

**UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE**

**FACULTAD DE MEDICINA**

**TRABAJO DE FIN DE GRADO**

**GRADO EN FISIOTERAPIA**



**UNIVERSITAS**  
*Miguel Hernández*

**EFICACIA DEL ENTRENAMIENTO DE LA MUSCULATURA  
INSPIRATORIA EN PACIENTES CON AFECTACIÓN PERIFÉRICA DEL  
NERVIO FRÉNICO O DE SUS RAÍCES NERVIOSAS A NIVEL MEDULAR.  
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.**

**Autor:** Alba Belmonte Palenzuela

**Nº expediente:** 2393

**Tutor:** Gemas Concepción Más Penalva

**Departamento y área:** Departamento de cirugía y patología

**Curso:** 2020/2021

**Convocatoria** Junio



# INDICE

---

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| RESUMEN/ABSTRACT.....      | 1-2   |
| 1. INTRODUCCIÓN.....       | 3-5   |
| 2. OBJETIVOS.....          | 6     |
| 3. MATERIAL Y MÉTODOS..... | 7-9   |
| 4. RESULTADOS.....         | 10-12 |
| 5. DISCUSIÓN.....          | 13-17 |
| 6. CONCLUSIÓN.....         | 18-19 |
| 7. ANEXOS.....             | 20-37 |
| a. Anexo I.....            | 20    |
| b. Anexo II.....           | 21-27 |
| c. Anexo III.....          | 28-33 |
| d. Anexo IV.....           | 34    |
| e. Anexo V.....            | 35    |
| f. Anexo VI.....           | 36-37 |
| 8. BIBLIOGRAFÍA.....       | 38-41 |

# RESUMEN

---

**Introducción:** El diafragma es el principal músculo inspiratorio; está inervado por el nervio frénico que surge de las raíces nerviosas C3 - C5. El entrenamiento de los músculos inspiratorios (EMI) podría ayudar a la recuperación de la parálisis del diafragma mejorando la movilidad diafragmática, la fuerza de los músculos inspiratorios, la calidad de vida, la disnea y la tolerancia al ejercicio.

**Objetivos:** Conocer, según la evidencia científica, si el EMI es beneficioso para aumentar la fuerza de la musculatura inspiratoria, la calidad de vida, la capacidad de ejercicio y en la disnea en personas adultas con afectación periférica del nervio frénico o de sus raíces a nivel medular.

**Material y métodos:** La metodología empleada para la realización de este estudio ha sido llevada a cabo a través de las bases de datos Pubmed, Scopus, PEDro, Cochrane y Embase.

**Resultados:** Se encontraron 7 artículos que cumplen los criterios de inclusión. El protocolo de intervención del EMI fue variado en cada uno de los artículos en relación a la intensidad y duración del tratamiento.

**Conclusión:** El EMI en pacientes adultos con afectación en el nervio frénico podría mejorar la fuerza de los músculos inspiratorios, disminuir la disnea, mejorar la calidad de las actividades de la vida diaria, el patrón respiratorio y la capacidad del ejercicio. Se observa que no existe un consenso entre los autores a la hora de especificar parámetros del tratamiento ni la manera de realizar el protocolo del EMI.

**Palabras clave:** *“Entrenamiento de la musculatura inspiratoria”, “Deterioro diafragmático”, “Disfunción diafragmática”, “Nervio Frénico”.*

# ABSTRACT

---

**Introduction:** The diaphragm is the main inspiratory muscle; It is innervated by the phrenic nerve that arises from the C3 - C5 nerve roots. Inspiratory muscle training (IMT) could aid recovery from diaphragm paralysis by improving diaphragmatic mobility, inspiratory muscle strength, quality of life, dyspnea, and exercise tolerance.

**Objectives:** To know, according to scientific evidence, if IMT is beneficial to increase inspiratory muscle strength, quality of life, exercise capacity and dyspnea in adults with peripheral affectionation of the phrenic nerve or its roots to medullary level.

**Material and methods:** The methodology used to carry out this study has been carried out through the Pubmed, Scopus, PEDro, Cochrane and Embase databases.

**Results:** 7 articles were found that met the inclusion criteria. The IMT intervention protocol was varied in each of the articles in relation to the intensity and duration of the treatment.

**Conclusion:** The IMT in adult patients with phrenic nerve affectionation could improve inspiratory muscle strength, decrease dyspnea, improve the quality of activities of daily living, respiratory pattern and exercise capacity. It is observed that there is no consensus among the authors when specifying treatment parameters or how to carry out the IMT protocol.

