

**ENTRENAMIENTO DE FUERZA MUSCULAR  
RESPIRATORIA EN PERSONAS CON LESIÓN  
MEDULAR CERVICAL CRÓNICA: UNA  
PROPUESTA DE INTERVENCIÓN**

**Trabajo de Fin de Máster**

Máster Universitario en Neurorehabilitación.  
Edición 2023-2024

**Autora: Naia Martin Echaburu**

**Tutora: Raquel Lezcano**

9 de Junio de 2024

## RESUMEN

Las personas con Lesión Medular (LM) presentarán una afectación de los músculos respiratorios y, por tanto, un deterioro de la función pulmonar y de la capacidad para toser, aumentando el riesgo de sufrir neumonías. Estas complicaciones respiratorias son la causa más común de mortalidad en la población con LM, y pueden afectar gravemente a su calidad de vida. Existen distintos tipos de tratamiento con el objetivo de mejorar esta función respiratoria, entre ellas el entrenamiento muscular respiratorio o *Respiratory Muscle Training (RMT)*. La investigación sobre el RMT ha aumentado notablemente, y demuestra tener beneficios en la fuerza, la resistencia y la función de los músculos respiratorios en pacientes con LM. Por ello, el objetivo de este trabajo es realizar una propuesta de entrenamiento de fuerza de los músculos respiratorios en pacientes con LM crónica, con el fin de mejorar su función respiratoria y su calidad de vida. Se plantea un entrenamiento de RMT de músculos inspiratorios y espiratorios, seguido de unos ejercicios de fuerza. Para ajustar los parámetros del entrenamiento y valorar su eficacia, se medirán los valores de las Presiones Respiratorias Máximas y del Pico de Flujo de Tos, y se pasarán las escalas *International SCI Pulmonary Function Basic Data Set* y la SF-36 ww. Por último, como conclusión de este trabajo se plantea la necesidad seguir investigando sobre los parámetros óptimos del entrenamiento muscular respiratorio, para poder obtener los máximos beneficios.

Palabras clave: lesión medular; sistema respiratorio; entrenamiento muscular respiratorio; RMT.

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
INTRODUCCIÓN A LA LESIÓN MEDULAR: .....	1
FISIOPATOLOGÍA RESPIRATORIA EN LA LESIÓN MEDULAR: .....	2
Disminución de la fuerza muscular respiratoria: .....	2
Desequilibrio simpático y parasimpático: .....	4
ENTRENAMIENTO MUSCULAR RESPIRATORIO: .....	5
<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>6</b>
<b>NIVEL DE EVIDENCIA DE LA PROPUESTA O PROPUESTAS</b> .....	<b>6</b>
<b>METODOLOGÍA E INSTRUMENTOS DE VALORACIÓN DE RESPUESTA</b> .....	<b>9</b>
SUJETOS A LOS QUE VA DIRIGIDO EL ENTRENAMIENTO: .....	9
INTERVENCIÓN: .....	10
Entrenamiento Muscular Respiratorio:.....	10
Entrenamiento de fuerza de los músculos compensatorios:.....	12
INSTRUMENTOS DE VALORACIÓN DE RESPUESTA:.....	13
Pautas de realización de las pruebas de la función respiratoria:.....	15
<b>RESULTADOS ESPERADOS Y CRITERIOS DE RESPUESTA O EFICACIA</b> .....	<b>15</b>
<b>VALORACIÓN CRÍTICA Y CONCLUSIONES DEL PROCESO DE APRENDIZAJE</b> .....	<b>17</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>19</b>
<b>ABREVIATURAS</b> .....	<b>22</b>
<b>ANEXO 1 – DEFINICIÓN DE VOLÚMENES, FLUJOS Y CAPACIDADES PULMONARES:</b> .....	<b>23</b>
<b>ANEXO 2 – INSTRUCCIONES DEL ENTRENAMIENTO:</b> .....	<b>24</b>
<b>ANEXO 3 – REGISTRO DIARIO DE ENTRENAMIENTO:</b> .....	<b>27</b>
<b>ANEXO 4 – INTERNATIONAL SPINAL CORD INJURY PULMONARY FUNCTION BASIC DATA SET:</b> .....	<b>29</b>
<b>ANEXO 5 – CUESTIONARIO SF-36 MODIFICADO, SF-36 WALK-WHEEL:</b> .....	<b>30</b>
<b>ANEXO 6 – VALORES DE REFERENCIA ESPIROMÉTRICOS:</b> .....	<b>33</b>
CASAN ET AL.; 6 – 20 AÑOS: .....	33
ROCA ET AL.; 20 – 65 AÑOS: .....	33
GARCÍA-RIO ET AL.; 65 – 85 AÑOS: .....	33
<b>ANEXO 7 – VALORES DE REFERENCIA DE PIM Y PEM DE MORALES ET AL.:</b> .....	<b>34</b>
<b>ANEXO 8 – VALORES DE REFERENCIA DE LAS PRESIONES RESPIRATORIAS MÁXIMAS DE MUELLER ET AL.:</b> .....	<b>35</b>

## INTRODUCCIÓN

### Introducción a la Lesión Medular:

La lesión medular (LM) es una afectación de la médula espinal, la cual forma parte del Sistema Nervioso Central y constituye la vía principal por la que el cerebro recibe información del resto del organismo y envía las órdenes que regulan los movimientos. Es un cordón nervioso que, protegido por la columna vertebral, se extiende desde la base del cerebro hasta la región lumbar. Los nervios raquídeos aparecen a lo largo de la columna vertebral, y según la región que emergen se denominan: cervicales, torácicos, lumbares o sacros. Cuando se produce una lesión medular esta conexión nerviosa se ve interrumpida o alterada (1).

Estas lesiones se clasifican mediante los Estándares Internacionales para la Clasificación Neurológica y Funcional de la LM (ISNCSI): un sistema de clasificación ampliamente aceptado, que describe tanto el nivel como el grado de la lesión basándose en una exploración neurológica sistemática (2). Por un lado, podemos clasificar las Lesiones Medulares como tetraplejias (si la lesión es a nivel cervical), paraplejias (si la lesión es a nivel torácico o lumbar), o lesiones a nivel del cono medular (1). Por otro lado, en función del grado de afectación, la *ASIA Impairment Scale* (AIS) (3) clasifica las lesiones como neurológicamente "completas" o "incompletas" ([tabla 1](#)):

**Tabla 1. Clasificación de la escala AIS:**

#### **A – Completa:**

No hay función motora o sensitiva preservada en los segmentos sacros S4-S5.

#### **B – Incompleta sensitiva:**

Hay preservación de la función sensitiva pero no de la motora en los segmentos sacros más distales S4-S5 (tacto fino o pinchazo en S4-S5 o presión anal profunda), y no hay preservación de la función motora en más de tres niveles por debajo del nivel motor en uno u otro lado del cuerpo.

#### **C – Incompleta motora:**

Dos opciones:

- Se preserva la función motora en los segmentos sacros más caudales durante la contracción anal voluntaria (CAV).
- El paciente cumple con los criterios de lesión sensitiva incompleta (función sensitiva preservada en los segmentos sacros S4-S5 al examinar tacto fino, pinchazo o presión anal profunda), con presencia de función motora en más de tres segmentos por debajo del nivel motor ipsilateral en cualquiera de los lados del cuerpo.

#### **D – Incompleta motora:**

El estado motor incompleto tal y como fue definido en el C, con al menos la mitad (o más) de la función de los músculos clave por debajo del nivel neurológico con una clasificación de la fuerza muscular igual o mayor a 3.

#### **E – Función normal:**

Si la sensibilidad y la función motora que se examinan se clasifican como normales en todos los segmentos, y el paciente tenía déficits previos (de LM), entonces se le da una clasificación de AIS E. Alguien sin LM no recibe grado AIS.

---

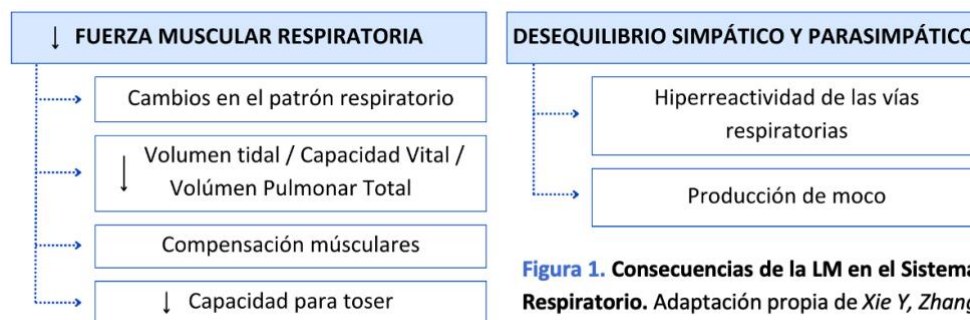
Rupp R, Biering-Sørensen F, Burns SP, Graves DE, Guest J, Jones L, et al. International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury: Revised 2019. *Top Spinal Cord Inj Rehabil.* 2021;27(2):1-

Como ya se ha mencionado, cuando la médula espinal se lesiona se produce una interrupción o alteración de la conexión nerviosa, por tanto, los músculos situados por debajo del nivel de la lesión se paralizan o se deterioran (4). Además de esta parálisis de la movilidad voluntaria, la Lesión Medular también puede producir ausencia de toda sensibilidad por debajo de la zona afectada, falta de control sobre los esfínteres, trastornos en el campo de la sexualidad y la fertilidad, alteraciones del Sistema Nervioso Vegetativo y riesgo de sufrir otras complicaciones (úlceras de decúbito, espasticidad, procesos renales, etc.) (1).

De la misma manera, la función respiratoria también se verá afectada tras la lesión de la médula espinal: tras una LM cervical o dorsal alta, los músculos que se encargan de realizar la respiración se verán afectados, de manera que habrá más riesgo de sufrir neumonías y otras afecciones del sistema respiratorio (1). La capacidad para respirar profundamente y toser con fuerza estará afectada en distintos grados, dependiendo del nivel y del tipo de lesión (completa/incompleta), con mayor disfunción en lesiones más altas (5). Por tanto, existirán diferentes grados de disfunción respiratoria, aunque siempre serán expresados como déficits ventilatorios restrictivos (6).

#### Fisiopatología respiratoria en la Lesión Medular:

La fisiopatología respiratoria en la LM se basa principalmente en una reducción de la fuerza muscular respiratoria, debida a la parálisis muscular ya mencionada, y en un desequilibrio autonómico que agravará la disfunción respiratoria (6) ([fig.1](#)).



**Figura 1. Consecuencias de la LM en el Sistema Respiratorio.** Adaptación propia de Xie Y, Zhang L, Guo S, Peng R, Gong H, Yang M. *Changes in*

*respiratory structure and function after traumatic cervical spinal cord injury: observations from spinal cord and brain. Front Neurol. 6 de octubre de 2023;14:1251833.*

#### Disminución de la fuerza muscular respiratoria:

Una de las consecuencias de la parálisis de la musculatura respiratoria es la aparición de la respiración paradójica debido a la afectación de los músculos intercostales y abdominales. La parálisis de esta musculatura dará como consecuencia una caja torácica inestable, y por tanto, un desequilibrio mecánico de la respiración y una peor eficiencia del diafragma (5–8). Otra de las consecuencias es la disminución de todos los volúmenes, flujos y capacidades pulmonares (los cuales se definen en el [Anexo 1](#)), a excepción del Volumen Residual, que es el único volumen que no disminuye con la debilidad de los músculos respiratorios (5,7,8). Esta disminución de los parámetros pulmonares no se dará únicamente por la debilidad muscular, sino también por sus efectos indirectos en la distensibilidad pulmonar y de la caja torácica, ya que ambas estarán disminuidas (7). Por otra parte, debido a la pérdida de fuerza de los músculos espiratorios y por tanto a la pérdida de capacidad para producir una espiración forzada, se dará una disminución de la efectividad de la tos (5,7,8). Sin una tos efectiva los pacientes son muy propensos a retener

secreciones, y en consecuencia, a presentar atelectasias, disminución de la distensibilidad pulmonar, reducción de la ventilación de las regiones distales y mayor riesgo de padecer neumonía (7). Para finalizar, la última consecuencia de la debilidad es que para compensar el trabajo de los músculos que quedan paralizados, aquellos que todavía tienen activación pasarán a formar parte de la mecánica respiratoria, como el trapecio, el dorsal ancho, el pectoral mayor y el romboides (6).

