sin embargo, el mecanismo subyacente de este resultado sigue sin estar claro y sin ser concluyente.

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

Por lo tanto los datos obtenidos en los diferentes trabajos apuntan a que las concentraciones de BDNF pueden tener relación con el ejercicio y que además podrían tener relación con la intensidad del mismo. Además el ETAI, con el aumento del BDNF y la relación que este guarda con la modulación del SNC podría producir cambios en la neuroplasticidad, y que la intensidad puede ser un parámetro importante de las intervenciones de rehabilitación física después de una lesión neurológica. Sin embargo la discrepancia entre ambos estudios, pone de manifiesto la necesidad de investigar sobre el efecto de la intensidad del ejercicio en la expresión del BDNF en individuos con LM.

## **7.6 Limitaciones**

La principal limitación encontrada fue la escasez de trabajos publicados sobre el tema. Al tratarse de un técnica en proceso de desarrollo apenas hay artículos publicados en los últimos cinco años. Posteriormente se encontraron dificultades para juntar suficiente bibliografía que superase los filtros de la revisión.

Otra limitación fue el pequeño tamaño de muestra de los trabajos, puesto que es difícil reunir un grupo grande de una patología no del todo frecuente, y además al tratarse de ETAI , la disminución en la capacidad y tolerancia al ejercicio de los lesionados medulares y las propias consecuencias de la lesión hacen que muchas veces se dificulte la continuidad del tratamiento y que alguno de los sujetos abandone el estudio.

Muchos de los trabajos carecían de un grupo control, que sumado a la diversidad de los parámetros evaluados en ellos, dificulta la realización de un análisis preciso y exhaustivo de esta técnica, y la posibilidad de determinar su eficacia a través de la evidencia científica disponible.

## **7.7 Recomendaciones**

Es necesario una mayor investigación en este campo y que se publiquen más artículos referentes al tema, ya que en individuos con LM incompleta, el papel potencial de la intensidad del ET no suele ser objeto de estudio, debido a que alcanzar niveles de intensidad más altos no suele ser un objetivo claro para la patología. (24) Además también sería conveniente continuar con la investigación de los efectos y beneficios del ETAI en lesiones completas y en otras fases de la lesión.

Otro aspecto a tener en cuenta es la necesidad de publicar más estudios que se centren en la evaluación de cada uno de los temas tratados en los artículos y otras variables, que permitan comprobar la eficacia de la técnica y comprobar sus efectos a corto y a largo plazo.

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

A mayores se deberían diseñar preferiblemente ensayos controlados para poder realizar un análisis preciso acerca de la efectividad de la técnica, debido a que de la poca bibliografía disponible en los últimos años, algunos de los artículos publicados se tratan de estudios de caso o series de caso, ensayos clínicos en los que no hay un grupo control y por lo tanto aportan información poco concluyente a nivel científico.

También se recomienda el estudio de muestras más amplias, ya que en la bibliografía publicada actual, las muestras son inferiores a 20 individuos, probablemente por la dificultad de conseguir grupos de mayor tamaño.

## 8. CONCLUSIONES

Tras investigar la evidencia científica disponible sobre la eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad, se puede concluir:

- Los estudios existentes son escasos, con muestras muy limitadas careciendo la mayoría de un grupo control. Con respecto al tratamiento, su objetivo, la duración del mismo, la intervención realizada y la duración de las sesiones, no se muestra un adecuado protocolo de actuación, y se observan diferencias entre el planteamiento de los diferentes autores.
- Es posible alcanzar y mantener niveles de alta intensidad en pacientes con lesión medular, tanto en relación a parámetros objetivos de FC como subjetivos como la RPE.
- El ETAI no produjo cambios significativos en relación a los parámetros musculoesqueléticos. Con respecto a la fuerza, evaluada con la MVC no se mostraron diferencias con protocolos de baja intensidad. En relación a los reflejos el ETAI produjo efectos positivos con una disminución en los mismos. Los resultados no son concluyentes con un único estudio que evalúa estas variables.
- La aplicación de ETAI muestra mejoras en los parámetros de la marcha, con aumentos significativos en la velocidad máxima de la TM, TUG, y Gait speed. Por otra parte produjo efectos positivos pero no significativos para el 6MWT, SSS y el FS, en las variables cinemáticas y BBS. Los resultados no son concluyentes, por la escasa comparación posible con una bibliografía limitada.
- El ETAI produjo efectos positivos en relación a los parámetros bioquímicos con un aumento en las concentraciones de neurotrofinas (BDNF), Y mejoras en la capacidad aeróbica (VO<sub>2</sub> pico). Los resultados no fueron significativos, y su efecto sobre esta variable no es concluyente.
- Es necesaria una mayor investigación sobre el tema, con grupos control, muestras de mayor tamaño, y que evalúe los efectos del ETAI en función de distintas variables, para disponer de una mayor evidencia científica que permita determinar la eficacia de la técnica, comprobar su efecto a largo plazo.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