**Keywords:** *"Inspiratory muscle training", "Diaphragmatic impairment", "Diaphragm dysfunction", "Phrenic nerve".*

# 1. INTRODUCCIÓN

---

El diafragma es el principal músculo de la ventilación y se encarga de alrededor del 70%-80% del trabajo respiratorio <sup>1</sup>. Además, el diafragma ayuda en la emesis, micción y defecación al aumentar la presión intraabdominal y ayuda a prevenir el reflujo gastroesofágico al ejercer presión externa en el hiato esofágico <sup>2</sup>. El diafragma está inervado por el nervio frénico que surge de las raíces C3 - C5. Las enfermedades que interfieren en la inervación diafragmática, las propiedades de los músculos contráctiles o el acoplamiento mecánico a la pared torácica pueden causar disfunción diafragmática <sup>3</sup>.

La disfunción se puede clasificar como parálisis, debilidad o eventración <sup>2</sup>. La disfunción diafragmática puede ser unilateral o, con menos frecuencia, bilateral. La alteración unilateral puede ser asintomática <sup>2</sup>, aunque su sintomatología asociada incluye disnea de esfuerzo, ortopnea, alteraciones del sueño y reflujo gastrointestinal<sup>4</sup>. Además, la desaturación es más frecuente y severa cuando el paciente está en decúbito lateral del lado afecto<sup>3</sup>. La ausencia de contracción diafragmática reduce la expansión del pulmón durante la inspiración, lo que provoca un déficit ventilatorio restrictivo <sup>4</sup> que se manifiesta como una reducción de la capacidad vital forzada y del volumen espiratorio forzado en 1 segundo <sup>2</sup>. Cuando hay afectación bilateral, los pacientes suelen presentar cianosis, disnea <sup>5</sup>, ortopnea <sup>5</sup>, disminución bilateral de los ruidos respiratorios, trastornos del sueño e hipoventilación significativa, especialmente durante sueño REM <sup>3</sup>, respiración rápida y superficial o movimiento paradójico de la pared abdominal, especialmente cuando la paciente está en decúbito. Esto se debe al comportamiento "pasivo" del diafragma durante la inspiración <sup>3</sup>.

Se desconoce la incidencia de la disfunción diafragmática, dadas las múltiples enfermedades que lo provocan<sup>3</sup>. Las causas de origen nervioso central de disfunción diafragmática incluyen traumatismo de la columna cervical y degeneración <sup>6,7</sup>. Con menos frecuencia, las enfermedades de la médula espinal cervical, como la mielitis transversa, la siringe y el tumor, pueden provocar parálisis o debilidad. La disfunción también puede deberse a una enfermedad de las células de la asta anterior de la médula

espinal, como la esclerosis lateral amiotrófica y la poliomielitis <sup>2</sup>. La disfunción del nervio frénico es causada comúnmente por cirugía cardíaca, que conduce a parálisis diafragmática en 2-20% de los pacientes <sup>2</sup>. Otra causa común de disfunción del nervio frénico es la invasión (Herpes zóster, enfermedad de Lyme), inmunológicas (Síndrome de Guillain-Barré), o causas metabólicas como diabetes. Los trastornos de la transmisión neuromuscular, incluida la miastenia gravis y el síndrome de Lambert-Eaton, también pueden provocar parálisis o debilidad. Finalmente, las miopatías que pueden afectar la función diafragmática incluyen distrofias musculares y trastornos metabólicos o inmunológicos. <sup>5</sup>. La parálisis y la debilidad diafragmática pueden ser temporales o permanentes, según la causa <sup>2</sup>.

El tratamiento de la parálisis diafragmática depende principalmente de su causa y de la sintomatología del paciente. El nivel de gravedad de esta complicación está determinado por el nivel de afectación anatómica: unilateralidad o bilateralidad <sup>3</sup>.

Plicatura diafragmática quirúrgica, marcapasos diafragmático y soporte ventilatorio son las principales opciones de tratamiento para la disfunción diafragmática provocada por una parálisis del nervio frénico <sup>3</sup> sin embargo, se ha demostrado experimentalmente que el entrenamiento físico podría mejorar la recuperación funcional en las lesiones del nervio frénico. El entrenamiento de los músculos inspiratorios (EMI) con un dispositivo de umbral como Threshold puede ayudar a la recuperación de la parálisis del diafragma después de una cirugía, evitando la necesidad de plicatura del diafragma <sup>8</sup>, mejorando la movilidad diafragmática y la fuerza de los músculos inspiratorios <sup>3</sup>. También, consigue mejorar la velocidad de la contracción de los músculos inspiratorios, disminuir el tiempo inspiratorio y aumentar el tiempo de exhalación, permitiendo así más tiempo para el vaciado pulmonar <sup>9</sup>. La mayoría de los programas de EMI implican inspiraciones repetidas contra una carga que requiere la generación de aproximadamente un 30% -80% de la presión inspiratoria máxima (MIP) <sup>10</sup>. Estas respiraciones se inician desde el volumen residual <sup>8</sup> completando series de 30 repeticiones o pueden consistir en una respiración continua durante un período determinado de tiempo contra una resistencia <sup>10</sup>.