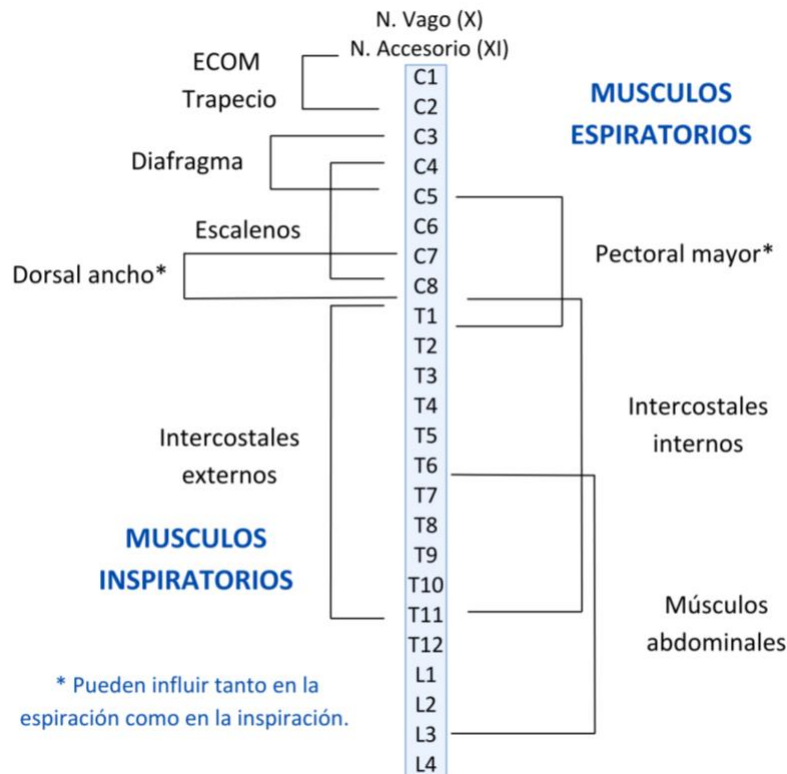
Por tanto, para poder entender el grado de afectación respiratoria del paciente, deberemos tener en cuenta el nivel de inervación de cada músculo respiratorio ([tabla 2](#); [fig. 2](#)):

**Tabla 2. Músculos respiratorios y su inervación:**

Músculo inspiratorio	Nivel de inervación	Nervio
Esternocleidomastoideo	C2-C4	Nervio craneal XI (accesorio)
Trapecio	C2-C4	Nervio craneal XI (accesorio)
Diafragma	C3-C5	Nervio frénico
Escalenos	C4-C8	Nervios espinales
Dorsal ancho	C6-C8	Nervio toracodorsal
Pectorales	C5-T1	Plexo braquial
Intercostales externos	T1-T11	Nervios torácicos

Músculo espiratorio	Nivel de inervación	Nervio
Intercostales internos	T1-T12	Nervios torácicos
Abdominales	T6-L2	Plexo lumbar



**Figura 2. Esquema de los niveles inervación de los músculos respiratorios.** Adaptación propia de Schilero GJ, Bauman WA, Radulovic M. Traumatic Spinal Cord Injury. Clin Chest Med. junio de 2018;39(2):411-25.

Además, teniendo en cuenta lo mencionado, esta clasificación puede ayudar al profesional a predecir las probables ayudas y manejo respiratorio que necesitará el paciente, dependiendo de su nivel de lesión (5,7,9) ([tabla 3](#)):

**Tabla 3. Afectación de la función respiratoria para cada nivel neurológico:**

Nivel de lesión	Músculos afectados	Ventilación mecánica	Afectación función respiratoria
Tetraplejía C1-C2	ECOM Diafragma Escalenos Pectorales Intercostales Abdominales	Sí. <i>*Candidatos a marcapasos diafragmático.</i>	-
Tetraplejía C3	ECOM Diafragma Escalenos Pectorales Intercostales Abdominales	Sí a largo plazo. <i>*Candidatos a marcapasos diafragmático.</i>	-
Tetraplejía C4	ECOM Diafragma Escalenos Pectorales Intercostales Abdominales	Solo durante un periodo corto tras la lesión.	Poca capacidad para toser, Capacidad Vital reducida, y reserva espiratoria mínima.
Tetraplejía C5-C8	ECOM Diafragma Escalenos Pectorales Intercostales Abdominales	No.	Poca capacidad para toser, Capacidad Vital reducida. <i>*La espiración forzada y la tose se compensan con el pectoral mayor y el dorsal ancho.</i>
Paraplejía dorsal	ECOM Diafragma Escalenos Pectorales Intercostales Abdominales	No.	Capacidad vital normal, pero tos y fuerza espiratoria débiles. <i>*No se puede hablar de función respiratoria normal hasta que la lesión no sea por debajo de T12.</i>

En color verde se indican los músculos con su función preservada; en amarillo, aquellos con activación parcial; y en rojo, los músculos sin activación o totalmente paralizados. (Adaptación propia de *Harvey L. Tratamiento de la lesión medular: guía para fisioterapeutas. Barcelona, España: Elsevier Churchill Livingstone; 2010*).

#### Desequilibrio simpático y parasimpático:

En el periodo agudo después de la lesión, además de la parálisis muscular, se dará una alteración del sistema nervioso autónomo: habrá un desequilibrio entre el sistema nervioso simpático y el parasimpático (5,6). En lesiones superiores a T6 se dará una disminución del sistema nervioso simpático, dando lugar a una expresión sin oposición de actividad parasimpática, lo cual puede

conducir a una hipotensión y a una bradicardia (5). Además, se dará un incremento en la reactividad bronquial y en la producción de moco (5,6). Aun así, cabe destacar que el efecto de este desequilibrio autonómico es mínimo comparando con el déficit pulmonar restrictivo causado por la parálisis muscular (5).

Debido a esta afectación del sistema ventilatorio, las complicaciones respiratorias serán muy habituales, siendo la causa más común de mortalidad en la población con LM, sobre todo en el primer año después de la lesión (5). Además, aunque sabemos que la función respiratoria mejora muchas veces a los 6 meses post-lesión (6), la disfunción respiratoria secundaria a la debilidad muscular puede afectar gravemente a la calidad de vida y a la tolerancia al ejercicio de los pacientes con LM durante toda su vida (10).

#### Entrenamiento Muscular Respiratorio:

En cuanto al manejo de la afectación del sistema respiratorio, existen diversas opciones de tratamiento para las personas con LM; entre ellas, el entrenamiento muscular o *Respiratory Muscle Training* (RMT). El RMT es un entrenamiento que implica trabajo específico de la musculatura inspiratoria (IMT), de la espiratoria (EMT), o de ambas, con el objetivo de mejorar tanto la fuerza como la resistencia (4). Los músculos respiratorios pueden entrenarse de la misma manera que cualquier otro músculo mediante dispositivos que aumenten la carga del ejercicio, estableciendo la intensidad a partir de un porcentaje sacado de las mediciones de la fuerza respiratoria máxima, la presión respiratoria o la capacidad ventilatoria (dependiendo de la técnica escogida), con el objetivo de conseguir un entrenamiento individualizado (4).

Dentro del propio RMT también existen distintos tipos de entrenamiento; entre ellos, los más estudiados en los últimos 60 años han sido el entrenamiento de resistencia al flujo (*flow-resistance training*) y el entrenamiento de resistencia al umbral (*threshold-resistance training*) (11). El primero implica respirar a través de un agujero de pequeño diámetro (resistor), el cual limita el flujo disponible, y por tanto, aumenta la resistencia ventilatoria (4); en el segundo caso, en cambio, se trata de respirar con la suficiente fuerza para superar una válvula de resorte y habilitar el flujo de aire (4). Normalmente, en ambos casos se utiliza un sistema de válvula unidireccional, de manera que se entrenen de manera selectiva los músculos inspiratorios o los espiratorios.

La investigación sobre el RMT ha aumentado notablemente en las últimas 6 décadas (11), y demuestra tener beneficios significativos en la fuerza (5,12), la resistencia (5) y la función (5) de los músculos respiratorios en pacientes con LM. Aun así, a pesar de esta creciente evidencia y de sus beneficios, la persistencia de tasas elevadas de complicaciones respiratorias y mortalidad sugiere que no se ha producido una implementación generalizada de la RMT (13). Esto puede deberse a que los parámetros y los dispositivos de entrenamiento varían enormemente entre los distintos estudios y, por lo tanto, aún se desconocen los ajustes óptimos de entrenamiento de RMT para conseguir una mejora clínicamente relevante de la fuerza muscular respiratoria (14,15). Además, se necesitan más estudios para determinar los efectos a largo plazo del entrenamiento; sin estudios a largo plazo es imposible determinar los efectos de la RMT en la calidad de vida, la morbilidad respiratoria y la mortalidad (4). Sin embargo, sabemos que los beneficios se pierden muy rápido con el cese del entrenamiento, por lo que la RMT, al igual que cualquier otro entrenamiento, debería implementarse en el estilo de vida de los pacientes con LM crónica (12).



## OBJETIVOS

Teniendo en cuenta todo lo mencionado, el objetivo de este trabajo es realizar una propuesta de entrenamiento de fuerza de los músculos respiratorios en pacientes con Lesión Medular crónica C7-C8, con el fin de mejorar su función respiratoria y prevenir complicaciones asociadas. Además, el propósito de este programa de entrenamiento es que puedan implementarlo en su día a día y conseguir así una adherencia al ejercicio a lo largo de los años, de manera que tenga un impacto positivo en su calidad de vida.

## NIVEL DE EVIDENCIA DE LA PROPUESTA O PROPUESTAS

Como se ha mencionado anteriormente, varias investigaciones realizadas a lo largo de los años apoyan los beneficios del RMT en las personas con Lesión Medular. De la misma manera, la revisión de Cochrane de Berlowitz et al. (4) del año 2013 apoya que el entrenamiento muscular respiratorio puede mejorar la Capacidad Vital (VC) y la fuerza muscular respiratoria (PIM: Presión Inspiratoria Máxima; y PEM: Presión Espiratoria Máxima) para las personas con Lesión Medular Cervical. Aun así, insisten en que los resultados de la revisión no pueden considerarse concluyentes, ya que los estudios que cumplieron con las normas de rigor metodológico para su inclusión en la revisión fueron pocos, y además, estos estudios eran heterogéneos en cuanto al diseño de la investigación, las características de los participantes, las técnicas de entrenamiento y las condiciones de comparación utilizadas (4). Debido a esto, tampoco se pueden definir los parámetros óptimos del entrenamiento.

Por tanto, y con el objetivo de recopilar evidencia más actualizada, se ha realizado una búsqueda de los artículos publicados en PubMed sobre el Entrenamiento Muscular Respiratorio (RMT) en Lesión Medular en los últimos 5 años. De este modo, mi propuesta de intervención estará basada en los estudios que se presentan a continuación ([tabla 4](#)):

**Tabla 4. Estudios analizados y su nivel de evidencia:**

Autor y año de publicación	Tipo de estudio	Nivel de evidencia
Boswell-Ruys et al. (16); 2020	Estudio controlado aleatorizado (RCT)	Nivel 1
Sankari et al. (17); 2024	Estudio controlado aleatorizado (RCT)	Nivel 1
Soumyashree et al. (18); 2020	Estudio controlado aleatorizado (RCT)	Nivel 1
Wang et al. (10); 2020	Meta-análisis de RCTs	Nivel 1
Woods et al. (19); 2023	Meta-análisis de RCTs	Nivel 1
Lemos et al. (15); 2020	Revisión sistemática	Nivel 2
Wang et al. (20); 2021	Estudio prospectivo controlado (con grupo placebo) NO aleatorizado	Nivel 2
Raab et al. (14); 2019	Estudio de cohorte retrospectivo	Nivel 2
Palermo et al. (21); 2023	Análisis secundario (compara el protocolo de un estudio piloto con el de un RCT)	Nivel 3
Leathem et al. (22); 2021	Series de casos (estudio piloto)	Nivel 4
Kang et al. (23); 2022	Series de casos (estudio piloto)	Nivel 4
Palermo et al. (13); 2022	Series de casos (estudio piloto)	Nivel 4

En primer lugar, nos centraremos en los ensayos clínicos para poder comparar los distintos protocolos utilizados y poder basarnos en ellos para realizar una propuesta de entrenamiento lo más efectiva posible. En la [tabla 5](#) se describen las bases o parámetros de la intervención de cada uno de los estudios clínicos.

**Tabla 5. Características de los protocolos de entrenamiento RMT:**

Estudios	Tipo	Dispositivo	Intensidad	Tiempo (volumen)	Frecuencia y duración
<b>Boswell-Ruys et al. (16); 2020</b>	IMT + EMT	Dispositivo de umbral ( <i>Threshold trainer</i> )	30% PIM/PEM → 80% PIM/PEM (aumenta 10%/semana)	3-5 sets x 12 respiraciones (2 veces/día)	5 días/semana; 6 semanas
<b>Sankari et al. (17); 2024</b>	IMT + EMT	Dispositivo de umbral ( <i>Threshold trainer</i> )	30 cmH2O (aumenta 7,5 cmH2O en EMT y 5 cmH2O en IMT/día)	5 sets x 6 respiraciones	5 días/semana; 3 meses
<b>Soumyashree et al. (18); 2020</b>	IMT	Dispositivo de umbral ( <i>Threshold trainer</i> )	40% del PIM (aumenta cuando se consiguen 50 respiraciones sin ninguna dificultad durante 3 días consecutivos)	15 minutos	5 días/semana; 4 semanas
<b>Wang et al. (20); 2021</b>	IMT + EMT	Dispositivo de umbral ( <i>Threshold trainer</i> )	50% PIM/PEM (se ajusta a nuevos valores PIM/PEM)	4 sets x 4 minutos (2 veces/día)	7 días/semana; 10 semanas
<b>Raab et al. (14); 2019</b>	IMT	Dispositivo de umbral ( <i>Threshold trainer</i> )	Aumenta cuando la puntuación de Borg era inferior a la sesión anterior	60 respiraciones	3 días/semana; 6 semanas
<b>Leathem et al. (22); 2021</b>	IMT	Dispositivo de umbral ( <i>Threshold trainer</i> )	2 cmH2O menos del 1RM (que puedan completar 10 respiraciones sin hiperventilación)	30 respiraciones (2 veces/día)	5 días/semana; 8 semanas
<b>Kang et al. (23); 2022</b>	IMT + EMT	Dispositivo de umbral ( <i>Threshold trainer</i> )	15 respiraciones sin hiperventilación (aumenta cada semana)	1h/sesión	2 días/semana; 8 semanas
<b>Palermo et al. (13); 2022</b>	IMT	Dispositivo de flujo resistido	80% del PIM diario	7 sets x 6 respiraciones	7 días/semana; 4-20 semanas

IMT: Inspiratory Muscle Training; EMT: Espiratory Muscle Training; PIM: Presión Inspiratoria Máxima; PEM: Presión Espiratoria Máxima; 1RM: One-rep max (carga máxima que puedes superar en una sola repetición).