1. Warraich Z, Kleim JA. Neural plasticity: The biological substrate for neurorehabilitation. *PM R*. 2010;2(12 SUPPL):S208-19.
2. Feigin VL, Nichols E, Alam T, Bannick MS, Beghi E, Blake N, et al. Global, regional, and national burden of neurological disorders, 1990–2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. *Lancet Neurol*. 2019;18(5):459-80.
3. Torres Alaminos MA, Torres Alaminos MA. Aspectos epidemiológicos de la lesión medular en el Hospital Nacional de Paraplégicos. *Ene* [Internet]. 2018 [citado 4 de marzo de 2020];12(2). Disponible en: [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1988-348X2018000200002&lng=es&nrm=iso&tlng=pt](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1988-348X2018000200002&lng=es&nrm=iso&tlng=pt)
4. New PW, Marshall R. International Spinal Cord Injury Data Sets for non-traumatic spinal cord injury. *Spinal Cord*. febrero de 2014;52(2):123-32.
5. Huete García A, Díaz Velázquez E. Análisis sobre la lesión medular en España: informe de resultados. Toledo: Federación Nacional Aspaym; 2012.
6. Singh A, Tetreault L, Kalsi-Ryan S, Nouri A, Fehlings MG. Global Prevalence and incidence of traumatic spinal cord injury. *Clin Epidemiol*. 2014;6:309-31.
7. Gaspar R, Padula N, Freitas TB, De Oliveira JPJ, Torriani-Pasin C. Physical Exercise for Individuals With Spinal Cord Injury: Systematic Review Based on the International Classification of Functioning, Disability, and Health. *J Sport Rehabil*. 2019;28(5):505-16.
8. Armenta Peinado JA. Tratamiento de la lesión medular: guía para fisioterapeutas (Management of spinal cord injury. A Guide for Physiotherapists), L. Harvey. 1.a ed. Elsevier, España (2010). p. 316. *Fisioterapia*. 1 de enero de 2011;33(1):32-3.
9. Galeiras Vázquez R, Ferreiro Velasco ME, Mourelo Fariña M, Montoto Marqués A, Salvador de la Barrera S. Actualización en lesión medular aguda postraumática. Parte 1. *Med Intensiva*. 1 de mayo de 2017;41(4):237-47.
10. Padilla-Zambrano H, Ramos-Villegas Y, Alvis-Miranda HR, Joaquin AF, Moscote-Salazar LR. Fisiopatología del trauma raquímedular. *Rev Mex Neurocienc*. 27 de octubre de 2017;18(5):45-53.
11. Andrada L, Vito ELD. EVALUACION FUNCIONAL RESPIRATORIA EN



Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

PACIENTES CON LESION MEDULAR TRAUMATICA ALTA. 2001;6.

12. Hagen EM. Acute complications of spinal cord injuries. *World J Orthop.* 2015;6(1):17.
13. Aravind N, Harvey LA, Glinsky JV. Physiotherapy interventions for increasing muscle strength in people with spinal cord injuries: a systematic review. *Spinal Cord.* 2019;57(6):449-60.
14. Fu J, Wang H, Deng L, Li J. Exercise Training Promotes Functional Recovery after Spinal Cord Injury. *Neural Plast.* 2016;2016:1-7.
15. Hagen EM, Rekand T, Gilhus NE, Grønning M. Traumatic spinal cord injuries – incidence, mechanisms and course. *Tidsskr Den Nor Legeforening [Internet].* 17 de abril de 2012 [citado 14 de marzo de 2020]; Disponible en: <https://tidsskriftet.no/en/2012/04/traumatic-spinal-cord-injuries-incidence-mechanisms-and-course>
16. Osunronbi T, Sharma H. International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury: factors influencing the frequency, completion and accuracy of documentation of neurology for patients with traumatic spinal cord injuries. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2019;29(8):1639-48.
17. Henao-Lema CP, Pérez-Parra JE, Universidad Autónoma de Manizales. Spinal Cord Injuries and Disabilities: A Review. *Aquichan.* 1 de agosto de 2010;10(2):157-72.
18. Martí Massó JF, Martínez Zabaleta M. Enfermedades no degenerativas de la médula espinal. Concepto, clasificación sindrómica, manifestaciones clínicas y estrategia diagnóstica. *Med - Programa Form Médica Contin Acreditado.* 1 de enero de 2003;8(99):5321-6.
19. Villadiego Humanéz CM, Gámez Vargas MC. Intervención fisioterapéutica en paciente con lesión medular: estudio de caso. *Cartagena T F 61582 V712 CD-ROM [Internet].* 5 de febrero de 2019 [citado 16 de marzo de 2020]; Disponible en: <http://bibliotecadigital.usb.edu.co/handle/10819/7139>
20. Reid WD, Brown JA, Konnyu KJ, Rurak JME, Sakakibara BM. Physiotherapy Secretion Removal Techniques in People With Spinal Cord Injury: A Systematic Review. *J Spinal Cord Med.* octubre de 2010;33(4):353-70.
21. Lotzien S, Schildhauer TA, Aach M, Strauch J, Swol J. Extracorporeal lung support in patients with spinal cord injury: Single center experience. *J Spinal Cord*

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

Med. 2017;40(2):188-92.