El EMI ha demostrado posibles beneficios para mejorar las actividades de la vida diaria, la calidad de vida, la fuerza y resistencia de los músculos inspiratorios, la capacidad de ejercicio y la disnea en numerosas enfermedades, incluidas enfermedades como la fibrosis quística <sup>11</sup>, la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) <sup>12</sup>, insuficiencia cardíaca <sup>13,14</sup>, enfermedad de Parkinson <sup>15</sup>, miastenia gravis, esclerosis múltiple <sup>11,16,17</sup> y bronquiectasias <sup>9,18,19</sup>.

A pesar de estar demostrados los posibles beneficios que podría proporcionar el EMI en las patologías anteriormente mencionadas, la evidencia científica de éste es escasa para el tratamiento de la disfunción diafragmática ya que se suele optar por otros tratamientos como plicatura diafragmática quirúrgica, marcapasos diafragmático o soporte ventilatorio. Por otro lado, existe controversia en la pauta de la realización del EMI respecto a la frecuencia o la intensidad para obtener una mejoría significativa.

El propósito pues, de esta revisión, será poner de manifiesto la eficacia del entrenamiento de la musculatura inspiratoria en pacientes adultos con afecciones periférica en el nervio frénico o de sus raíces a nivel medular, pudiendo así ampliar las posibilidades de tratamiento de la disfunción diafragmática mediante técnicas conservadoras que puedan ser una opción viable frente a la opción quirúrgica.

## 2. OBJETIVOS

---

**Objetivo general:** conocer, según la evidencia científica, si el entrenamiento de la musculatura inspiratoria es beneficioso para aumentar la fuerza de la musculatura inspiratoria, la calidad de vida, la capacidad de ejercicio y la disnea en personas adultas con afectación periférica del nervio frénico o de sus raíces nerviosas a nivel medular.

**Objetivos específicos:**

- Determinar la frecuencia del entrenamiento de la musculatura inspiratoria óptima en pacientes adultos con afectación periférica del nervio frénico o de sus raíces nerviosas a nivel medular.
- Determinar la intensidad del entrenamiento de la musculatura inspiratoria óptima en pacientes adultos con afectación periférica del nervio frénico o de sus raíces nerviosas a nivel medular.
- Analizar cuáles son los efectos del entrenamiento de la musculatura inspiratoria sobre la movilidad diafragmática en pacientes adultos con afectación periférica del nervio frénico o de sus raíces nerviosas a nivel medular.

### 3. MATERIAL Y MÉTODOS

---

El estudio ha sido aprobado por la Oficina de Investigación Responsable de la Universidad Miguel Hernández de Elche con el COIR para TFGs: **TFG.GFI.GCMP.ABP.210212**.

La metodología empleada para la realización de esta revisión bibliográfica de estudios científicos ha sido llevada a cabo a través de una búsqueda bibliográfica utilizando las bases de datos Pubmed, Scopus, PEDro, Cochrane y Embase. Esta se realizó en el mes de enero a febrero del 2021.

Se han incluido todos los artículos que cumplían una serie de criterios de inclusión y exclusión:

– Criterio de inclusión:

- La presente revisión incluye artículos científicos en personas adultas con afectación periférica en el nervio frénico o de sus raíces nerviosas a nivel medular donde se incorpora como tratamiento el entrenamiento de la musculatura inspiratoria.
- Se han incluido los artículos encontrados introduciendo una serie de límites: que los artículos hablasen acerca de la disfunción diafragmática por afección del nervio frénico sufrida únicamente en humanos, que estuvieran tanto en inglés como en español y los artículos fuesen de los últimos 11 años.

– Criterio de exclusión:

- Se han excluido los artículos que trataran sobre el entrenamiento de la musculatura inspiratoria en pacientes sanos y en niños.
- Además de los artículos que hablasen del entrenamiento de la musculatura inspiratoria en fibrosis quística, la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), insuficiencia cardíaca, enfermedad de Parkinson, miastenia gravis, esclerosis múltiple, bronquiectasias, apnea del sueño obstructiva y disfunciones diafragmáticas no relacionadas con una lesión en el nervio frénico.

### **Pubmed**

En esta búsqueda, han sido utilizadas las siguientes palabras clave: Inspiratory muscle training, Diaphragmatic impairment, Diaphragm dysfunction y Phrenic nerve obtenidas a través del Mesh Database y combinadas con el operador booleano AND y “OR” con la finalidad de ir cruzando términos para obtener los resultados buscados. Por lo tanto, la ecuación de búsqueda fue: (Inspiratory muscle training) AND (Diaphragmatic impairment) OR (Diaphragm dysfunction) OR (Phrenic nerve).