Si analizamos los resultados de estos estudios, todos consiguen alguna mejora significativa en las variables medidas, siendo la PIM la más repetida y común entre casi todos los estudios (13,14,16–18,20,23). Entre las demás variables a destacar, también encontramos mejoras significativas en la PEM (14,18,23), la Capacidad Vital (VC) (23), la Capacidad Vital Forzada (FVC) (23), el Pico de Flujo Espiratorio (PEF) (23), el Pico de Flujo de Tos (PCF) (23), la Capacidad Inspiratoria (IC) (23), la Reserva de Volumen Inspiratorio (IRV) (23), la calidad de vida (16,20), los síntomas respiratorios (16), la disnea (16,18) y la capacidad aeróbica (18).

Aun así, como podemos observar en la [tabla 5](#), existen diferencias en los protocolos de cada uno de los entrenamientos. Por una parte, la mitad de los estudios elige un entrenamiento basado solo en los músculos inspiratorios, y la otra mitad, sin embargo, da importancia tanto a los músculos inspiratorios como a los espiratorios. Por otra parte, el tiempo, la frecuencia, y sobre todo, la carga del tratamiento también es muy variado entre estudios. Esto nos indica que, como hemos mencionado desde el inicio, no existe un consenso sobre las características que debería tener un entrenamiento de RMT. Además, nos encontramos con que todos los estudios analizados presentan limitaciones como la baja muestra de participantes, la heterogeneidad de características en estas muestras y la disminución de la adherencia a lo largo de la intervención, lo que dificulta aún más reconocer cual sería la propuesta más indicada.

Esto mismo se refleja en varias de las revisiones analizadas para este trabajo. En primer lugar, el metaanálisis de estudios controlados aleatorizados (RCTs) de Wang et al. (10) mostró que en comparación con el control, el ejercicio respiratorio mejoró significativamente la VC, la FVC, el Volumen Espiratorio Forzado en el primer segundo (FEV1), la Ventilación Máxima Voluntaria (MVV), la PIM y la PEM. Sin embargo, no se comparan los protocolos utilizados en los distintos estudios ni se determina cual sería la intervención más efectiva, y concluyen que se necesitan más RCTs a gran escala para seguir explorando la eficacia a largo plazo y los parámetros óptimos de tratamiento de la RMT (10).

En segundo lugar, en el análisis secundario de Palermo et al. (21), donde se comparan el protocolo de Palermo et al. (13) y de Boswell-Ruys et al. (16), se concluye que, aunque ambos consigan mejoras en el valor de la PIM, no se puede determinar el protocolo más eficaz, debido a diferencias significativas entre los grupos al inicio del estudio y a un tamaño de la muestra relativamente pequeño. De la misma manera, en los 17 estudios analizados en la revisión sistemática de Lemos et al. (15) se muestran mejoras significativas en al menos una de las variables ventilatorias después del RMT. No obstante, tras esta revisión, tampoco fue posible concluir cuál sería el protocolo y el tipo de entrenamiento más adecuados.

Por último, en el metaanálisis de RCTs de Woods et al. (19), tampoco se pudo concluir cual era la intensidad óptima de tratamiento, ya que los estudios presentaban una alta variabilidad en las cargas. En cambio, sí que se pudieron comparar los resultados de los distintos dispositivos utilizados, y se concluyó que los estudios que utilizaron un dispositivo de resorte obtienen mejoras significativas de la PIM en el grupo de entrenamiento, y los estudios que utilizan un dispositivo sin resorte, sin embargo, no. Esto puede deberse a que en el dispositivo de resorte la válvula se cierra durante la inspiración, y requiere que los participantes inhalen con suficiente fuerza para abrirla y permitir la entrada de aire. Por lo tanto, la presión inspiratoria permanece constante, independientemente de lo rápido o despacio que inspiren los participantes. En cambio, en los dispositivos sin resorte la resistencia será dependiente del flujo, y por tanto

tendrá la limitación de que si un participante no inspira con suficiente fuerza, no habrá carga de entrenamiento (19).

Teniendo esto en cuenta, podríamos decir que no hay estudios suficientes con un nivel metodológico alto, muestra grande, y a largo plazo que consigan definir los parámetros concretos para un entrenamiento respiratorio lo más efectivo posible. Aun así, considero que podríamos sacar algunas conclusiones que son interesantes y favorables a la hora de realizar la propuesta de entrenamiento ([fig. 3](#)):

Por un lado, concluimos que el trabajo con resistencia y el aumento progresivo de la carga son factores indispensables en el entrenamiento respiratorio: los principios en los que se basa el entrenamiento eficaz de los músculos respiratorios son similares a los de otros músculos esqueléticos, y requieren aumentos progresivos de la carga a lo largo del tiempo para estimular la adaptación (17). Además, la intensidad del entrenamiento parece ser más importante para mejorar la fuerza muscular respiratoria que el volumen de entrenamiento: se ha visto que un aumento de la intensidad de entrenamiento de 10 cmH<sub>2</sub>O se traduce en un aumento del 7% del PIM (14). Por lo tanto, la recomendación es mantener la intensidad del entrenamiento lo más alta posible, con una calificación autodeclarada de al menos 15/20 en la escala de Borg, e ir aumentando la resistencia (14). Se ha demostrado que existe una relación positiva significativa entre la percepción del esfuerzo y la intensidad del trabajo independientemente del dispositivo o protocolo utilizado (21), por tanto, podríamos clasificar la intensidad del entrenamiento aún sin poder medir la PIM.

Por otro lado, se recalca la importancia de mantener el entrenamiento a largo plazo, y se indica que a menos que el entrenamiento se incorpore a la atención rutinaria, es poco probable que los beneficios del RMT se mantengan en el tiempo (16).

Además, se recomienda encarecidamente que los protocolos de RMT domiciliaria se supervisen de forma intermitente para preservar el cumplimiento y la seguridad (13,21), y que se realicen mediciones repetidas de la función respiratoria para adaptar el entrenamiento y motivar continuamente a los individuos (14). Aun así, se deben seguir investigando modelos de supervisión, incluida la supervisión a distancia, que sean sostenibles y se adapten a las capacidades individuales de las personas con LM y del personal sanitario (21).

**Figura 3. Puntos clave para un buen Entrenamiento Muscular Respiratorio:**

1. Uso de un dispositivo de umbral con resorte.
2. Aumento progresivo de la carga.
3. Entrenamiento a largo plazo.
4. Supervisión y evaluación rutinaria.

## METODOLOGÍA E INSTRUMENTOS DE VALORACIÓN DE RESPUESTA

### Sujetos a los que va dirigido el entrenamiento:

Esta propuesta de entrenamiento de la fuerza respiratoria irá dirigida a pacientes con Lesión Medular Cervical crónica, en concreto a aquellos con un nivel de afectación entre C7 y C8. En la [tabla 3](#) podemos observar la afectación que presentarán estos pacientes a nivel respiratorio. En

cuanto a la musculatura, es importante destacar que a este nivel de lesión, el diafragma, que es el principal músculo inspiratorio, preservará su activación. De la misma manera, el esternocleidomastoideo también se mantendrá intacto. Sin embargo, los escalenos, los pectorales, y el dorsal ancho tendrán una activación parcial, es decir, su función estará afectada, pero no estarán totalmente paralizados, pudiendo trabajar sobre ellos. Los que sí que quedarán totalmente paralizados serán los músculos espiratorios principales, es decir, los intercostales internos y los músculos abdominales, ya que tienen un nivel de inervación torácico. Debido a esto, podemos decir que aunque estos pacientes tengan capacidad ventilatoria, tanto la inspiración como la espiración se verán afectadas, ya que sin activación abdominal e intercostal la mecánica ventilatoria no será la correcta, y por tanto, la contracción diafragmática no será óptima. Además, la capacidad para toser y expulsar secreciones estará reducida, y la Capacidad Vital también, por lo que la espiración forzada y la tos serán compensadas con el pectoral mayor y el dorsal ancho.

Si hablamos de pacientes crónicos, sabemos que la función respiratoria mejora muchas veces después de los 6 meses post-lesión debido a la resolución de la inflamación y del edema, a una mejora en la función del diafragma y en el rendimiento de los músculos accesorios, y a un cambio de parálisis flácida a espástica que aumentará la estabilidad de la caja torácica (6,8). Sin embargo, siempre habrá una afectación de la función respiratoria, en mayor o menor medida, y teniendo en cuenta que la edad es uno de los factores significativos que influyen en la función pulmonar de aquellos con LM crónica (6), debemos darle importancia al entrenamiento respiratorio a lo largo de toda la vida del individuo.

#### Intervención:

Esta propuesta de intervención estará basada en todo lo mencionado hasta ahora, y constará de dos partes: por un lado, un Entrenamiento Muscular Respiratorio (RMT) contra resistencia, tanto de los músculos inspiratorios como de los espiratorios; y por otro lado, un entrenamiento específico de fuerza de aquellos músculos compensatorios que formen parte de la mecánica ventilatoria en pacientes con LM cervical. En ambos casos, y como en cualquier programa de entrenamiento, deberemos concretar algunos parámetros básicos, en este caso basándonos en el principio FITT. Este concepto fue descrito por el *American College of Sports Medicine*, y defiende que para realizar una correcta prescripción del ejercicio debemos definir la frecuencia, la intensidad, el tiempo y el tipo de la actividad física que pretendemos realizar (24). Por otro lado, como el objetivo es que puedan realizar el entrenamiento en domicilio y de forma autónoma, el primer día se les entregará a todos los usuarios un documento con todas las pautas y los ejercicios del entrenamiento ([Anexo 2](#)). Además, junto a esta explicación se les entregará un “Diario de entrenamiento”, dónde deberán anotar la fecha, las repeticiones, la resistencia y el esfuerzo percibido de cada ejercicio en cada día de entrenamiento ([Anexo 3](#)).

#### Entrenamiento Muscular Respiratorio:

El entrenamiento de RMT se llevará a cabo utilizando un dispositivo de resistencia de umbral, también conocido como *Threshold-resistance trainer*. En este caso, como nuestro objetivo es trabajar tanto la fuerza de los músculos inspiratorios como la de los espiratorios, elegiremos un dispositivo de válvula dual que nos permita trabajar ambas musculaturas de forma aislada. Un ejemplo de este tipo de dispositivos es el *Orygen Dual Valve®*, un dispositivo de entrenamiento

muscular inspiratorio y espiratorio de válvula dual con sistema de apertura de umbral accionada con resorte ([fig. 4](#)). Como ya hemos comentado, este sistema requiere que los participantes inhalen o exhalen con suficiente fuerza para abrir la válvula, y permite que la presión respiratoria permanezca constante, independientemente de lo rápido o despacio que inspiren/espiren los participantes (19). Este dispositivo en concreto tiene un rango de carga de 0 cmH<sub>2</sub>O a 80 cmH<sub>2</sub>O, lo cual es suficiente para comenzar con el entrenamiento o para personas con mayor afectación de la fuerza respiratoria. Sin embargo, si necesitásemos aumentar más la carga, podríamos cambiar al dispositivo *Orygen Sport Dual Valve*®, que ofrece un rango de hasta 140 cmH<sub>2</sub>O de carga inspiratoria, y de hasta 160 cmH<sub>2</sub>O de carga espiratoria.



**Figura 4. Dispositivo de válvula dual.**

Antes de comenzar los ejercicios, se ajustará la carga del dispositivo. Para ello, y como se explicará más adelante, se medirán los valores de PIM y PEM basales antes de comenzar el periodo de intervención, los cuales serán necesarios para individualizar el tratamiento y adaptar la carga del entrenamiento a las capacidades de cada paciente. Al principio, la intensidad se ajustará en un 50% del valor del PIM y del PEM iniciales, y se irá aumentando a medida que avancen las semanas de entrenamiento. Como el objetivo es que realicen el entrenamiento de forma independiente, les pediremos que vayan aumentando la resistencia cuando consigan realizar el entrenamiento sin dificultad, de manera que puedan realizar entre 8 y 10 repeticiones, pero con un esfuerzo percibido de mínimo un 6/10 en la Escala Modificada de Borg. A medida que pase el tiempo, se realizarán nuevas mediciones de la PIM y de la PEM, y se volverán a ajustar las cargas esta vez al 80% del nuevo valor de la PIM/PEM, con el objetivo de realizar un aumento progresivo de la carga (los tiempos de las mediciones están especificados en el apartado “Instrumentos de valoración de respuesta” y en la [figura 5](#)).

Los pacientes realizarán el entrenamiento sentados, en una posición cómoda. Una vez ajustada la carga inspiratoria, deberán colocarse la pinza nasal e introducirse la boquilla del dispositivo en la boca para poder comenzar con el entrenamiento (todos los parámetros del entrenamiento se presentan en la [tabla 6](#)). En primer lugar, realizarán el trabajo inspiratorio, y para ello se les instruirá que expulsen todo el aire que puedan y que después inspiren con fuerza para vencer la resistencia de la válvula y permitir el flujo de aire. Repetirán esto hasta realizar 4 series de 8-10 respiraciones, dejando 2 o 3 minutos de descanso entre series. Seguidamente, pasarán a realizar el trabajo espiratorio ajustando la carga en el lado opuesto del dispositivo, y quitando la presión en el lado inspiratorio. Les pediremos que inspiren todo el aire que puedan para después espirar con fuerza venciendo la resistencia de la válvula. El volumen del trabajo será el mismo, completando 4 series de 8-10 respiraciones, con 2 o 3 minutos de descanso entre sí. En cuanto a la frecuencia, los estudios indican que se pueden obtener resultados favorables a pesar de no entrenar los 7 días de la semana, por tanto, y con la creencia de que disminuir los días de entrenamiento podría aumentar la adherencia al tratamiento y adaptarse mejor a distintos estilos de vida, se les pedirá a los participantes realizar el entrenamiento un mínimo de 4 o 5 días a la semana.