22. Mourelo Fariña M, Salvador de la Barrera S, Montoto Marqués A, Ferreiro Velasco ME, Galeiras Vázquez R. Actualización en lesión medular aguda postraumática. Parte 2. Med Intensiva. 1 de junio de 2017;41(5):306-15.

23. Arazpour M, Bani MA, EbrahimMousavi M, Bahramizadeh M, Mardani MA. Orthoses for Spinal Cord Injury Patients. Recovery Mot Funct Spinal Cord Inj [Internet]. 17 de agosto de 2016 [citado 18 de mayo de 2020]; Disponible en: <https://www.intechopen.com/books/recovery-of-motor-function-following-spinal-cord-injury/orthoses-for-spinal-cord-injury-patients>

24. Ardestani MM, Henderson CE, Salehi SH, Mahtani GB, Schmit BD, Hornby TG. Kinematic and Neuromuscular Adaptations in Incomplete Spinal Cord Injury after High- versus Low-Intensity Locomotor Training. J Neurotrauma. 26 de octubre de 2018;36(12):2036-44.

25. Grundy D, Grundy D, Swain A. ABC Spinal Cord Injury. [Internet]. Oxford: Blackwell Publishing Ltd.; 2002 [citado 27 de abril de 2020]. Disponible en: <http://www.myilibrary.com?id=28506>

26. Huang H, Young W, Skaper S, Chen L, Moviglia G, Saberi H, et al. Clinical Neurorestorative Therapeutic Guidelines for Spinal Cord Injury (IANR/CANR version 2019). J Orthop Transl. 2020;20:14-24.

27. Hachem LD, Ahuja CS, Fehlings MG. Assessment and management of acute spinal cord injury: From point of injury to rehabilitation. J Spinal Cord Med. noviembre de 2017;40(6):665-75.

28. César Granados J. Cambios funcionales en las actividades cotidianas con el Tratamiento del Neurodesarrollo en personas con lesiones medulares en un instituto nacional de rehabilitación. Rev Medica Hered. octubre de 2013;24(4):293-7.

29. Fox EJ, Tester NJ, Butera KA, Howland DR, Spiess MR, Castro-Chapman PL, et al. Retraining walking adaptability following incomplete spinal cord injury. Spinal Cord Ser Cases [Internet]. 2017;3(1). Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1038/s41394-017-0003-1>

30. Harkema SJ, Schmidt-Read M, Lorenz DJ, Edgerton VR, Behrman AL. Balance and ambulation improvements in individuals with chronic incomplete spinal cord injury using locomotor training-based rehabilitation. Arch Phys Med Rehabil. septiembre de 2012;93(9):1508-17.

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

31. Holanda LJ, Silva PMM, Amorim TC, Lacerda MO, Simão CR, Morya E. Robotic assisted gait as a tool for rehabilitation of individuals with spinal cord injury: a systematic review. *J NeuroEngineering Rehabil* [Internet]. 2017;14(1). Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1186/s12984-017-0338-7>
32. Nam KY, Kim HJ, Kwon BS, Park J-W, Lee HJ, Yoo A. Robot-assisted gait training (Lokomat) improves walking function and activity in people with spinal cord injury: a systematic review. *J NeuroEngineering Rehabil* [Internet]. 2017;14(1). Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1186/s12984-017-0232-3>
33. Wouda MF, Lundgaard E, Becker F, Strøm V. Effects of moderate- and high-intensity aerobic training program in ambulatory subjects with incomplete spinal cord injury-a randomized controlled trial. *Spinal Cord*. octubre de 2018;56(10):955-63.
34. Michele Basso D, Hansen CN. Biological Basis of Exercise-based Treatments: Spinal Cord Injury. *PM&R*. 2011;3(6):S73-7.
35. Smith AC, Knikou M. A Review on Locomotor Training after Spinal Cord Injury: Reorganization of Spinal Neuronal Circuits and Recovery of Motor Function. *Neural Plast*. 2016;2016:1-20.
36. Holleran CL, Hennessey PW, Leddy AL, Mahtani GB, Brazg G, Schmit BD, et al. High-Intensity Variable Stepping Training in Patients with Motor Incomplete Spinal Cord Injury: A Case Series. *J Neurol Phys Ther*. 2018;42(2):94-101.
37. Brazg G, Fahey M, Holleran CL, Connolly M, Woodward J, Hennessey PW, et al. Effects of training intensity on locomotor performance in individuals with chronic spinal cord injury: a randomized crossover study. *Neurorehabil Neural Repair*. 2017;31(10-11):944-54.
38. Garraway SM, Huie JR. Spinal Plasticity and Behavior: BDNF-Induced Neuromodulation in Uninjured and Injured Spinal Cord. *Neural Plast*. 2016;2016:1-19.
39. Basso DM, Lang CE. Consideration of Dose and Timing When Applying Interventions After Stroke and Spinal Cord Injury. *J Neurol Phys Ther*. julio de 2017;41:S24.
40. Leech KA, Kinnaird CR, Holleran CL, Kahn J, Hornby TG. Effects of Locomotor Exercise Intensity on Gait Performance in Individuals With Incomplete Spinal Cord Injury. *Phys Ther*. 2016;96(12):1919-29.
41. Administrator. Frecuencia cardiaca [Internet]. Fundación Española del

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

Corazón. [citado 7 de agosto de 2020]. Disponible en: <https://fundaciondelcorazon.com/prevencion/riesgo-cardiovascular/frecuencia-cardiaca.html>

42. Onushko T, Mahtani GB, Brazg G, Hornby TG, Schmit BD. Exercise-Induced Alterations in Sympathetic-Somatomotor Coupling in Incomplete Spinal Cord Injury. *J Neurotrauma*. 2019;36(18):2688-97.