### **.Scopus**

En esta búsqueda, han sido utilizadas las siguientes palabras clave: Inspiratory muscle training, Diaphragmatic impairment, Diaphragm dysfunction y Phrenic nerve obtenidas a través del Mesh Database y combinadas con el operador booleano AND y “OR” con la finalidad de ir cruzando términos para obtener los resultados buscados. Por lo tanto, la ecuación de búsqueda fue:

( TITLE-ABS-KEY ( Inspiratory AND muscle AND training ) AND TITLE-ABS-KEY ( Diaphragmatic AND impairment ) OR TITLE-ABS-KEY ( Diaphragm AND dysfunction ) OR TITLE-ABS-KEY ( Phrenic AND nerve ).

### **PEDro**

La palabra clave fue “Inspiratory muscle training” con Method: “Clinical trial”.

### **Cochrane**

En esta búsqueda, han sido utilizadas las siguientes palabras clave: Inspiratory muscle training, Diaphragmatic impairment, Diaphragm dysfunction y Phrenic nerve obtenidas a través del Mesh Database y combinadas con el operador booleano AND y “OR” con la finalidad de ir cruzando términos para obtener los resultados buscados. Por lo tanto, la ecuación de búsqueda fue: (Inspiratory muscle training) AND (Diaphragmatic impairment) OR (Diaphragm dysfunction) OR (Phrenic nerve).

## Embase

En esta búsqueda, han sido utilizadas las siguientes palabras clave: Inspiratory muscle training, Diaphragmatic impairment, Diaphragm dysfunction y Phrenic nerve obtenidas a través del Mesh Database y combinadas con el operador booleano AND y “OR” con la finalidad de ir cruzando términos para obtener los resultados buscados. Por lo tanto, la ecuación de búsqueda fue:

(Inspiratory muscle training) AND (Diaphragmatic impairment) OR (Diaphragm dysfunction) OR (Phrenic nerve). Además, se utilizaron los límites de estudio: “human”, “case report”, “controlled study”, límites de edad: “adult”, “Young adult”, “Middle aged”, “Aged” y “Very elderly”, límites por año (últimos 11 años) y por último límites de enfermedades: “phrenic nerve paralysis” y “diaphragm paralysis”.



## 4. RESULTADOS

---

Tras la búsqueda en las bases mencionadas anteriormente y tras aplicar los criterios de inclusión se obtuvieron un total de 1665 artículos, de los cuales 282 pertenecen a Pubmed, 59 a Scopus, 207 a PEDro, 600 a Embase y 517 a Cochrane. Posteriormente, se eliminaron un total de 150 artículos duplicados quedando artículos.

Seguidamente, tras la primera lectura del título y resumen de los artículos y aplicando los criterios de exclusión, se eliminaron 1501 artículos quedando 14 para una lectura más profunda. Finalmente, fueron seleccionados 7 artículos para realizar la revisión bibliográfica.

Cabría destacar que dos de los artículos son estudios de cohorte retrospectivos, tres de ellos son casos clínicos y los otros dos son ensayos clínicos aleatorizados. En los anexos se puede observar de forma más detallada la selección de dichos artículos. *Anexo I. Figura 1. Diagrama de selección de artículos para su inclusión en la revisión bibliográfica.*

Con respecto a los artículos revisados se encontró una gran heterogeneidad del tamaño muestral, siendo el mayor de 79 pacientes y el menor, de un paciente. Mientras que la edad de los sujetos comprende desde 18 hasta 57 años.

En todos los artículos de la revisión, los pacientes presentan una lesión en el nervio frénico que impide la movilidad del diafragma. En tres de los artículos los pacientes están diagnosticados de una lesión medular en los niveles C4-T12 y C4-C8 con lesiones completas e incompletas. En los otros cuatro artículos, los pacientes fueron diagnosticados de parálisis unilateral y bilateral del diafragma con disnea severa y limitaciones en la vida diaria.

El protocolo de intervención del entrenamiento de los músculos inspiratorios fue variado en cada uno de los artículos en relación a la intensidad y duración del tratamiento. Por otro lado, cuatro de los artículos realizaban solamente el entrenamiento de la musculatura inspiratoria mientras que los otros tres lo combinaban con el entrenamiento de la musculatura espiratoria. Con respecto a la frecuencia de entrenamiento, cuatro de los artículos realizaban 3-5 entrenamientos de la musculatura inspiratoria por semana. Sin embargo, dos de los artículos realizaban el entrenamiento de la musculatura inspiratoria diariamente y en uno de ellos no se especifica. Los detalles de la intensidad, frecuencia y duración del tratamiento se muestran de forma más detallada en el *Anexo II. Protocolo de intervención más detallado.*