**Tabla 6. Parámetros del Entrenamiento Muscular Respiratorio:**

Dispositivo	Intensidad	Tiempo (volumen)	Frecuencia
Dispositivo de válvula dual de umbral con resorte inspiratorio y espiratorio	50% de la PIM/PEM inicial (aumenta a medida que el esfuerzo percibido disminuya). Ajuste de la carga cada 3 meses al 80% del nuevo valor.	Inspiración: 4 sets x 8-10 respiraciones Descanso: 2-3 minutos entre sets Espiración: 4 sets x 8-10 respiraciones Descanso: 2-3 minutos entre sets	4-5 días/semana

Entrenamiento de fuerza de los músculos compensatorios:

La segunda parte del entrenamiento constará de unos ejercicios de fuerza de los músculos que todavía mantienen activación, y que pasan a formar parte de la mecánica ventilatoria. Se ha visto que en ausencia de la principal musculatura espiratoria, el dorsal ancho y el pectoral mayor se relacionan con la capacidad de toser, y se verán más involucrados en la prueba de Presión Espiratoria Máxima (PEM) en comparación con la población sana (6,25). De la misma manera, el romboides se verá más involucrado en la prueba de Presión Inspiratoria Máxima (PIM) (6). Por lo tanto, el objetivo de fortalecer esta musculatura será que se vea reflejado en una mejora de la función y de la fuerza respiratoria.

Como ya hemos mencionado, la idea principal de esta propuesta de intervención es que los participantes puedan mantener la rutina a lo largo del tiempo, y puedan realizar el entrenamiento por su cuenta, por lo que el material se proporcionará desde el centro para poder realizar los ejercicios en sus domicilios. Sin embargo, si los participantes no tuvieran las facilidades para poder llevar a cabo esta parte del entrenamiento de manera autónoma, se les recomendaría acudir a un centro de rehabilitación o gimnasio donde puedan realizar los ejercicios con ayuda de los profesionales correspondientes. El objetivo de añadir estos ejercicios a la propuesta es, como ya se ha mencionado: 1) Dar importancia a los músculos accesorios de la respiración, los cuales son muy relevantes para la mecánica respiratoria de estos pacientes; y 2) Incidir en la participación de las personas con LM y en el hábito de realizar actividad física durante toda su vida.

Dicho esto, esta parte del entrenamiento estará compuesta por 3 ejercicios, para los que se necesitarán unas barras paralelas portátiles y unas mancuernas. Se realizarán 4 series de 8-10 repeticiones para cada uno de ellos, y lo repetirán 4 o 5 días a la semana después de realizar el trabajo de RMT (todos los parámetros del entrenamiento se presentan en la [tabla 7](#)). El primer ejercicio será una dominada inclinada con la resistencia del propio peso corporal, y para realizarla el paciente se colocará en decúbito supino y con una barra paralela a la altura de la cabeza. Colocará sus manos en la barra con un agarre en pronación (utilizando las adaptaciones necesarias para facilitar ese agarre), y el objetivo será levantar su tronco del suelo y acercar el pecho a la barra, enfocándose a su vez en realizar una retracción escapular. De esta manera, además de trabajar el dorsal ancho, también ejercitaremos los músculos estabilizadores de la escápula, entre ellos el romboides.

El segundo ejercicio también estará centrado en los músculos de la espalda, pero esta vez consiguiendo más activación del romboides y del trapecio que del dorsal ancho. En este caso realizaremos un remo invertido, colocando las dos paralelas a cada lado del paciente (que estará de igual manera tumbado en el suelo), y el agarre será neutro. Desde este punto el objetivo será el mismo: separar la espalda del suelo, intentando en este caso que los codos no se separen del tronco. En estos dos primeros ejercicios se utilizará la resistencia del propio peso corporal, por lo que podemos ajustar la intensidad del ejercicio aumentando o disminuyendo las repeticiones. El objetivo principal será llegar a las 8 o 10 repeticiones, pero puede que al empezar no consigan realizarlas todas, por lo que la pauta será realizar las máximas posibles. Una vez consigan realizar las 8-10 repeticiones sin dificultad (con una puntuación de menos de 6/10 en la Escala Modificada de Borg), se puede añadir un peso externo o aumentar la dificultad del ejercicio, realizándolo en un TRX con suspensión parcial, por ejemplo.

Para pasar al tercer y último ejercicio, que también se hará en posición de decúbito supino, dejaremos las paralelas a un lado y cogeremos unas mancuernas para realizar un press de pecho. El objetivo será levantar las mancuernas desde el pecho hacia arriba en dirección vertical, estirando totalmente los codos, y después volver a la posición inicial lentamente. En este caso la carga del ejercicio la ajustaremos con el peso de las mancuernas, y comenzarán con un peso que les permita realizar las 8-10 repeticiones, pero manteniendo el esfuerzo del ejercicio en una puntuación de 6/10 en la Escala Modificada de Borg. A medida que el esfuerzo percibido vaya disminuyendo, les pediremos que aumenten el peso de las mancuernas.

**Tabla 7. Parámetros del entrenamiento de fuerza:**

Ejercicios	Intensidad	Tiempo (volumen)	Frecuencia
Dominada inclinada	> 6/10 Escala Modificada de Borg.	4 sets x 8-10 respiraciones Descanso: 2-3 minutos entre sets	4-5 días/semana
Remo invertido			
Press de pecho			

Aun así, me parece importante aclarar que estos parámetros de la intervención y estos ejercicios son generales y orientativos, y que siempre debemos tener en cuenta que los entrenamientos han de ser individualizados. Es importante saber que no a todo el mundo le funciona ni le motiva el mismo tipo de tratamiento, y puede que tampoco pueda permitirse dedicarle tanto tiempo a entrenar. Por tanto, es indispensable adaptar el entrenamiento a cada tipo de paciente, modificando si fuera necesario la frecuencia, el tiempo, la intensidad, e incluso el tipo de entrenamiento.

#### Instrumentos de valoración de respuesta:

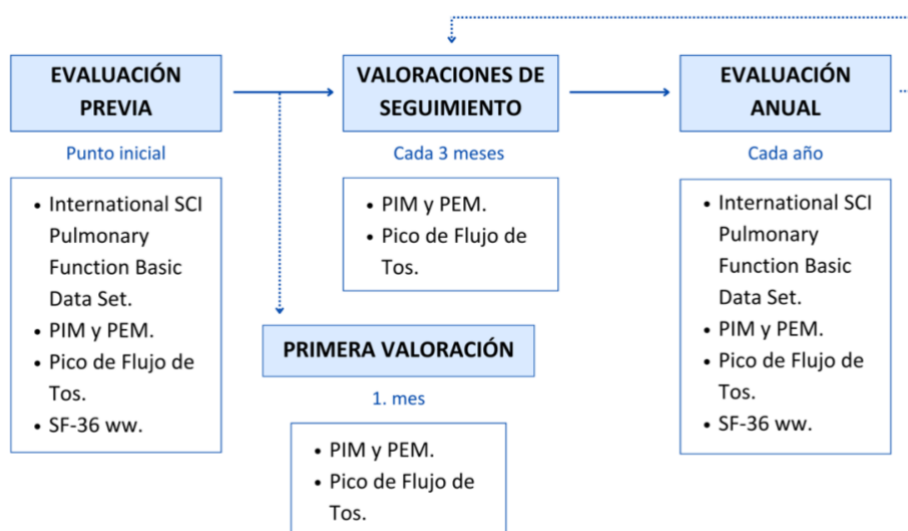
Para realizar una valoración completa de la función respiratoria, deberemos comenzar por recoger unos datos básicos sobre la historia y la función pulmonar del paciente. Estos datos se recogen en el *International SCI Pulmonary Function Basic Data Set*, el cual ha sido traducido y validado por Gómez Garrido et al. (26) en el 2015, y pretende ser un documento de consenso para estandarizar los datos mínimos que se han de recoger de forma periódica ([Anexo 4](#)). En él van incluidas las variables espirométricas de FVC, FEV1 y PEF, que son las variables de mayor importancia para determinar la función pulmonar de los pacientes con lesión medular, ya que se ven influenciadas por diversos factores importantes en esta patología (27).



Además de esto, y para realmente valorar si nuestro entrenamiento tiene beneficios en la fuerza de los músculos respiratorios, realizaremos las mediciones de la PIM, la PEM y el Pico de Flujo de Tos (PCF). La PIM refleja la fuerza inspiratoria máxima combinada de todos los músculos inspiratorios, mientras que la PEM la de los músculos espiratorios. Tanto la PIM como la PEM son muy sensibles al volumen pulmonar absoluto, y son los índices más utilizados, fiables y no invasivos para evaluar la función muscular respiratoria. Es más, se ha demostrado que existe una correlación significativa entre el cambio en los valores del PIM y los cambios en la IC, la VC y el PCF. Por cada 10 cmH<sub>2</sub>O de mejora en el PIM, había una mejora de 140 mL en la IC, de 135 mL en la VC y de 200 mL/s en el PCF. Esto es muy importante, ya que un aumento en la PIM puede suponer una diferencia significativa en la disnea, el grado de atelectasia, la expectoración efectiva de moco y el desarrollo de neumonía (16). Por otro lado, el Pico de Flujo de Tos estima la eficacia de la eliminación del moco y representa la fuerza explosiva de los músculos espiratorios, además de informar de la necesidad de iniciar un tratamiento con exsufador/insufador, ya que una PCF de <270 L·min<sup>-1</sup> se asocia a una mayor probabilidad de complicaciones pulmonares (28).

Por último, y con el fin de evaluar también los beneficios que puedan tener los cambios de la función pulmonar en la calidad de vida de los pacientes, se utilizará la escala SF-36 walk-wheel, la cual está validada para personas con Lesión Medular (29) ([Anexo 5](#)).

Los tiempos de valoración que se plantean se ilustran en la [figura 5](#). Se realizará una evaluación completa con todos los aspectos mencionados antes de comenzar con el entrenamiento, para poder recoger los valores iniciales y además poder ajustar la intensidad de la carga del entrenamiento. Pasado un mes, se realizará una primera valoración en la cual volveremos a realizar los test de la PIM, la PEM y el Pico de Flujo de Tos. El objetivo de esta primera valoración es observar si el aumento de la carga ha sido efectivo y si ha habido alguna mejora, además de resolver cualquier duda que haya podido tener el usuario. A largo plazo, sin embargo, realizaremos estas valoraciones de seguimiento cada 3 meses, con el fin de poder mantener la evolución del paciente pero a la vez darle más autonomía y conseguir que sea más sostenible tanto para el usuario como para el personal clínico. Por otro lado, cada año se repetirá la evaluación completa, incluyendo el cuestionario de consenso internacional y el test de calidad de vida.



**Figura 5. Protocolo de las mediciones a realizar.**

Además de esto, como se ha mencionado en el apartado anterior, los usuarios anotarán el esfuerzo del entrenamiento percibido mediante la Escala Modificada de Borg (0-10). Esto lo harán cada vez que realicen el entrenamiento, anotando la puntuación en el “Diario de Entrenamiento” ([Anexo 3](#)), y servirá de indicador para ir incrementando la carga de trabajo sin necesidad de tener los valores de PIM/PEM diarios y para realizar un seguimiento de la disnea y la tolerancia al ejercicio durante los entrenamientos.

#### Pautas de realización de las pruebas de la función respiratoria:

A continuación, se explicará brevemente el procedimiento a seguir para realizar los tests de función pulmonar mencionados anteriormente, siguiendo las directrices de la ATS (American Thoracic Society) y la ERS (European Respiratory Society).

En primer lugar, para recoger los datos espirométricos de FVC, FEV1 y PEF, el paciente estará sentado y se le colocará una pinza nasal. Le pediremos que coloque la boquilla del espirómetro en la boca y cierre bien los labios, asegurándonos que no haya fugas. Una vez colocados pasaremos a realizar la medición, e indicaremos al usuario que inspire rápidamente todo el aire que pueda y haga una pausa de menos de 2 segundos en la Capacidad Pulmonar Total (TLC) (30). Después, le pediremos que espire con el máximo esfuerzo hasta que no pueda expulsar más aire, y finalmente, que vuelva a inspirar con el máximo esfuerzo hasta estar completamente lleno (30). Se repetirá la maniobra un mínimo de 3 veces, y se comprobará la repetibilidad de las mediciones: la diferencia entre los dos valores mayores de FVC debe ser  $<0,150$  L, y la diferencia entre los dos valores mayores de FEV1 debe ser  $<0,150$  L (30). Si se cumple este criterio, se registrarán los valores más altos de FVC y de FEV1. El PEF será el flujo (o velocidad) máximo alcanzado durante la espiración forzada máxima, medido en litros por minuto.