43. “Diseño del Trabajo y del Descanso; bases fisiológicas” [Internet]. [citado 19 de julio de 2020]. Disponible en: [https://noticias-librodar.com.ar/index.php?option=com\\_content&view=article&id=202:diseño-del-trabajo-y-del-descanso-bases-fisiologicas&catid=37:notas-tecnicas&Itemid=58](https://noticias-librodar.com.ar/index.php?option=com_content&view=article&id=202:diseño-del-trabajo-y-del-descanso-bases-fisiologicas&catid=37:notas-tecnicas&Itemid=58)

44. Wilson CM, Kostuca SR, McPherson SM, Warren MC, Seidell JW, Colombo R. Preoperative 5-Meter Walk Test as a Predictor of Length of Stay After Open Heart Surgery. *Cardiopulm Phys Ther J*. marzo de 2015;26(1):2-7.

45. Reisman DS, Wagner C, Cifelli S, Rudolph K, Farquhar W. SELF SELECTED WALKING SPEEDS ARE ENERGY INEFFICIENT POST-STROKE: *J Neurol Phys Ther*. diciembre de 2006;30(4):197.

46. Electromiografía y estudios de conducción nerviosa: Prueba de laboratorio de MedlinePlus [Internet]. [citado 19 de julio de 2020]. Disponible en: <https://medlineplus.gov/spanish/pruebas-de-laboratorio/electromiografia-y-estudios-de-conduccion-nerviosa/>

47. Blum L, Korner-Bitensky N. Usefulness of the Berg Balance Scale in Stroke Rehabilitation: A Systematic Review. *Phys Ther*. 1 de mayo de 2008;88(5):559-66.

48. iesvalminor.pdf [Internet]. [citado 20 de julio de 2020]. Disponible en: [http://www.edu.xunta.gal/centros/iesvalminor/?q=system/files/cooper\\_consumo\\_oxigeno.pdf](http://www.edu.xunta.gal/centros/iesvalminor/?q=system/files/cooper_consumo_oxigeno.pdf)

49. Reference GH. BDNF gene [Internet]. Genetics Home Reference. [citado 20 de julio de 2020]. Disponible en: <https://ghr.nlm.nih.gov/gene/BDNF>

50. Bisson T, Newsam CJ. Short-duration, high-intensity bouts of physical therapy to increase self-efficacy, confidence, and function in an individual with incomplete spinal cord injury: A case report. *Physiother Theory Pract*. 2017;33(11):888-95.

51. Leech KA, Kinnaird CR, Holleran CL, Kahn J, Hornby TG. Effects of locomotor exercise intensity on gait performance in individuals with incomplete spinal cord injury. *Phys Ther*. 2016;96(12):1919-29.

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

52. Leech KA, Hornby TG. High-Intensity Locomotor Exercise Increases Brain-Derived Neurotrophic Factor in Individuals with Incomplete Spinal Cord Injury. *J Neurotrauma*. 2017;34(6):1240-8.
53. Hornby TG, Reisman DS, Ward IG, Scheets PL, Miller A, Haddad D, et al. Clinical Practice Guideline to Improve Locomotor Function Following Chronic Stroke, Incomplete Spinal Cord Injury, and Brain Injury. *J Neurol Phys Ther JNPT*. enero de 2020;44(1):49-100.
54. Graham K, Yarar-Fisher C, Li J, McCully KM, Rimmer JH, Powell D, et al. Effects of High-Intensity Interval Training Versus Moderate-Intensity Training on Cardiometabolic Health Markers in Individuals With Spinal Cord Injury: A Pilot Study. *Top Spinal Cord Inj Rehabil*. junio de 2019;25(3):248-59.
55. Astorino TA, Thum JS. Within-session responses to high-intensity interval training in spinal cord injury. *Disabil Rehabil*. febrero de 2018;40(4):444-9.
56. Rojas Vega S, Abel T, Lindschulten R, Hollmann W, Bloch W, Strüder HK. Impact of exercise on neuroplasticity-related proteins in spinal cord injured humans. *Neuroscience*. junio de 2008;153(4):1064-70.
57. Roberts TT, Leonard GR, Cepela DJ. Classifications In Brief: American Spinal Injury Association (ASIA) Impairment Scale. *Clin Orthop Relat Res*. 1 de mayo de 2017;475(5):1499-504.
58. TLM | Lokomat [Internet]. [citado 17 de agosto de 2020]. Disponible en: <https://www.tecnologicamexicana.com.mx/especialidades/neurorehabilitacion/marcha-1/lokomat-1/>
59. La percepción subjetiva del esfuerzo como parte de la evaluación de la intensidad del entrenamiento [Internet]. [citado 12 de julio de 2020]. Disponible en: <https://www.efdeportes.com/efd73/percep.htm>
60. Gochicoa-Rangel L, Mora-Romero U, Guerrero-Zúñiga S, Silva-Cerón M, Cid-Juárez S, Velázquez-Uncal M, et al. Prueba de caminata de 6 minutos: recomendaciones y procedimientos. *Neumol Cir Torax*. 2015;74(2):10.
61. Timed Up and Go Test (TUG) | Health Sciences | Wellness [Internet]. Scribd. [citado 17 de agosto de 2020]. Disponible en: <https://www.scribd.com/doc/17757453/Timed-Up-and-Go-Test-TUG>
62. Ko B, Be M, Rehab M. ESCALA DE AUTONOMIA DE BERG : MOVILIDAD REDUCIDA. :1.