Por otro lado, podemos observar que los instrumentos de medidas más utilizados ha sido Threshold IMT aunque también se ha utilizado: Dispositivo electrónico de carga resistiva de flujo cónico (POWERbreathe®KH1), Threshold PEP®, Philips Respironics, PowerLung, Inc. y Respifit S. Además de estos dispositivos se han utilizado el cuestionario “Mobility-related Activities of Daily Living” (MRADL) para evaluar las actividades de la vida diaria o “Medical Research Council” (MRC) para evaluar la disnea, se puede observar de forma más detallada en el *Anexo III. Tabla de autores de la revisión bibliográfica.*

Respecto a las variables que se midieron con más frecuencia fueron: la función pulmonar, la fuerza de los músculos respiratorios tanto inspiratorios como espiratorios y la disnea, donde se midió P<sub>Imax</sub> y P<sub>E<sub>max</sub></sub> para la fuerza de los músculos respiratorios, la capacidad del ejercicio con la prueba de esfuerzo cardiopulmonar (CPET) y la movilidad del diafragma, que se evaluó mediante fluoroscopia torácica con exploraciones inspiratorias y espiratorias realizadas en posición vertical.

Tras obtener los resultados de los siete artículos, se llega a la conclusión de que el entrenamiento de la musculatura inspiratoria podría mejorar la fuerza de los músculos inspiratorios en pacientes con

afectación en el nervio frénico con disfunción del diafragma, aunque uno de los artículos más recientes muestra que no mejora la movilidad del diafragma pero sí la función global de los músculos respiratorios y también disminuye la disnea. Además, otro artículo sugiere que la conductancia del nervio frénico no mejora con el entrenamiento de la musculatura inspiratoria.

Por último, la calidad de los artículos fue medida usando la escala PEDro para los ensayos clínicos aleatorizados, la escala Single-Case Experimental Design Scale (SCED) para los casos clínicos y la escala Newcastle-Ottawa quality assessment Scale cohort studies para los estudios de cohorte retrospectivos. La puntuación de cada uno de los artículos más detallada se encuentra en *Anexo IV, V y VI*.



## 5. DISCUSIÓN

---

El objetivo del presente trabajo fue conocer lo publicado acerca de la posible eficacia del entrenamiento de la musculatura inspiratoria (EMI) para aumentar la fuerza de la musculatura inspiratoria, la calidad de vida, la capacidad de ejercicio y en la disnea en pacientes adultos con afectación periférica del nervio frénico o de sus raíces nerviosas a nivel medular. Además de determinar la frecuencia e intensidad del entrenamiento de la musculatura inspiratoria óptima en pacientes adultos con afectación periférica del nervio frénico o de sus raíces nerviosas a nivel medular y analizar cuáles son los distintos efectos que ejerce EMI sobre la movilidad diafragmática en estos pacientes.

Los resultados obtenidos de esta revisión bibliográfica muestran datos significativos de la eficacia del EMI en el aumento la fuerza de los músculos inspiratorios<sup>8,20,21,22,23,24,25</sup>, en la disminución de la disnea y la mejora en las actividades de la vida diaria<sup>8,21,22,23</sup>, en el patrón respiratorio y la capacidad del ejercicio<sup>21</sup>. Mientras que la conductancia del nervio frénico<sup>21,24</sup> no existieron mejoras significativas. Por otro lado, existe controversia entre autores respecto a la mejora en la movilidad del diafragma ya que en el caso clínico de Caleffi Pereira, M. refiere que *“La medida de presión transdiafragmática (Pdi) de contracción bilateral y unilateral seguía siendo indicativa de una debilidad significativa del diafragma después del EMI”*. En cambio, en el estudio de Kodric, M. *“La mayoría de los pacientes (77,78%) en el grupo de tratamiento activo experimentaron una mejoría parcial (41,67%) o una mejoría completa (36,11%) en la movilidad del diafragma después del entrenamiento de la musculatura inspiratoria”*.

A pesar de que la mayoría de estudios coincide en los beneficios que aporta el EMI, se observa que no existe un consenso entre los autores a la hora de especificar parámetros del tratamiento como son la frecuencia o la intensidad de éste e incluso la manera de realizar el protocolo de entrenamiento.

La variedad de modalidades de protocolos de entrenamiento es amplia. Diversos autores realizaban solamente el entrenamiento de la musculatura inspiratoria <sup>8,21,22,23</sup> mientras que otros autores lo combinaban con el entrenamiento de la musculatura espiratoria<sup>20,21,25</sup>.

Con respecto a la frecuencia, se encuentra una gran heterogeneidad, diversos autores realizan de 3 a 5 entrenamientos de la musculatura inspiratoria por semana <sup>20,21,23,25</sup>. Sin embargo, otros autores realizaban el entrenamiento de la musculatura inspiratoria diariamente <sup>22,24</sup> y en uno de ellos no se especifican <sup>8</sup>. En lo referente a la duración de la intervención, se observa que la mayoría de los autores optan por una intervención de entre 6 semanas hasta 6 meses<sup>20,21,22,23,24,25</sup> a excepción del artículo de Kodric, M que la duración de su intervención es de 12 meses.