En segundo lugar, los tests de las presiones respiratorias máximas (PIM y PEM) se realizarán con un medidor de presiones respiratorias, en posición de sedestación y con una pinza nasal. Para estandarizar la medición de la PIM y la PEM, se ha recomendado medir la PIM desde el Volumen Residual (RV) y la PEM desde la Capacidad Pulmonar Total (TLC) (28). Por tanto, para medir la PIM, pediremos al usuario que espire todo el aire que pueda y seguidamente que realice un esfuerzo inspiratorio máximo; y para medir la PEM, le pediremos lo contrario. Idealmente, las presiones inspiratoria y espiratoria deben mantenerse durante al menos 1,5 s (28). Cada maniobra se repetirá hasta que se consigan tres maniobras inspiratorias o tres maniobras espiratorias que varíen menos del 10%, y se registrará el valor máximo de entre las tres (28).

Por último, el PCF suele medirse con un medidor portátil de flujo máximo, sentado y con la espalda recta (28). Se indica a los sujetos que inhalen al máximo y que se coloquen la boquilla del dispositivo en la boca, sellando bien los labios y los dientes alrededor de esta. A continuación, se les pide que tosan lo más fuerte que puedan. Normalmente, los sujetos repiten el procedimiento hasta que generan tres valores de PCF con  $<5\%$  de diferencia entre sí, y se registra el valor más alto de los tres (28).

## RESULTADOS ESPERADOS Y CRITERIOS DE RESPUESTA O EFICACIA

Como ya se ha mencionado, el objetivo de esta intervención es aumentar la fuerza de los músculos respiratorios de los pacientes, y que esto se vea reflejado como una mejora en la función pulmonar y, en consecuencia, en la calidad de vida de los individuos con LM crónica. Por

tanto, se espera que después del entrenamiento se consiga una mejora de los valores de la PIM, la PEM y el Pico de Flujo de Tos, lo que nos indicaría un aumento de fuerza de los músculos inspiratorios y espiratorios. Además, se espera que este aumento de la fuerza tenga consecuencia también en los resultados obtenidos en las evaluaciones anuales, de manera que aumenten también los valores espirométricos y los resultados obtenidos en la escala de calidad de vida SF-36 ww.

En primer lugar, para poder interpretar los resultados obtenidos, deberemos tener en cuenta los valores de referencia de cada uno de los parámetros de medición; este valor teórico o de referencia se obtiene a partir de unas ecuaciones de predicción. En cuanto a la espirometría, la Normativa SEPAR de 2013 (31) recomienda utilizar los valores de referencia de Casan et al. (32) para niños (rango 6-20 años), Roca et al. (33) para adultos (rango 20-65) y García-Río et al. (34) para ancianos (rango 65-85 años) ([Anexo 6](#)). Teniendo estos valores teóricos en cuenta, se considera que la espirometría es “normal” cuando sus valores son superiores al límite inferior del intervalo de confianza (LIN), el cual está alrededor del 80% del valor teórico del FEV1 y FVC, y de 0,7 para la relación FEV1/FVC, por lo que cifras inferiores a estos nos indicarán una alteración de la función respiratoria (31,35).

Si hablamos de las presiones respiratorias máximas (PIM y PEM), en la declaración de la ATS/ERS de 2002 (36) sobre las pruebas musculares respiratorias, se propuso un PIM inferior a -80 cmH<sub>2</sub>O como umbral práctico para excluir una debilidad muscular inspiratoria clínicamente importante. Sin embargo, la debilidad también puede definirse basándose en los valores de referencia de ecuaciones específicas. En tal caso, la presencia o ausencia de debilidad muscular respiratoria depende críticamente de la ecuación predictiva específica que se utilice (28). Los valores de referencia que se plantean en la normativa SEPAR (37), tanto para la PIM como para la PEM, son los descritos por Morales et al. (38), cuyas ecuaciones de predicción se describen en el [Anexo 7](#). Aunque en el mismo manual se recomienda que a pesar de disponer de unos valores de referencia, dada la gran variabilidad interindividual, las presiones respiratorias máximas deberían interpretarse basándose en el seguimiento y la monitorización de un mismo paciente, más que en una medición aislada (37).

Aun así, estas ecuaciones de predicción no son específicas de la LM, y por lo tanto no tienen en cuenta factores como el nivel de lesión y el tiempo desde la lesión (parámetros que pueden influir en los valores de las pruebas respiratorias). Por ello, Mueller et al. (39) plantean otras ecuaciones de regresión para calcular los valores de referencia de la función pulmonar (FVC, FEV1 y PEF) y de la fuerza muscular respiratoria (PIM y PEM) en pacientes con LM completa. Estas ecuaciones se describen en el [Anexo 8](#), y podremos utilizarlas en aquellos pacientes mayores de 18 años con una clasificación de AIS de A o B. Además, han creado una hoja de cálculos de libre acceso ([www.scionn.nl/RefCalc.xls](http://www.scionn.nl/RefCalc.xls)) para facilitar el cálculo de los valores de referencia, donde el sistema calcula automáticamente el valor previsto de la función pulmonar o de la fuerza respiratoria máxima a partir de las características personales y lesionales del individuo. Además, si se introducen valores medidos del individuo real, se calculará el porcentaje del valor predicho para este individuo en particular.

Teniendo en cuenta los valores teóricos conseguidos, y para determinar si existe debilidad muscular o no, las presiones máximas por encima del 80% de los valores de referencia se considerarán cifras normales, las presiones entre el 50-80% se considerarán debilidad moderada

y las inferiores al 50% se considerarán debilidad grave (27). Además, otros autores afirman que un PIM de 0 a -20 cmH<sub>2</sub>O y un PEM de menos de 30 cmH<sub>2</sub>O se consideran insuficiente para producir una tos efectiva (20).

Por último, en cuanto al Pico de Flujo de Tos máximo, se ha descrito que los sujetos sanos alcanzan valores medios de PCF de aproximadamente 468 a 588 L/min (valores significativamente inferiores en las mujeres que en los hombres) y que los pacientes con enfermedades neuromusculares alcanzan valores de PCF inferiores según el tipo y el estadio de la enfermedad (28). Sin embargo, la SEPAR (37) indica que un valor de PCF superior de 350L puede considerarse dentro de los valores de normalidad, y cifras menores a 270 L/min indican un deterioro de la capacidad para expulsar secreciones de las vías aéreas.

Estos valores de referencia mencionados nos ayudarán a detectar el grado de afectación respiratoria de nuestros participantes, y uno de los criterios de respuesta será que consigan valores considerados dentro de la normalidad. Aun así, como ya se ha mencionado, para interpretar los resultados de las pruebas y valorar la efectividad del tratamiento nos basaremos más en el seguimiento y en los valores iniciales de un mismo paciente, que en datos de referencia globales. De modo que, un aumento de las puntuaciones obtenidas respecto a las valoraciones anteriores reflejará una buena eficacia del entrenamiento.

## VALORACIÓN CRÍTICA Y CONCLUSIONES DEL PROCESO DE APRENDIZAJE

Durante la elaboración de este trabajo he podido leer, analizar y aprender de muchas de las publicaciones realizadas a lo largo de los años sobre las opciones de tratamiento respiratorio en personas con Lesión Medular. Como ya se ha mencionado, la investigación acerca del Entrenamiento Muscular Respiratorio o RMT ha ido creciendo durante los años, y ya existen varios estudios que remarcan sus beneficios en distintas poblaciones. Aun así, si nos centramos en estudios enfocados en las personas con LM, vemos que existen varias limitaciones para considerar los resultados concluyentes. En general, existe mucha heterogeneidad en cuanto al diseño de la investigación, las características de los participantes, las técnicas y parámetros de entrenamiento y las condiciones de comparación utilizadas entre los ensayos clínicos. Debido a esto, todavía no se ha podido definir cuáles son las bases de un entrenamiento óptimo, lo que dificulta notablemente la implementación de este tipo de entrenamientos en la práctica clínica y en la vida diaria de los pacientes.

Esta limitación en la bibliografía existente tiene como consecuencia que las intervenciones que propongamos a nuestros pacientes no tengan una clara aprobación científica, como es el caso de esta propuesta de entrenamiento. Con esto no quiero decir que el entrenamiento de fuerza muscular respiratorio no sea beneficioso, ni que la propuesta de intervención planteada no tenga respaldo científico, sino que existe un vacío evidente en la literatura acerca de este tema. Por ello, se necesita seguir estudiando sobre el RMT en personas con LM, y son necesarias futuras líneas de investigación que garanticen los beneficios del entrenamiento propuesto en este trabajo.

Además, otra limitación de este estudio es que va dirigido a un grupo concreto de personas, dejando fuera del protocolo a aquellos con otro tipo de Lesiones Medulares. Por tanto, considero que sería importante desarrollar protocolos de actuación para los otros niveles de

afectación y así ajustar mejor las intervenciones en los diferentes perfiles de pacientes con LM crónica.

Por tanto, como conclusión final podríamos decir que este trabajo es útil para dar a conocer los últimos datos sobre el entrenamiento de fuerza muscular respiratoria y propone un protocolo de actuación actualizado en personas con Lesión Medular Cervical, dando importancia a aquellos músculos que conservan una activación parcial. Además, puede servir como base para futuras investigaciones en este ámbito.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Federación Nacional ASPAYM. Lesión Medular: abordaje interdisciplinar. Federación Nacional ASPAYM. 2023.
2. Strassburguer Lona K, Hernández Porras Y, Barquín S. Guía para el manejo integral del paciente con lesión medular crónica. Madr ASPAYM Madr. 2013;
3. Rupp R, Biering-Sørensen F, Burns SP, Graves DE, Guest J, Jones L, et al. International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury: Revised 2019. *Top Spinal Cord Inj Rehabil.* 2021;27(2):1-22.
4. Berlowitz DJ, Tamplin J. Respiratory muscle training for cervical spinal cord injury. Cochrane Injuries Group, editor. *Cochrane Database Syst Rev* [Internet]. 23 de julio de 2013 [citado 12 de marzo de 2024]; Disponible en: <https://doi.wiley.com/10.1002/14651858.CD008507.pub2>
5. Berlowitz DJ, Wadsworth B, Ross J. Respiratory problems and management in people with spinal cord injury. *Breathe.* diciembre de 2016;12(4):328-40.
6. Xie Y, Zhang L, Guo S, Peng R, Gong H, Yang M. Changes in respiratory structure and function after traumatic cervical spinal cord injury: observations from spinal cord and brain. *Front Neurol.* 6 de octubre de 2023;14:1251833.
7. Harvey L. Tratamiento de la lesión medular: guía para fisioterapeutas. Barcelona, España: Elsevier Churchill Livingstone; 2010.
8. Schilero GJ, Bauman WA, Radulovic M. Traumatic Spinal Cord Injury. *Clin Chest Med.* junio de 2018;39(2):411-25.
9. Schilero GJ, Bauman WA, Radulovic M. Traumatic Spinal Cord Injury. *Clin Chest Med.* junio de 2018;39(2):411-25.
10. Wang X, Zhang N, Xu Y. Effects of Respiratory Muscle Training on Pulmonary Function in Individuals with Spinal Cord Injury: An Updated Meta-analysis. *BioMed Res Int.* 24 de febrero de 2020;2020:1-8.
11. Ramli MI, Hamzaid NA, Engkasan JP, Usman J. Respiratory muscle training: a bibliometric analysis of 60 years' multidisciplinary journey. *Biomed Eng OnLine.* 22 de mayo de 2023;22(1):50.
12. Bach JR, Burke L, Chiou M. Conventional Respiratory Management of Spinal Cord Injury. *Phys Med Rehabil Clin N Am.* agosto de 2020;31(3):379-95.
13. Palermo AE, Nash MS, Kirk-Sanchez NJ, Cahalin LP. Adherence to and impact of home-based high-intensity IMT in people with spinal cord injury: a pilot study. *Spinal Cord Ser Cases.* 30 de octubre de 2022;8(1):85.
14. Raab AM, Krebs J, Pfister M, Perret C, Hopman M, Mueller G. Respiratory muscle training in individuals with spinal cord injury: effect of training intensity and -volume on improvements in respiratory muscle strength. *Spinal Cord.* junio de 2019;57(6):482-9.
15. Lemos JR, Da Cunha FA, Lopes AJ, Guimarães FS, Do Amaral Vasconcellos FV, Dos Santos Vigário P. Respiratory muscle training in non-athletes and athletes with spinal cord injury: A systematic review of the effects on pulmonary function, respiratory muscle strength and endurance, and cardiorespiratory fitness based on the FITT principle of exercise prescription. *J Back Musculoskelet Rehabil.* 20 de julio de 2020;33(4):655-67.
16. Boswell-Ruys CL, Lewis CRH, Wijeyesuriya NS, McBain RA, Lee BB, McKenzie DK, et al. Impact of respiratory muscle training on respiratory muscle strength, respiratory function and

quality of life in individuals with tetraplegia: a randomised clinical trial. *Thorax*. marzo de 2020;75(3):279-88.

17. Sankari A, Najjar AA, Maresh SA, Prowting JL, Fung CH, Knack A, et al. Feasibility of oropharyngeal and respiratory muscle training in individuals with OSA and spinal cord injury or disease: A pilot study. *Physiol Rep*. febrero de 2024;12(3):e15930.

18. Soumyashree S, Kaur J. Effect of inspiratory muscle training (IMT) on aerobic capacity, respiratory muscle strength and rate of perceived exertion in paraplegics. *J Spinal Cord Med*. 2 de enero de 2020;43(1):53-9.

19. Woods A, Gustafson O, Williams M, Stiger R. The effects of inspiratory muscle training on inspiratory muscle strength, lung function and quality of life in adults with spinal cord injuries: a systematic review and Meta-analysis. *Disabil Rehabil*. 14 de agosto de 2023;45(17):2703-14.