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

## 10. ANEXOS

ANEXO 1: Tabla general de resultados.

Autor	Tipo de estudio	Objetivo	Pacientes	Plan intervención	Escalas	Conclusiones
<b>Bragz et al. (37)</b>	Ensayo aleatorio cruzado	Evaluar los efectos de la intensidad del ET en los resultados de la marcha. Realizando un diseño cruzado aleatorio donde los participantes se asignaron al azar a un tratamiento de alta o baja intensidad.	<b>Nº:</b> 15 <b>Nivel de lesión:</b> C1-T10 <b>ASIA:</b> C o D <b>Duración:</b> >1 año <b>Sexo:</b> 11 hombres y 4 mujeres <b>Rango de edad:</b> 18-75 años <b>Promedio de edad:</b> 49 ± 8,1 años	<b>Duración:</b> 20 sesiones de 1h <b>Frecuencia:</b> 3-5 días/semana <b>Período:</b> 6 semanas <b>Tratamiento:</b> 4 tareas de paso 10 minutos por sesión):trabajo en cinta rodante dependiente de la velocidad, dependiente de la habilidad, trabajo sobre terreno, subir escaleras. 20 sesiones	<u>Músculo-esqueléticos:</u> Intensidad: <b>FC y RPE</b>  <u>Marcha</u>  <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>6MWT</b> (m)</li> <li>• <b>Velocidad TM</b> (m/s)</li> <li>• <b>SSS</b> (m/s)</li> <li>• <b>FS</b> (m/s)</li> <li>• <b>BBS</b> (a.u.)</li> </ul> <u>Parámetros bioquímicos:</u>  <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>VO2 pico</b> (mL/kg/min)</li> </ul>	Primera evidencia para delinear los efectos de la intensidad del ET en pacientes con LM motora incompleta, revelando mejoras significativamente mayores después de un entrenamiento de alta frente a baja intensidad en las variables locomotoras seleccionadas y capacidad y eficiencia metabólicas combinadas. En el conjunto clínico, la intensidad del ejercicio de escalonamiento puede manipularse fácilmente y supervisarse indirectamente utilizando medidas cardiopulmonares y subjetivas, y puede recomendarse con investigaciones ulteriores.
<b>Onushko et al. (42)</b>	Ensayo clínico aleatorio	Evaluar la coordinación simpático-somatomotora después un entrenamiento locomotor de alta o baja intensidad. Asignando al azar a los	<b>Nº:</b> 13 <b>Nivel de lesión:</b> C3-T6 <b>ASIA:</b> C o D <b>Duración:</b> >1 año <b>Sexo:</b> No especifica	<b>Duración:</b> 20 sesiones de 40 minutos <b>Frecuencia:</b> 3-5 días/semana <b>Período:</b> 4-6 semanas <b>tratamiento:</b> 4 tareas de paso: trabajo en cinta rodante	<u>Musculo esqueléticos:</u> Intensidad: <b>FC y RPE</b> Fuerza: <b>MVC</b>  Reflejos: <b>Torque tendón</b>	Se demuestra que la intensidad del ET afecta de forma diferencial al acoplamiento simpático-somatomotor y que los programas de ejercicios de mayor intensidad pueden ser más