En cuanto a las repeticiones que se realizan en el protocolo, en el artículo de Raab, A.M tanto en 2019 como en 2018 se llevan a cabo 80 a 90 repeticiones por sesión de entrenamiento dependiendo de la capacidad individual del paciente. No obstante, Caleffi Pereira M en el protocolo de intervención descrito en su artículo ejecuta 2-3 sesiones diarias, 30 inspiraciones de capacidad vital completa durante 4-5 minutos. Además, Claire L Boswell-Ruys en su artículo trabajó de 3 a 5 series de 12 respiraciones, separadas por respiración normal durante 2 minutos dos veces al día. Otra manera de enfocar el entrenamiento sería, según Chatham, K, con la Prueba de Resistencia Respiratoria Incremental (TIRE) donde se realizan 36 respiraciones resistidas máximas o hasta que el paciente sienta fatiga con períodos de descanso que disminuyeron de 60 a 5 segundos.

Como hemos mencionado anteriormente, existen diferencias en la realización del protocolo del entrenamiento de la musculatura inspiratoria respecto a variables como la frecuencia o el número de repeticiones. A pesar de que utilizan parámetros parecidos, cada autor realiza el protocolo con una intensidad diferente, aunque la mayoría de los artículos establece como intensidad inicial la máxima capacidad alcanzable para realizar las repeticiones indicadas en cada entrenamiento<sup>8,20,21,22,24</sup>.

En el artículo de *Boswell-Ruys C*, se ejecuta la intervención con una intensidad de 30% de P<sub>I</sub>max que incrementó posteriormente cada semana en un 10% de la P<sub>I</sub>max medida semanalmente si se toleraba (con un límite del 80% de la P<sub>I</sub>max medida semanalmente); de lo contrario, la resistencia aumentó en un 5%. En la intervención de *Kodric M*, la intensidad varió entre las 4 fases de cada ciclo:

- 1° Ciclo: 30% de MIP de cada paciente.
- 2° Ciclo: 70% de MIP de cada paciente.
- 3° Ciclo: 15% de MIP de cada paciente.
- 4° Ciclo: 80% de MIP de cada paciente.

Por otro lado, *Caleffi Pereira M* inicia el entrenamiento contra una carga externa de 45 cmH<sub>2</sub>O (40% P<sub>I</sub>max), que inicialmente fue seleccionada como la carga más alta que le permitió realizar inspiraciones de capacidad vital casi completa. La carga de entrenamiento se incrementó progresivamente durante el transcurso del período de entrenamiento desde 45 cmH<sub>2</sub>O hasta 62 cmH<sub>2</sub>O.

Desde otro punto de vista, *Raab, A.M* en 2018 planificó el entrenamiento de los músculos respiratorios tanto inspiratorios como espiratorios comenzando con el dispositivo ajustado al 80% del P<sub>I</sub>max evaluado y la presión espiratoria máxima (P<sub>E</sub>max) en el mejor de los casos. Además, la misma autora en 2019 y el autor *Petrovic M* no especificaron la intensidad inicial de la intervención, aunque la resistencia inspiratoria se ajustó de forma variable, alcanzando el 80% de P<sub>I</sub>max.

Por último, *Chatham, K* en su artículo presenta el sistema TIRE que se utilizó para realizar EMI de alta intensidad porque proporcionó la presentación en serie de perfiles isocinéticos submáximos al 80% de P<sub>I</sub>max dentro de una proporción progresiva de trabajo a descanso, con períodos de descanso que disminuyeron de 60 segundos a 5 segundos.

En definitiva, los protocolos del EMI han sido muy heterogéneos y poco específicos a la hora de determinar los parámetros a pesar de que la mayoría de autores siguen similares criterios, generando incertidumbre a la hora de elaborar un entrenamiento de la musculatura inspiratoria óptima basado en la evidencia.