20. Wang HC, Lin YT, Huang CC, Lin MC, Liaw MY, Lu CH. Effects of Respiratory Muscle Training on Baroreflex Sensitivity, Respiratory Function, and Serum Oxidative Stress in Acute Cervical Spinal Cord Injury. *J Pers Med*. 5 de mayo de 2021;11(5):377.

21. Palermo AE, Butler JE, Boswell-Ruys CL. Comparison of two inspiratory muscle training protocols in people with spinal cord injury: a secondary analysis. *Spinal Cord Ser Cases*. 12 de agosto de 2023;9(1):42.

22. Leathem JM, Macht-Sliwinski M, Boak S, Courville A, Dearwater M, Gazi S, et al. Community exercise for individuals with spinal cord injury with inspiratory muscle training: A pilot study. *J Spinal Cord Med*. 3 de septiembre de 2021;44(5):711-9.

23. Kang D, Park J, Eun SD. A preliminary study on the feasibility of community game-based respiratory muscle training for individuals with high cervical spinal cord injury levels: a novel approach. *BMC Sports Sci Med Rehabil*. diciembre de 2022;14(1):137.

24. American College of Sports Medicine, Liguori G, Feito Y, Fountaine C, Roy B, editores. *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription*. Eleventh edition. Philadelphia: Wolters Kluwer; 2021. 1 p.

25. Terson De Paleville D, Lorenz D. Compensatory muscle activation during forced respiratory tasks in individuals with chronic spinal cord injury. *Respir Physiol Neurobiol*. octubre de 2015;217:54-62.

26. Gómez Garrido A, León Espitia AM, Montesinos Magraner L, Ramirez Galceran L, Soler Canudes E, González Viejo MA. Validación española del cuestionario International Spinal Cord Injury Pulmonary Function Basic Data Set para valorar la repercusión de la lesión medular en el sistema respiratorio. *Med Clínica*. diciembre de 2015;145(11):477-81.

27. Gomez Garrido A. *Lesión Medular y repercusión en el sistema respiratorio*. [Barcelona, España]: Universidad Autónoma de Barcelona; 2014.

28. Laveneziana P, Albuquerque A, Aliverti A, Babb T, Barreiro E, Dres M, et al. ERS statement on respiratory muscle testing at rest and during exercise. *Eur Respir J*. junio de 2019;53(6):1801214.

29. Lee BB, Simpson JM, King MT, Haran MJ, Marial O. The SF-36 walk-wheel: a simple modification of the SF-36 physical domain improves its responsiveness for measuring health status change in spinal cord injury. *Spinal Cord*. enero de 2009;47(1):50-5.

30. Graham BL, Steenbruggen I, Miller MR, Barjaktarevic IZ, Cooper BG, Hall GL, et al. Standardization of Spirometry 2019 Update. An Official American Thoracic Society and European Respiratory Society Technical Statement. *Am J Respir Crit Care Med*. 15 de octubre de 2019;200(8):e70-88.

31. SEPAR. Normativa sobre la espirometría. Barcelona, España: Editorial Respira; 2013.
32. Casan P, Roca J, Sanchis J. Spirometric response to a bronchodilator. Reference values for healthy children and adolescents. *Bull Eur Physiopathol Respir*. 1983;19(6):567-9.
33. Castellsagué J, Burgos F, Sunyer J, Barberà JA, Roca J. Prediction equations for forced spirometry from European origin populations. *Respir Med*. marzo de 1998;92(3):401-7.
34. Garcia-Rio F. Spirometric reference equations for European females and males aged 65-85 yrs. *Eur Respir J*. 1 de septiembre de 2004;24(3):397-405.
35. Acosta Bazaga E. Manual de diagnóstico y terapéutica en neumología. 3ª ed. Majadahonda, Madrid: Ergón; 2016.
36. ATS/ERS Statement on Respiratory Muscle Testing. *Am J Respir Crit Care Med*. 15 de agosto de 2002;166(4):518-624.
37. SEPAR. MANUAL SEPAR DE PROCEDIMIENTOS. Procedimientos de evaluación pulmonar (II). Barcelona, España: Permanyer; 2004.
38. Morales P, Cordero PJ, Sanchis J, Díez JL. Presiones respiratorias estáticas máximas en adultos. Valores de referencia de una población caucasiana mediterránea. *Arch Bronconeumol*. mayo de 1997;33(5):213-9.
39. Mueller G, Groot S, Woude L, Perret C, Michel F, Hopman M. Prediction models and development of an easy to use open-access tool for measuring lung function of individuals with motor complete spinal cord injury. *J Rehabil Med*. 2012;44(8):642-7.



## ABREVIATURAS

AIS: ASIA Impairment Scale

ATS: American Thoracic Society

EMT: Expiratory Muscle Training

ERS: European Respiratory Society

FEV1: Forced Expiratory Volumen in 1 second

FITT: Frecuency, Intensity, Time, Type.

FVC: Forced Vital Capacity

IC: Inspiratory Capacity

IMT: Inspiratory Muscle Training

IRV: Inspiratory Reserve Volume

ISNCSCI: International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury

LIN: Límite Inferior de Normalidad

LM: Lesión Medular

MVV: Maximal Voluntary Ventilation

PCF: Peak Cough Flow

PEF: Peak Expiratory Flow

PEM: Presión Espiratoria Máxima

PIM: Presión Inspiratoria Máxima

RCT: Randomized Controlled Trial

RMT: Respiratory Muscle Training

RV: Residual Volumen

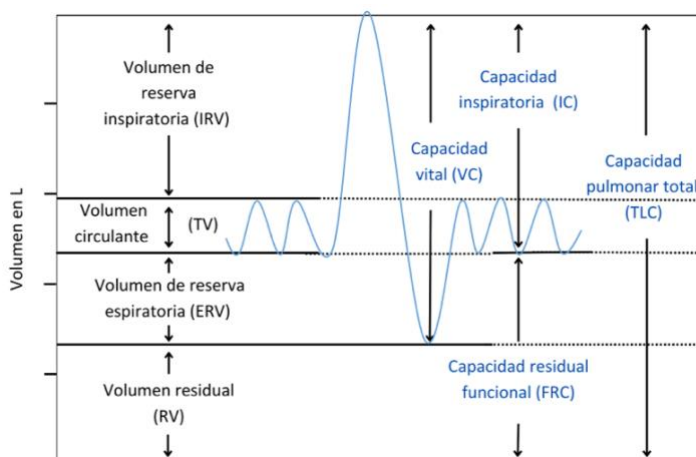
SEPAR: Sociedad Española de Neumología y Cirugía Torácica

TLC: Total Lung Capacity

VC: Vital Capacity

## ANEXO 1 – Definición de volúmenes, flujos y capacidades pulmonares:

<b>Volumen corriente o tidal (TV)</b>	La cantidad de aire que penetra en los pulmones con cada inspiración (o la que sale con cada espiración) durante la respiración tranquila. Corresponde a <b>500-750 ml</b> , normalmente.
<b>Volumen de reserva inspiratoria (IRV)</b>	El aire inspirado con el esfuerzo inspiratorio máximo, y por tanto, que rebasa el volumen circulante. Típicamente corresponde a <b>2L</b> .
<b>Volumen de reserva espiratoria (ERV)</b>	El volumen de aire que aún puede exhalarse después de una espiración normal. Corresponde a <b>1.1L</b> .
<b>Volumen residual (RV)</b>	El aire que queda en los pulmones después de un esfuerzo inspiratorio máximo. <b>1.3L</b> .
<b>Capacidad pulmonar total (TLC)</b>	El conjunto de los cuatro componentes anteriores. <b>5L</b> .
<b>Capacidad pulmonar vital (VC)</b>	La cantidad máxima de aire espirado de un pulmón totalmente inflado, o el nivel inspiratorio máximo. Por tanto, será la suma de TV + IRV + ERV. <b>3,5L</b> .
<b>Capacidad inspiratoria (IC)</b>	La cantidad máxima de aire inspirado desde el final de la espiración. Corresponde a la suma de IRV + TV. <b>2.5L</b> .
<b>Capacidad residual funcional (FRC)</b>	El volumen de aire que permanece en los pulmones después de espirar en una respiración tranquila. Corresponde a la suma de RV + ERV. <b>2,5L</b> .



**Gráfica de volúmenes y capacidades pulmonares.** Adaptación propia de Barrett KE, Ganong WF, editores. *Ganong's review of medical physiology*. 24. ed. New York: McGraw-Hill Med; 2012. 752 p. (A Lange medical book).

<b>Capacidad vital forzada (FVC)</b>	Es la máxima cantidad de aire que se puede espirar después de un esfuerzo inspiratorio máximo. Aporta información útil sobre la potencia de los músculos respiratorios y de otros aspectos de la función pulmonar.
<b>Volumen espiratorio forzado en 1 min (FEV<sub>1</sub>)</b>	Es la fracción de la capacidad vital espirada durante el primer segundo de una espiración forzada.
<b>FEV<sub>1</sub>/FVC</b>	Es un recurso útil para identificar algunos tipos de enfermedades de vías respiratorias, como el patrón obstructivo y restrictivo.
<b>Volumen respiratorio por min (RMV)</b>	Es el volumen total que entra y sale de los pulmones durante un minuto, en una respiración tranquila.
<b>Ventilación voluntaria máxima (MVV)</b>	Es el volumen máximo de gas que con un esfuerzo voluntario entra y sale de los pulmones durante un minuto.

## ANEXO 2 – Instrucciones del entrenamiento:

### INSTRUCCIONES DE USUARIO

#### Programa de entrenamiento:

El entrenamiento consta de tres partes, que se deben realizar en este mismo orden, por 4 o 5 días a la semana:

1. Entrenamiento Muscular Inspiratorio.
2. Entrenamiento Muscular Espiratorio.
3. Entrenamiento de fuerza.

#### Entrenamiento Muscular Inspiratorio:

**Material:** dispositivo de válvula dual *Orygen Dual Valve*®.



#### **Procedimiento:**

1. Ponte en una posición cómoda, sentado.
2. Ajusta la carga correspondiente en el lado inspiratorio (deja el lado contrario sin resistencia).
3. Colócate la pinza nasal en la nariz y la boquilla del dispositivo en la boca.
4. Expulsa todo el aire que puedas y, a continuación, inspira con suficiente fuerza como para vencer la resistencia de la válvula y poder permitir la entrada de aire.
5. Repite esto hasta completar 8-10 respiraciones y descansa durante 2 o 3 minutos.
6. Vuelve a colocarte el dispositivo en la boca y realiza otras 3 series de 8-10 respiraciones, siempre respetando el descanso entre las series.
7. Recuerda que puedes parar en cualquier momento durante el entrenamiento si no te encuentras bien o te mareas.
8. Registra los datos en el “Diario de Entrenamiento”.

#### **Aumento de la resistencia:**

La intensidad inicial se ajustará en base a los resultados obtenidos en la primera evaluación, y se anotará en el “Diario de Entrenamiento”. A partir de esta, deberás aumentar la intensidad girando la rueda hacia el lado del “+”, de manera que te cueste realizar el entrenamiento. Recuerda que el esfuerzo percibido del entrenamiento debe mantenerse por encima de una puntuación de 6 sobre 10 de la Escala modificada de Borg (la cual se encuentra en el “Diario de Entrenamiento”). A medida que se vayan realizando las valoraciones cada 3 meses, los nuevos valores de resistencia serán apuntados en el “Diario de Entrenamiento” por el clínico referente.

#### Entrenamiento Muscular Espiratorio:

**Material:** dispositivo de válvula dual *Orygen Dual Valve*®.

#### **Procedimiento:**

1. Ponte en una posición cómoda, sentado.
2. Ajusta la carga correspondiente en el lado espiratorio (deja el lado contrario sin resistencia).
3. Colócate la pinza nasal en la nariz y la boquilla del dispositivo en la boca.
4. Inspira todo el aire que puedas y, a continuación, espira con suficiente fuerza como para vencer la resistencia de la válvula y poder permitir la entrada de aire.

5. Repite esto hasta completar 8-10 respiraciones y descansa durante 2 o 3 minutos.
6. Vuelve a colocarte el dispositivo en la boca y realiza otras 3 series de 8-10 respiraciones, siempre respetando el descanso entre las series.
7. Recuerda que puedes parar en cualquier momento durante el entrenamiento si no te encuentras bien o te mareas.
8. Registra los datos en el “Diario de Entrenamiento”.

#### **Aumento de la carga:**

La intensidad inicial se ajustará en base a los resultados obtenidos en la primera evaluación, y se anotará en el “Diario de Entrenamiento”. A partir de esta, deberás aumentar la intensidad girando la rueda hacia el lado del “+”, de manera que te cueste realizar el entrenamiento. Recuerda que el esfuerzo percibido del entrenamiento debe mantenerse por encima de una puntuación de 6 sobre 10 de la Escala modificada de Borg (la cual se encuentra en el “Diario de Entrenamiento”). A medida que se vayan realizando las valoraciones cada 3 meses, los nuevos valores de resistencia serán apuntados en el “Diario de Entrenamiento” por el clínico referente.

#### Entrenamiento de fuerza:

**Material:** barras paralelas y mancuernas.

Esta parte estará compuesta por 3 ejercicios:

- Dominadas inclinadas.
- Remo invertido.
- Press de pecho.