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

		individuos para recibir un tratamiento de ET de alta intensidad o de baja.	<b>Rango de edad:</b> 18-75 años <b>Promedio de edad:</b> 50 ± 7,2 años	dependiente de la velocidad, trabajo en cinta rodante dependiente de la habilidad, trabajo sobre el terreno, subir escaleras.	<b>rotuliano</b>	beneficiosos para la recuperación en individuos con LM incompleta.
<b>Bisson y Newsam (50)</b>	Estudio de caso	Describir el tratamiento de un paciente utilizando un modelo de episodios concentrados de fisioterapia de corta duración y alta intensidad para aumentar la autoeficacia, la confianza y la función.	<b>Nº:</b> 1 <b>Nivel de lesión:</b> C6 <b>ASIA:</b> C <b>Duración:</b> >1 año <b>Sexo:</b> mujer <b>Rango de edad:</b> 18-75 años <b>Promedio de edad:</b> 70 años	<b>Duración:</b> 14 sesiones de 90 minutos <b>Frecuencia:</b> 5 días/semana <b>Período:</b> 3 semanas de sesiones en un período de 22 semanas. <b>Tratamiento:</b> Actividades funcionales específicas para cada tarea, identificadas por el paciente seguidas de un periodo "off" (2 de 12 y 10 semanas) sin terapia especializada, con un programa de ejercicios individualizado en su casa	<b>Marcha:</b> <b>Gait speed</b> ( 5m marcha) <b>6MWT:</b> 147.2m <sup>[1]</sup> <sub>[5P]</sub> <b>TUG:</b> 30.3 s	Este modelo de tratamiento puede resultar una opción viable para programar sesiones de terapia ambulatoria y promover un cambio óptimo en los pacientes con enfermedades crónicas.
<b>Leech et al. (51)</b>	Ensayo no controlado	Evaluar los efectos de la exposición repetida al ET de alta intensidad.	<b>Nº:</b> 9 <b>Nivel de lesión:</b> C4-T10 <b>ASIA:</b> no específica <b>Duración:</b> >1 año <b>Sexo:</b> 6 hombres y 3 mujeres <b>Rango de edad:</b> 18-	<b>Duración:</b> sesiones de 1h <b>Frecuencia:</b> 3 días/semana <b>Período:</b> 12 semanas <b>Tratamiento:</b> Marcha sobre TM con el uso de un arnés y apoyo del peso corporal sólo cuando era necesario (hasta el 40% dependiendo del nivel de	<b>Músculo-esqueléticos:</b> Intensidad: <b>RPE</b>  <b>Marcha:</b> <b>Coordinación neuromuscular</b> <b>Medidas cinemáticas:</b> Cadencia (pasos/min),	El ejercicio y el entrenamiento locomotor de alta intensidad no degradan, sino que mejoran la función y la calidad locomotora en los individuos con iSCI, lo que contrasta con las teorías tradicionales de la disfunción motora después de una lesión



Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

			75 años <b>Promedio de edad:</b> 50,33 años en hombres y 50 años en mujeres	habilidad)	longitud de zancada (m), ángulos articulares (°)	neurológica. Además se añade la premisa de que los pacientes pueden beneficiarse de la incorporación de intervenciones de alta intensidad en la atención clínica estándar.
<b>Leech y Hornby (52)</b>	Ensayo no controlado	Determinar el efecto de los diferentes niveles de intensidad del ejercicio locomotor en las concentraciones periféricas de neurotrofinas.	<b>Nº:</b> 11 <b>Nivel de lesión:</b> C3-T4 <b>ASIA:</b> C o D <b>Duración:</b> > 6 meses <b>Sexo:</b> 9 hombres y 2 mujeres <b>Rango de edad:</b> 18-75 años <b>Promedio de edad:</b> 41,77 años en hombres y 38 años en mujeres	<b>Duración:</b> 1 sesión con duración hasta requerir soporte del arnés o parada voluntaria de la prueba por parte del sujeto.  <b>Tratamiento:</b> Ejercicio de intensidad graduada en TM con arnés comenzando a 0,1 m/s durante 2 min, con incrementos de velocidad de 0,1 m/s cada 2 min.	<u>Músculo-esqueléticos:</u> Intensidad: <b>FC y RPE</b>  <u>Parámetros bioquímicos:</u> <b>VO2 pico y BDNF</b>	Este estudio demuestra que los cambios en el BDNF periférico dependientes del ejercicio en una única sesión están relacionados con la intensidad relativa del entrenamiento locomotor en los individuos con LM motora incompleta. Sugiriendo que el ET de alta intensidad puede promover cambios neuroplásticos.
<b>Holleran et al. (36)</b>	Serie de casos	Evaluar la viabilidad y la eficacia a corto y largo plazo de la práctica de paso a través de ET de alta intensidad.	<b>Nº:</b> 4 <b>Nivel de lesión:</b> C5-T3 <b>ASIA:</b> C o D <b>Duración:</b> >1 año <b>Sexo:</b> 3 hombres y 1 mujer <b>Rango de edad:</b> 18-75 años	<b>Duración:</b> 40 sesiones de 1h <b>Frecuencia:</b> 3-5 días/semana <b>Período:</b> 10 semanas <b>Tratamiento:</b> 2 primeras semanas (6-10 sesiones), sólo se realizó marcha hacia adelante en una TM motorizada (trabajo en cinta de correr dependiente de la velocidad) Las semanas	<u>Musculo-esqueléticos:</u> Intensidad: <b>FC y RPE</b>  <u>Parámetros de la marcha:</u> <b>SSS(m/s)</b> <b>FS(m/s)</b> <b>6MWT (m)</b> <b>BBS (a.u.)</b> <b>Velocidad máxima TM (m/s):</b>	Se observaron mejoras modestas en la capacidad locomotora después de un entrenamiento de paso variable a altas intensidades, con cambios variables en la cinemática de las extremidades inferiores durante la marcha en la cinta rodante.



Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

			<p><b>Promedio de edad:</b> 42,33 años en hombres y 18 años en mujeres</p>	<p>restantes:4 tareas de paso: trabajo en cinta rodante dependiente de la velocidad, trabajo en cinta rodante dependiente de la habilidad, trabajo sobre el terreno, subir escaleras.</p>	<p><b>Medidas cinemáticas:</b> Velocidad (m/s), longitud de zancada (m) cadencia (pasos/min), rangos de movimiento (°),</p> <p><u>Parámetros bioquímicos:</u> <b>VO2pico</b> (ml/kg/min)</p>	
<p><b>Ardestani et al. (24)</b></p>	<p>Ensayo aleatorio cruzado</p>	<p>Evaluar los efectos de la intensidad del ET en la coordinación cinemática y neuromuscular donde los individuos fueron sometidos a un tratamiento de alta y baja intensidad.</p>	<p><b>Nº:</b> 12 <b>Nivel de lesión:</b> T10 o superior <b>ASIA:</b> C o D <b>Duración:</b> &gt;1 año <b>Sexo:</b> no especifica <b>Rango de edad:</b> 18-75 años <b>Promedio de edad:</b> no especifica</p>	<p><b>Duración:</b> 20 sesiones de 1h <b>Período:</b> 4-6 semanas <b>Tratamiento:</b> 4 tareas de paso: trabajo en cinta rodante dependiente de la velocidad, trabajo en cinta rodante dependiente de la habilidad, trabajo sobre el terreno, subir escaleras.</p>	<p><u>Músculo-esqueléticos:</u> Intensidad: <b>FC</b> y <b>RPE</b></p> <p><u>Marcha</u> <b>Velocidad TM</b> (m/s)</p> <p><b>Medidas cinemáticas:</b> Cadencia (pasos/min), longitud de zancada (m), complejidad neuromuscular (sinergias), exucursion articulares, coordinación articular</p>	<p>La intensidad de la LT puede facilitar las ganancias en las variables cinemáticas y las sinergias neuromusculares en los individuos con LM incompleta.</p>

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

ANEXO 2: Examen ASIA (57).

ASIA INTERNATIONAL STANDARDS FOR NEUROLOGICAL CLASSIFICATION OF SPINAL CORD INJURY (ISNCSCI) ISCOS

Patient Name \_\_\_\_\_ Date/Time of Exam \_\_\_\_\_  
 Examiner Name \_\_\_\_\_ Signature \_\_\_\_\_

**RIGHT** **MOTOR** **KEY MUSCLES** **SENSORY** **KEY SENSORY POINTS** **Light Touch (LTR)** **Pin Prick (PPR)** **LEFT** **SENSORY** **KEY SENSORY POINTS** **Light Touch (LTL)** **Pin Prick (PPL)** **MOTOR** **KEY MUSCLES** **LEFT**

**UER** (Upper Extremity Right) **LER** (Lower Extremity Right) **UEL** (Upper Extremity Left) **LEL** (Lower Extremity Left)

**Comments** (Non-key Muscle? Reason for NT? Pain?):

**(VAC) Voluntary Anal Contraction** (Yes/No)  **(DAP) Deep Anal Pressure** (Yes/No)

**RIGHT TOTALS** (MAXIMUM) (50) (56) (56) **LEFT TOTALS** (MAXIMUM) (56) (56) (50)

**MOTOR SUBSCORES** **SENSORY SUBSCORES**

**NEUROLOGICAL LEVELS** 1. SENSORY  R  L 2. MOTOR  R  L 3. NEUROLOGICAL LEVEL OF INJURY (NLI)  4. COMPLETE OR INCOMPLETE?  5. ASIA IMPAIRMENT SCALE (AIS)

**ZONE OF PARTIAL PRESERVATION** (In complete injuries only) **SENSORY**  R  L **MOTOR**  R  L

*This form may be copied freely but should not be altered without permission from the American Spinal Injury Association. REV 11/15*

ANEXO 3: Escala clásica de 6 puntos del test manual para el nivel motor ASIA. (8)

0= No hay contracción muscular

1= Un conato de contracción muscular

2= rango de movilidad completo eliminando la gravedad

3= rango de movilidad completo contra la gravedad

4= rango de movilidad completo con resistencia añadida

5= fuerza normal

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

*ANEXO 4: Dispositivo robótico Lokomat (58).*



Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

*ANEXO 5: Escala de esfuerzo percibido (RPE) (59)*

Escala de Esfuerzo percibido de Borg		Equivalencia aproximada en pulsaciones por minuto	Grado de intensidad del esfuerzo (% de la capacidad máxima posible)	Equivalencia de una escala de esfuerzo percibido de 0-10 puntos
6		60-80	10	0
7	Muy, muy suave	70-90		1
8		80-100	20	2
9	Muy suave	90-110		
10		100-120	30	3
11	Bastante suave	110-130		
12		120-140	40	4
13	Algo duro	130-150	50	5
14		140-160	60	6
15	Duro	150-170	70	7
16		160-180		
17	Muy Duro	170-190	80	8
18		180-200	90	9
19	Muy, muy duro	190-210	100	10
20		200-220		