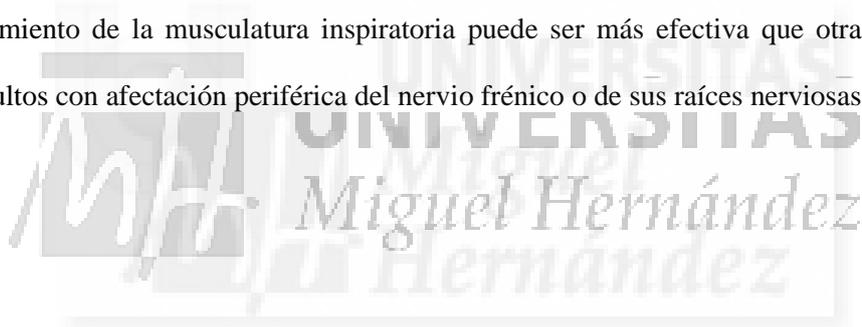
En lo que respecta a las variables de medida, las más utilizadas en los artículos han sido la función pulmonar <sup>8,20,21,22,23,24,25</sup>, la fuerza de los músculos respiratorios tanto inspiratorios como espiratorios <sup>8,20,21,22,23,24,25</sup> y la disnea <sup>8,21,22,23</sup>, donde se midió P<sub>Imax</sub> y P<sub>E<sub>max</sub></sub> para la fuerza de los músculos respiratorios, la capacidad del ejercicio con la prueba de esfuerzo cardiopulmonar (CPET) <sup>22</sup> y la movilidad del diafragma se evaluó mediante fluoroscopia torácica con exploraciones inspiratorias y espiratorias realizadas en posición vertical <sup>8,22</sup>. Por otro lado, los artículos de esta revisión presentan una calidad metodológica media, ya que la mayoría son casos clínicos. Exceptuando uno de ellos, ninguno realizó el doble ciego ni hubo independencia de los observadores.

Entre las diversas limitaciones de esta revisión, se encuentra la poca evidencia científica sobre el entrenamiento de la musculatura inspiratoria en pacientes adultos con afecciones periféricas del nervio frénico o de sus raíces nerviosas a nivel medular a causa de la preferencia de realizar otras técnicas como plicatura diafragmática quirúrgica o electroestimulación del nervio frénico, limitando el número de artículos de este trabajo. También, debido a la escasa evidencia científica, el EMI de los artículos de esta revisión se encuentran basados en patologías no relacionadas con la población diana como enfermedades crónicas como la EPOC o enfermedades neuromusculares como esclerosis múltiple entre otras.

Otra limitación, fue la pequeña población de esta revisión ya que 4 de los 7 artículos son casos clínicos, siendo difícil poder evidenciar que un tratamiento individualizado funcione en la generalidad.

Además de la falta de determinación entre los autores debido a las diferencias de parámetros que se encuentran para la realización de las intervenciones e incluyendo el sesgo de publicación donde solo se publican los artículos con resultados positivos.

En cambio, podemos destacar que el presente trabajo puede resultar interesante a la hora de proponer nuevos estudios relacionados con el entrenamiento de la musculatura inspiratoria para así ampliar el campo de investigación y proponer protocolos unificados con parámetros óptimos donde conseguir los resultados más beneficiosos en el aumento la fuerza de los músculos inspiratorios, en la disminución de la disnea, en calidad de vida, en el patrón respiratorio y la capacidad del ejercicio. Se recomiendan futuras investigaciones en las cuales se realicen ensayos clínicos, preferiblemente aleatorizados, en los que se apliquen, como máximo, 3 intervenciones distintas, y quizás entonces, será más fácil concretar si el entrenamiento de la musculatura inspiratoria puede ser más efectiva que otra intervención en pacientes adultos con afectación periférica del nervio frénico o de sus raíces nerviosas a nivel medular.



## 6. CONCLUSIÓN

---

De acuerdo con los artículos analizados para esta revisión, la conclusión a la que se llega es que el entrenamiento de la musculatura inspiratoria en pacientes adultos con afectación periférica en el nervio frénico o de sus raíces nerviosas a nivel medular tiene un efecto positivo, mejorando la fuerza de los músculos inspiratorios, disminuyendo la disnea, mejorando la calidad de las actividades de la vida diaria, el patrón respiratorio y la capacidad del ejercicio. En cambio, existe controversia entre los autores respecto a la mejora en la movilidad del diafragma en dichos pacientes, puesto que los resultados obtenidos en los estudios son completamente opuestos.

Por otra parte, no se llega a un consenso acerca de los parámetros óptimos para obtener el mayor beneficio del EMI. No obstante, en la mayoría de los artículos sí que los parámetros como la frecuencia del entrenamiento son similares (alrededor de los 5-7 días por semana) o como en las repeticiones de la intervención, aunque no se hayan ejecutado de forma similar sí que existe relación con el número total de repeticiones (alrededor de 60-90 por sesión de entrenamiento).

Mientras que, a la hora de determinar la intensidad del EMI hay bastante controversia, puesto que cada autor determina una intensidad distinta evaluada con parámetros distintos, la mayoría de autores coinciden en que la intensidad inicial sea la máxima capacidad alcanzable para realizar las repeticiones indicadas en el protocolo, además de una progresión del entrenamiento durante las sesiones con un límite de un 80% de P<sub>Imax</sub>.