#### **Procedimiento → dominadas inclinadas:**

1. Túmbate boca arriba, con una de las paralelas a la altura de tu cabeza.
2. Agárrate de la barra con las dos manos, mediante un agarre en pronación (las palmas de tus manos deben quedar en dirección a tus pies).
3. Haz fuerza con tus brazos y tu espalda de manera que intentes despegar tu espalda del suelo y acercar el pecho a la barra. Enfócate en realizar una retracción escapular (tus escapulas deben moverse hacia el centro de tu espalda, como si se quisieran tocar).
4. Vuelve a la posición de inicio controlando la bajada.
5. Repite esto hasta completar 8-10 repeticiones (si es posible), y descansa durante 2 o 3 minutos.
6. Realiza otras 3 series de 8-10 repeticiones, siempre respetando el descanso entre series.
7. Recuerda que puedes parar en cualquier momento durante el entrenamiento si no te encuentras bien o te mareas.
8. Registra los datos en el “Diario de Entrenamiento”.

#### **Aumento de la carga:**

Se utilizará la resistencia del propio peso corporal, por lo que podemos ajustar la intensidad del ejercicio aumentando o disminuyendo las repeticiones. El objetivo principal será llegar a las 8 o 10 repeticiones, pero si no consigues realizarlas todas, la pauta será realizar las máximas posibles. Una vez consigas realizar las 8-10 repeticiones sin dificultad (con una puntuación de menos de 6/10 en la Escala Modificada de Borg), se puede añadir un peso externo o aumentar la dificultad del ejercicio, si así te lo indica tu clínico de referencia.

**Procedimiento → remo invertido:**

1. Túmbate boca arriba, con las paralelas a cada lado de tu cuerpo.
2. Agárrate de las barras con las dos manos, mediante un agarre en neutro (las palmas de tus manos deben quedar en dirección a tu cuerpo).
3. Haz fuerza con tus brazos y tu espalda de manera que intentes despegar tu espalda del suelo, e intenta que los codos no se separen de tu tronco. Enfócate en realizar una retracción escapular (tus escapulas deben moverse hacia el centro de tu espalda, como si se quisieran tocar).
4. Vuelve a la posición de inicio controlando la bajada.
5. Repite esto hasta completar 8-10 repeticiones (si es posible), y descansa durante 2 o 3 minutos.
6. Realiza otras 3 series de 8-10 repeticiones, siempre respetando el descanso entre series.
7. Recuerda que puedes parar en cualquier momento durante el entrenamiento si no te encuentras bien o te mareas.
8. Registra los datos en el “Diario de Entrenamiento”.

**Aumento de la carga:**

Se utilizará la resistencia del propio peso corporal, por lo que podemos ajustar la intensidad del ejercicio aumentando o disminuyendo las repeticiones. El objetivo principal será llegar a las 8 o 10 repeticiones, pero si no consigues realizarlas todas, la pauta será realizar las máximas posibles. Una vez consigas realizar las 8-10 repeticiones sin dificultad (con una puntuación de menos de 6/10 en la Escala Modificada de Borg), se puede añadir un peso externo o aumentar la dificultad del ejercicio, si así te lo indica tu clínico de referencia.

**Procedimiento → press de pecho:**

1. Túmbate boca arriba y coloca las mancuernas encima de tu pecho.
2. Estira los brazos hacia el techo, de manera que las mancuernas se separen de tu pecho siguiendo una dirección vertical.
3. Vuelve a la posición inicial controlando la bajada.
4. Repite esto hasta completar 8-10 repeticiones, y descansa durante 2 o 3 minutos.
5. Realiza otras 3 series de 8-10 repeticiones, siempre respetando el descanso entre series.
6. Recuerda que puedes parar en cualquier momento durante el entrenamiento si no te encuentras bien o te mareas.
7. Registra los datos en el “Diario de Entrenamiento”.

**Aumento de la carga:**

Comenzarás con un peso que te permita realizar las 8-10 repeticiones, pero manteniendo el esfuerzo del ejercicio en una puntuación de 6/10 en la Escala Modificada de Borg. A medida que el esfuerzo percibido vaya disminuyendo, deberás aumentar el peso de las mancuernas para intentar mantener el nivel de esfuerzo en una puntuación mínima de 6/10 en la Escala de Borg.

ANEXO 3 – Registro diario de entrenamiento:

DIARIO DE ENTRENAMIENTO

Cargas iniciales:

Nombre: .....

- Entrenamiento inspiratorio: ..... cmH2O.
- Entrenamiento espiratorio: ..... cmH2O.
- Press de pecho: ..... kg.

\*Escala de esfuerzo percibido (Escala Modificada de Borg):



Fecha:

Ejercicio	Resistencia	Repeticiones	Esfuerzo percibido*
Inspiraciones	cmH2O		/10
Espiraciones	cmH2O		/10
Dominada inclinada	-		/10
Remo invertido	-		/10
Press de pecho	kg		/10

Comentarios:

Fecha:

Ejercicio	Resistencia	Repeticiones	Esfuerzo percibido*
Inspiraciones	cmH2O		/10
Espiraciones	cmH2O		/10
Dominada inclinada	-		/10
Remo invertido	-		/10
Press de pecho	kg		/10

Comentarios:

**Fecha:**

<b>Ejercicio</b>	<b>Resistencia</b>	<b>Repeticiones</b>	<b>Esfuerzo percibido*</b>
Inspiraciones	cmH2O		/10
Espiraciones	cmH2O		/10
Dominada inclinada	-		/10
Remo invertido	-		/10
Press de pecho	kg		/10

**Comentarios:**

**Fecha:**

<b>Ejercicio</b>	<b>Resistencia</b>	<b>Repeticiones</b>	<b>Esfuerzo percibido*</b>
Inspiraciones	cmH2O		/10
Espiraciones	cmH2O		/10
Dominada inclinada	-		/10
Remo invertido	-		/10
Press de pecho	kg		/10

**Comentarios:**

**Fecha:**

<b>Ejercicio</b>	<b>Resistencia</b>	<b>Repeticiones</b>	<b>Esfuerzo percibido*</b>
Inspiraciones	cmH2O		/10
Espiraciones	cmH2O		/10
Dominada inclinada	-		/10
Remo invertido	-		/10
Press de pecho	kg		/10

**Comentarios:**

## ANEXO 4 – International Spinal Cord Injury Pulmonary Function Basic Data Set:

4

A. Gómez Garrido et al / Med Clin (Barc). 2015;xxx(xx):xxx-xxx

### Anexo. Documento de consenso internacional sobre patología pulmonar en lesión medular versión española

Fecha:

*Enfermedades respiratorias ANTES de la lesión medular (recogida única):*

- Ninguna
- Asma
- EPOC (enfermedad pulmonar obstructiva crónica, incluye bronquitis y enfisema)
- Apnea del sueño
- Otra, especifique \_\_\_\_\_
- Desconocido

*Historia tabáquica (consumo de tabaco):*

- Nunca ha fumado
- Exfumador
- Fumador actualmente
- Desconocido

Si es exfumador, ¿en qué año dejó de fumar? \_\_\_\_\_

Si es exfumador o fumador actualmente, ¿por cuántos años ha fumado? \_\_\_\_\_ años

Si es exfumador o fumador actualmente, en promedio cuántos cigarrillos fuma (fumaba) diariamente (señale todas las que apliquen):

\_\_\_\_\_ Cigarrillos \_\_\_\_\_ Puros \_\_\_\_\_ Pipas \_\_\_\_\_ Desconocido

Para exfumadores o fumadores de cigarrillos únicamente, número de paquetes por año: ((promedio de cigarrillos fumados diariamente)/20)×(número de años en los que ha fumado): \_\_\_\_\_ paquetes-año

*Complicaciones respiratorias o enfermedades respiratorias TRAS la lesión medular en el último año:*

- Ninguna
- Neumonía:
  - Número de episodios de neumonías tratadas con antibióticos: \_\_\_\_\_
  - Número de episodios de neumonías que han requerido ingreso hospitalario: \_\_\_\_\_
- Asma
- Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC incluyendo bronquitis y enfisema)
- Apnea del sueño
- Otras condiciones respiratorias, especifique: \_\_\_\_\_
- Desconocida

*Uso de asistencia ventilatoria actualmente:*

- Ninguna
- Ventilación mecánica:
  - Sí, menos de 24 horas al día
  - Sí, 24 horas al día
  - Sí, cantidad de horas desconocida al día
- Marcapaso diafragmático: fecha de la intervención: \_\_\_\_\_
- Estimulador del nervio frénico: fecha de intervención: \_\_\_\_\_
- BI-PAP: fecha en la que inició su uso: \_\_\_\_\_
- Otra, especifique: \_\_\_\_\_
- Desconocida

*Pruebas de función pulmonar:*

Fecha de realización: \_\_\_\_\_

Capacidad Vital Forzada (FVC): \_\_\_\_\_ litros

Volumen Espiratorio Forzado en el primer segundo (FEV<sub>1</sub>): \_\_\_\_\_ litros

Pico de Flujo Espiratorio (PEF): \_\_\_\_\_ litros/minuto



Today's date: ___/___/___	ID No: _____
First name: _____ Surname: _____	
<b>SF-36 Questionnaire</b>	
<p><b>This questionnaire asks for your views about your health. For ALL questions, please tick, cross or colour the circle that most closely matches your response. There are no right or wrong answers. Please answer ALL questions.</b></p>	
1. In general, would you say your health is:	Poor <input type="radio"/> Fair <input type="radio"/> Good <input type="radio"/> Very good <input type="radio"/> Excellent <input type="radio"/>
2. Compared to one year ago, how would you rate your health general in now?	Much worse now than one year ago <input type="radio"/> Somewhat worse than one year ago <input type="radio"/> About the same as one year ago <input type="radio"/> Somewhat better than one year ago <input type="radio"/> Much better than one year ago <input type="radio"/>

3. The following questions are about activities you might do during a typical day. In the past 1-week does your health limit you in these activities? If so, how much?

(Please circle one number on each line)

ACTIVITIES	Yes Limited A lot	Yes Limited A little	No, Not Limited At All
3a: Vigorous activities, such as running, lifting heavy Objects, participating in strenuous sports	1	2	3
3b: Moderate activities, such as moving a table, pushing a vacuum cleaner, bowling, or playing golf	1	2	3
3c: Lifting or carrying groceries	1	2	3
3d: Climbing several flights of stairs	1	2	3
3e: Climbing one flight of stairs	1	2	3
3f: Bending, kneeling, or stooping	1	2	3
3g: Walking more than one kilometre	1	2	3
3h: Walking half a kilometre	1	2	3
3i: Walking 100 metres	1	2	3
3g ww: Wheeling more than one kilometre	1	2	3
3h ww: Wheeling half a kilometre	1	2	3
3i ww: Wheeling 100 metres	1	2	3
3j: Bathing or dressing yourself	1	2	3

<sup>a</sup>Modified from SF-36<sup>1</sup>: Items 3 ( a to j) are the original SF-36 questions, while 3g ww to 3i ww (shaded area) comprise the supplementary SF-36ww modification.

<b>4. During the past 4 weeks, how much of the time have you had any of the following problems with your work or other daily activities as a result of your physical health?</b>						
	None of the time	A little of the time	Some of the time	Most of the time	All of the time	
a. Cut down on the amount of time you spent on work or other activities	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
b. Accomplished less than you would like	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
c. Were limited in the kind of work or other activities	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
d. Had difficulty performing the work or other activities (e.g. it took extra effort)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>5. During the past 4 weeks, how much of the time have you had any of the following problems with your work or other regular daily activities as a result of any emotional problems (such as feeling depressed or anxious)?</b>						
	None of the time	A little of the time	Some of the time	Most of the time	All of the time	
a. Cut down on the amount of time you spent on work or other activities	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
b. Accomplished less than you would like	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
c. Did work or other activities less carefully than usual	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>6. During the past 4 weeks, to what extent has your physical health or emotional problems interfered with your normal social activities with family, friends, neighbours, or groups?</b>						
	Not at all	Slightly	Moderately	Quite a bit	All of the time	
<b>7. How much bodily pain have you had during the past 4 weeks?</b>						
	None	Very mild	Mild	Moderate	Severe	Very severe

<b>8. During the past 4 weeks, how much did pain interfere with your normal work (including both work outside the home and housework)?</b>					
	Not at all	A little bit	Moderately	Quite a bit	Extremely
<b>9. These questions are about how you feel and how things have been with you during the past 4 weeks. For each question, please give the one answer that comes closest to the way you have been feeling. How much of the time during the past 4 weeks...</b>					
	None of the time	A little of the time	Some of the time	Most of the time	All of the time
a. did you feel full of life?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
b. have you been very nervous?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
c. have you felt so down in the dumps that nothing could cheer you up?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
d. have you felt calm and peaceful?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
e. did you have a lot of energy?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
f. have you felt downhearted and depressed?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
g. did you feel worn out?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
h. have you been happy?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
i. did you feel tired?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<b>10. During the past 4 weeks, how much of the time has your physical health or emotional problems interfered with your social activities (like visiting friends, relatives, etc.)?</b>					
	None of the time	A little of the time	Some of the time	Most of the time	All of the time
<b>11. How TRUE or FALSE is each of the following statements for you?</b>					
	Definitely false	Mostly false	Don't know	Mostly true	Definitely true
a. I seem to get sick a little easier than other people	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
b. I am as healthy as anybody I know	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
c. I expect my health to get worse	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
d. My health is excellent	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## ANEXO 6 – Valores de referencia espirométricos:

Casan et al.; 6 – 20 años:

Sexo	Ecuaciones de predicción
<b>Hombres</b>	$\text{FVC (L)} = (0,02800 \times \text{altura en cm}) + (0,03451 \times \text{peso en kg}) + (0,05728 \times \text{edad}) - 3,21$ $\text{FEV1 (L)} = (0,02483 \times \text{altura en cm}) + (0,02266 \times \text{peso en kg}) + (0,07148 \times \text{edad}) - 2,91$ $\text{PEF (L/s)} = (0,075 \times \text{altura en cm}) + (0,275 \times \text{edad}) - 9,06$
<b>Mujeres</b>	$\text{FVC (L)} = (0,03049 \times \text{altura en cm}) + (0,02220 \times \text{peso en kg}) + (0,03550 \times \text{edad}) - 3,04$ $\text{FEV1 (L)} = (0,02483 \times \text{altura en cm}) + (0,02266 \times \text{peso en kg}) + (0,07148 \times \text{edad}) - 2,91$ $\text{PEF (L/s)} = (0,073 \times \text{altura en cm}) + (0,134 \times \text{edad}) - 7,57$

*Casan P, Roca J, Sanchis J. Spirometric response to a bronchodilator. Reference values for healthy children and adolescents. Bull Eur Physiopathol Respir. 1983;19(6):567-9.*

Roca et al.; 20 – 65 años:

Sexo	Ecuaciones de predicción
<b>Hombres</b>	$\text{FVC (L)} = (0,0678 \times \text{altura en cm}) - (0,0147 \times \text{edad}) - 6,0548$ $\text{FEV1 (L)} = (0,0514 \times \text{altura en cm}) - (0,0216 \times \text{edad}) - 3,9548$ $\text{PEF (L/s)} = (0,0945 \times \text{altura en cm}) - (0,0209 \times \text{edad}) - 5,7732$ $\text{FEV1/FVC (\%)} = - (0,1902 \times \text{edad}) + 85,58$
<b>Mujeres</b>	$\text{FVC (L)} = (0,0454 \times \text{altura en cm}) - (0,0211 \times \text{edad}) - 2,8253$ $\text{FEV1 (L)} = (0,0326 \times \text{altura en cm}) - (0,0253 \times \text{edad}) - 1,2864$ $\text{PEF (L/s)} = (0,0448 \times \text{altura en cm}) - (0,0304 \times \text{edad}) + 0,3496$ $\text{FEV1/FVC (\%)} = - (0,244 \times \text{edad}) - (0,1126 \times \text{peso en kg}) + 94,88$

*Castellsagué J, Burgos F, Sunyer J, Barberà JA, Roca J. Prediction equations for forced spirometry from European origin populations. Respir Med. marzo de 1998;92(3):401-7.*

García-Río et al.; 65 – 85 años:

Sexo	Ecuaciones de predicción
<b>Hombres</b>	$\text{FVC (L)} = (0,0001572 \times (\text{altura en cm})^2) - (0,00000268 \times \text{edad}^3) + 0,223$ $\text{FEV1 (L)} = (0,0001107 \times (\text{altura en cm})^2) - (0,0445 \times \text{edad}) + 2,886$ $\text{PEF (L/s)} = (0,07092 \times \text{altura en cm}) - (0,000939 \times \text{edad}^2) + 0,347$ $\text{FEV1/FVC (\%)} = - (0,00198 \times \text{edad}^2) + 87,472$
<b>Mujeres</b>	$\text{FVC (L)} = (0,0003171 \times (\text{altura en cm})^2) - (0,0351 \times \text{edad}) - (6,368 \times \text{área de superficie corporal en m}^2) + (0,05925 \times \text{peso en kg}) + 3,960$ $\text{FEV1 (L)} = (0,0001726 \times (\text{altura en cm})^2) - (0,0326 \times \text{edad}) - (2,303 \times \text{área de superficie corporal en m}^2) + (0,000122 \times (\text{peso en kg})^2) + 3,398$ $\text{PEF (L/s)} = (0,0002283 \times (\text{altura en cm})^2) - (0,0644 \times \text{edad}) + 4,001$ $\text{FEV1/FVC (\%)} = - (0,155 \times \text{altura}) - (0,184 \times \text{edad}) + 116,096$

*García-Río F. Spirometric reference equations for European females and males aged 65-85 yrs. Eur Respir J. 1 de septiembre de 2004;24(3):397-405.*

ANEXO 7 – Valores de referencia de PIM y PEM de Morales et al.:

Sexo	Ecuaciones de predicción de las Presiones Respiratorias Máximas
<b>Hombres</b>	$\text{PIM} = 133,07 - 1,03 \times \text{edad} + 0,59 \times \text{peso}$ $\text{PEM} = 263,12 - 1,31 \times \text{edad}$
<b>Mujeres</b>	$\text{PIM} = 125,18 - 0,64 \times \text{edad}$ $\text{PEM} = 116,23 - 0,57 \times \text{edad} + 0,65 \times \text{peso}$
<i>PEM y PIM expresadas en cmH<sub>2</sub>O (la PIM de signo negativo). Edad en años y peso en kg.</i>	

Morales P, Cordero PJ, Sanchis J, Díez JL. Presiones respiratorias estáticas máximas en adultos. Valores de referencia de una población caucasiana mediterránea. Arch Bronconeumol. Mayo de 1997;33(5):213-9.

ANEXO 8 – Valores de referencia de las Presiones Respiratorias Máximas de Mueller et al.:

Test	Nivel de lesión	Ecuación
FVC	C4-C5	<b>Hombres:</b> $-1,219 - 0,599 + (1 \times 0,645) + (\text{edad} \times -0,026) + (\text{altura en cm} \times 0,024) + (\text{peso en kg} \times 0,010)$ <b>Mujeres:</b> $-1,219 - 0,599 + (0 \times 0,645) + (\text{edad} \times -0,026) + (\text{altura en cm} \times 0,024) + (\text{peso en kg} \times 0,010)$
	C6-C8	<b>Hombres:</b> $-1,219 - 0 + (1 \times 0,645) + (\text{edad} \times -0,026) + (\text{altura en cm} \times 0,024) + (\text{peso en kg} \times 0,010)$ <b>Mujeres:</b> $-1,219 - 0 + (0 \times 0,645) + (\text{edad} \times -0,026) + (\text{altura en cm} \times 0,024) + (\text{peso en kg} \times 0,010)$
	T1-T6	<b>Hombres:</b> $-1,219 + 0,371 + (1 \times 0,645) + (\text{edad} \times -0,026) + (\text{altura en cm} \times 0,024) + (\text{peso en kg} \times 0,010)$ <b>Mujeres:</b> $-1,219 + 0,371 + (0 \times 0,645) + (\text{edad} \times -0,026) + (\text{altura en cm} \times 0,024) + (\text{peso en kg} \times 0,010)$
	T7-T12	<b>Hombres:</b> $-1,219 + 0,791 + (1 \times 0,645) + (\text{edad} \times -0,026) + (\text{altura en cm} \times 0,024) + (\text{peso en kg} \times 0,010)$ <b>Mujeres:</b> $-1,219 + 0,791 + (0 \times 0,645) + (\text{edad} \times -0,026) + (\text{altura en cm} \times 0,024) + (\text{peso en kg} \times 0,010)$
FEV1	C4-C5	<b>Hombres:</b> $-0,798 - 0,531 + (1 \times 0,505) + (\text{edad} \times -0,025) + (\text{altura en cm} \times 0,021) + (\text{peso en kg} \times 0,006)$ <b>Mujeres:</b> $-0,798 - 0,531 + (0 \times 0,505) + (\text{edad} \times -0,025) + (\text{altura en cm} \times 0,021) + (\text{peso en kg} \times 0,006)$
	C6-C8	<b>Hombres:</b> $-0,798 - 0 + (1 \times 0,505) + (\text{edad} \times -0,025) + (\text{altura en cm} \times 0,021) + (\text{peso en kg} \times 0,006)$ <b>Mujeres:</b> $-0,798 - 0 + (0 \times 0,505) + (\text{edad} \times -0,025) + (\text{altura en cm} \times 0,021) + (\text{peso en kg} \times 0,006)$
	T1-T6	<b>Hombres:</b> $-0,798 + 0,280 + (1 \times 0,505) + (\text{edad} \times -0,025) + (\text{altura en cm} \times 0,021) + (\text{peso en kg} \times 0,006)$ <b>Mujeres:</b> $-0,798 + 0,280 + (0 \times 0,505) + (\text{edad} \times -0,025) + (\text{altura en cm} \times 0,021) + (\text{peso en kg} \times 0,006)$
	T7-T12	<b>Hombres:</b> $-0,798 + 0,608 + (1 \times 0,505) + (\text{edad} \times -0,025) + (\text{altura en cm} \times 0,021) + (\text{peso en kg} \times 0,006)$ <b>Mujeres:</b> $-0,798 + 0,608 + (0 \times 0,505) + (\text{edad} \times -0,025) + (\text{altura en cm} \times 0,021) + (\text{peso en kg} \times 0,006)$
PEF	C4-C5	<b>Hombres:</b> $-1,327 - 1,105 + (1 \times 1,049) + (\text{edad} \times -0,031) + (\text{altura en cm} \times 0,032) + (\text{peso en kg} \times 0,015)$ <b>Mujeres:</b> $-1,327 - 1,105 + (0 \times 1,049) + (\text{edad} \times -0,031) + (\text{altura en cm} \times 0,032) + (\text{peso en kg} \times 0,015)$
	C6-C8	<b>Hombres:</b> $-1,327 - 0 + (1 \times 1,049) + (\text{edad} \times -0,031) + (\text{altura en cm} \times 0,032) + (\text{peso en kg} \times 0,015)$ <b>Mujeres:</b> $-1,327 - 0 + (0 \times 1,049) + (\text{edad} \times -0,031) + (\text{altura en cm} \times 0,032) + (\text{peso en kg} \times 0,015)$

	<b>T1-T6</b>	<b>Hombres:</b> $-1,327 + 0,902 + (1 \times 1,049) + (\text{edad} \times -0,031) + (\text{altura en cm} \times 0,032) + (\text{peso en kg} \times 0,015)$ <b>Mujeres:</b> $-1,327 + 0,902 + (0 \times 1,049) + (\text{edad} \times -0,031) + (\text{altura en cm} \times 0,032) + (\text{peso en kg} \times 0,015)$
	<b>T7-T12</b>	<b>Hombres:</b> $-1,327 + 1,725 + (1 \times 1,049) + (\text{edad} \times -0,031) + (\text{altura en cm} \times 0,032) + (\text{peso en kg} \times 0,015)$ <b>Mujeres:</b> $-1,327 + 1,725 + (0 \times 1,049) + (\text{edad} \times -0,031) + (\text{altura en cm} \times 0,032) + (\text{peso en kg} \times 0,015)$
<b>PIM</b>	<b>C4-C5</b>	<b>Hombres:</b> $45,31 - 11,98 + (1 \times 14,95) + (\text{edad} \times -0,60) + (\text{peso en kg} \times 0,51)$ <b>Mujeres:</b> $45,31 - 11,98 + (0 \times 14,95) + (\text{edad} \times -0,60) + (\text{peso en kg} \times 0,51)$
	<b>C6-C8</b>	<b>Hombres:</b> $45,31 - 0 + (1 \times 14,95) + (\text{edad} \times -0,60) + (\text{peso en kg} \times 0,51)$ <b>Mujeres:</b> $45,31 - 0 + (0 \times 14,95) + (\text{edad} \times -0,60) + (\text{peso en kg} \times 0,51)$
	<b>T1-T6</b>	<b>Hombres:</b> $45,31 + 10,90 + (1 \times 14,95) + (\text{edad} \times -0,60) + (\text{peso en kg} \times 0,51)$ <b>Mujeres:</b> $45,31 + 10,90 + (0 \times 14,95) + (\text{edad} \times -0,60) + (\text{peso en kg} \times 0,51)$
	<b>T7-T12</b>	<b>Hombres:</b> $45,31 + 19,89 + (1 \times 14,95) + (\text{edad} \times -0,60) + (\text{peso en kg} \times 0,51)$ <b>Mujeres:</b> $45,31 + 19,89 + (0 \times 14,95) + (\text{edad} \times -0,60) + (\text{peso en kg} \times 0,51)$
<b>PEM</b>	<b>C4-C5</b>	<b>Hombres:</b> $55,72 - 7,87 + (1 \times 19,74) + (\text{edad} \times -0,52) + (\text{años desde la lesión} \times 0,46)$ <b>Mujeres:</b> $55,72 - 7,87 + (0 \times 19,74) + (\text{edad} \times -0,52) + (\text{años desde la lesión} \times 0,46)$
	<b>C6-C8</b>	<b>Hombres:</b> $55,72 - 0 + (1 \times 19,74) + (\text{edad} \times -0,52) + (\text{años desde la lesión} \times 0,46)$ <b>Mujeres:</b> $55,72 - 0 + (0 \times 19,74) + (\text{edad} \times -0,52) + (\text{años desde la lesión} \times 0,46)$
	<b>T1-T6</b>	<b>Hombres:</b> $55,72 + 9,09 + (1 \times 19,74) + (\text{edad} \times -0,52) + (\text{años desde la lesión} \times 0,46)$ <b>Mujeres:</b> $55,72 + 9,09 + (0 \times 19,74) + (\text{edad} \times -0,52) + (\text{años desde la lesión} \times 0,46)$
	<b>T7-T12</b>	<b>Hombres:</b> $55,72 + 36,18 + (1 \times 19,74) + (\text{edad} \times -0,52) + (\text{años desde la lesión} \times 0,46)$ <b>Mujeres:</b> $55,72 + 36,18 + (0 \times 19,74) + (\text{edad} \times -0,52) + (\text{años desde la lesión} \times 0,46)$

Adaptación propia de Mueller G, Groot S, Woude L, Perret C, Michel F, Hopman M. Prediction models and development of an easy to use open-access tool for measuring lung function of individuals with motor complete spinal cord injury. *J Rehabil Med.* 2012;44(8):642-7.