ANEXO 5: Hoja 6MWT (60)

**Hoja de trabajo**

**Prueba de caminata de 6 minutos**

Nombre: \_\_\_\_\_  
Apellido paterno    Apellido materno    Nombre (s)

Fecha de Nacimiento: \_\_\_\_\_ No. Expediente: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_ Edad: \_\_\_\_\_ Peso: \_\_\_\_\_ (kg)  
(AAAAMM/DD)    (AAAAMMDD)

Talla: \_\_\_\_\_ (cm) Género: \_\_\_\_\_ Técnico: \_\_\_\_\_ Diagnóstico: \_\_\_\_\_ FC Máx: \_\_\_\_\_

**Prueba «A»**

	FC	SpO <sub>2</sub>	BORG Disnea	BORG Fatiga	TA
Reposo					
Vuelta 1					
Vuelta 2					
Vuelta 3					
Vuelta 4					
Vuelta 5					
Vuelta 6					
Vuelta 7					
Vuelta 8					
Vuelta 9					
Vuelta 10					
Vuelta 11					
Vuelta 12					

**Prueba «B»**

	FC	SpO <sub>2</sub>	BORG Disnea	BORG Fatiga	TA
Reposo					
Vuelta 1					
Vuelta 2					
Vuelta 3					
Vuelta 4					
Vuelta 5					
Vuelta 6					
Vuelta 7					
Vuelta 8					
Vuelta 9					
Vuelta 10					
Vuelta 11					
Vuelta 12					

Final	FC	SpO <sub>2</sub>	BORG Disnea	BORG Fatiga	TA
Final					
Minuto 1					
Minuto 3					
Minuto 5					

Final	FC	SpO <sub>2</sub>	BORG Disnea	BORG Fatiga	TA
Final					
Minuto 1					
Minuto 3					
Minuto 5					

Distancia \_\_\_\_\_ Metros  
 Se detuvo:  Sí  No  
 Motivo: Mareo: \_\_\_\_\_ Disnea: \_\_\_\_\_ Angina: \_\_\_\_\_  
           Dolor: \_\_\_\_\_ Otros: \_\_\_\_\_

Distancia \_\_\_\_\_ Metros  
 Se detuvo:  Sí  No  
 Motivo: Mareo: \_\_\_\_\_ Disnea: \_\_\_\_\_ Angina: \_\_\_\_\_  
           Dobr: \_\_\_\_\_ Otros: \_\_\_\_\_

Comentarios: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_



**Figura 5.** Hoja de recolección de datos para la PC6M.

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

ANEXO 7: Test Timed up and go (61).

### Timed “Up and Go” Test

Name:

DoB:

Activities	Comments & Date	
Stand Up		
Stand Momentarily		
Walk 3 Meters		
Turn		
Walk 3 Meters		
Turn		
Sit Down		
Time to Complete the Task		
Signature of the Assessor		

Eficacia en el paciente con lesión medular, del ejercicio terapéutico de alta intensidad.

ANEXO 6: Escala de equilibrio de Berg (62).

<b>ESCALA DE AUTONOMIA DE BERG : MOVILIDAD REDUCIDA</b> (Berg KO, Maki BE, Williams H et al. Clinical and laboratory measures of postural balance in an elderly population. <i>Arch Phys Med Rehab</i> 1992; 73:1073-1080)			
<b>NOMBRE DEL PACIENTE</b>			
<b>NOMBRE DEL EXAMINADOR</b>			
<b>DATOS</b>	1a Valoración:	2a Valoración:	3a Valoración:
CARACTERISTICAS DEL EQUILIBRIO	Valoraciones ( Puntuación de 0 – 4 )		
	1a	2a	3a
1. Capaz de mantenerse sentado sin apoyo.			
2. Capaz de un cambio de posición: de sedestación a bipedestación.			
3. Cambio de la posición: de bipedestación a sedestación			
4. Capaz de hacer trasferencias: hacia el WC, hacia el asiento de un coche.			
5. Capaz de mantenerse de pie sin apoyo.			
6. Capaz de mantenerse de pie con los ojos cerrados.			
7. Capaz de mantenerse de pie con los pies juntos			
8. Capaz de mantenerse de pie con un pie delante del otro.			
9. Capaz de mantenerse de pie con apoyo monopodal.			
10. Giros de tronco con los pies fijos			
11. Recoger objetos del suelo			
12. Desde bipedestación, efectuar un giro de 360°			
13. Subir sobre un taburete de 40 cm de altura.			
14. Estirar las dos extremidades superiores por delante suyo manteniéndose de pie inmóvil.			
<b>PUNTUACIÓN TOTAL (0-56)</b>			
<b>INTERPRETACIÓN:</b> De 0 a 20, precisa silla de ruedas. De 21 a 40, puede caminar, con ayuda. De 41 a 56, independiente.			