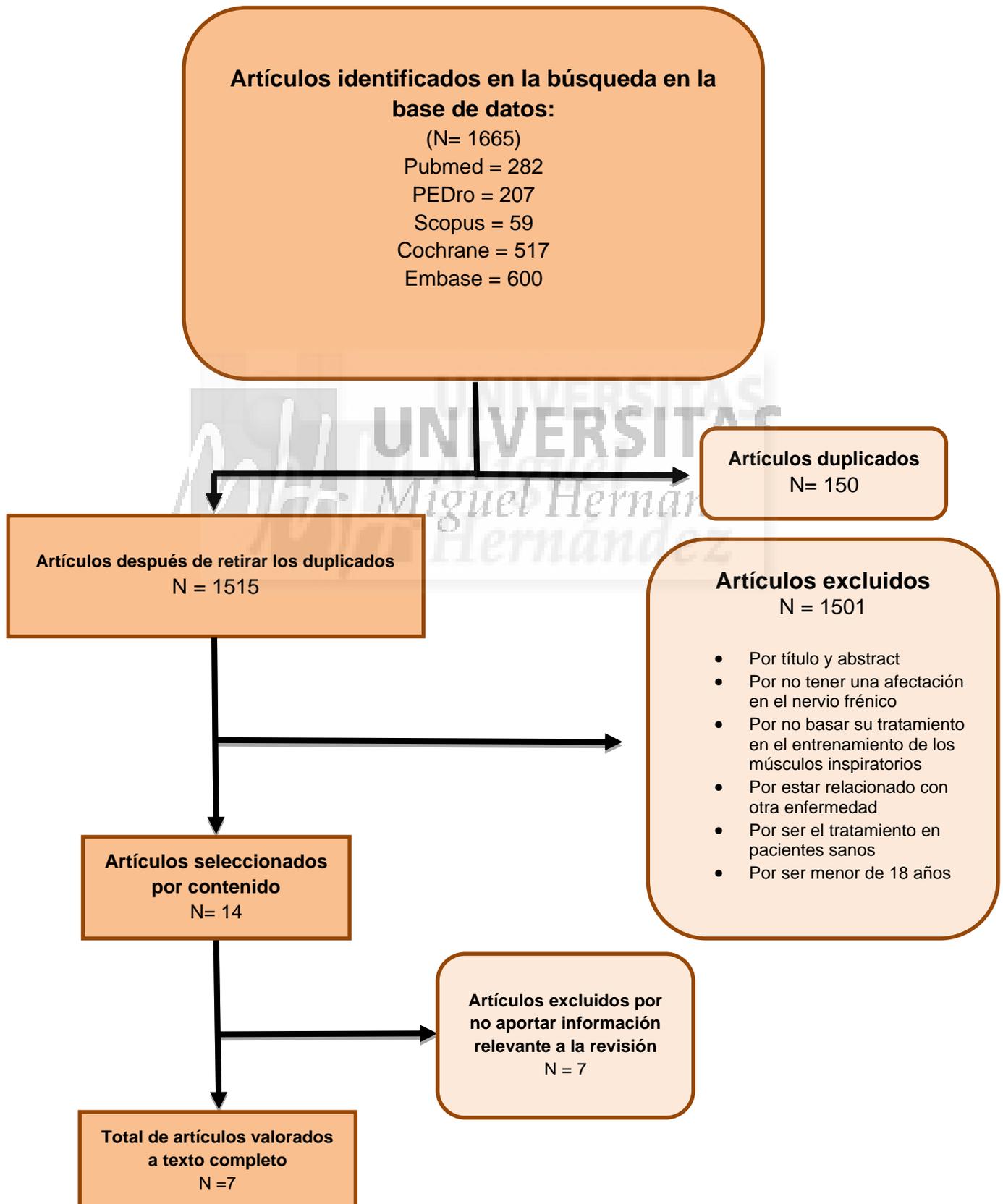
También, cabría destacar que la calidad metodológica de los artículos no ha sido muy alta, por tanto, es importante tener en cuenta que pueden presentar sesgos importantes. Por consiguiente, es difícil determinar los parámetros óptimos para extraer el mayor beneficio del entrenamiento de la musculatura inspiratoria ya que no se encuentran unos parámetros e indicaciones uniformes en los que

poder comparar los resultados. Por estas razones, sería necesario la realización de ensayos clínicos sobre esta población para la creación de un protocolo unificado del entrenamiento de la musculatura inspiratoria para obtener un beneficio óptimo en la fuerza de los músculos inspiratorios, la disnea, la calidad de las actividades de la vida diaria, el patrón respiratorio y la capacidad del ejercicio siendo una posible opción viable frente a otras opciones como son la plicatura diafragmática quirúrgica, marcapasos diafragmático o soporte ventilatorio.



## 7. ANEXOS

ANEXO I. Figura 1. Diagrama de selección de estudios para su inclusión en la revisión bibliográfica.



**ANEXO II.** *Protocolo de intervención más detallado.*

**Caleffi Pereira M, Et al. (2019)**

| Sujetos  | Frecuencia  | Intensidad  | Mediciones  | Procedimiento  |
|--|---|---|---|--|
| <p>Paciente de 57 años con parálisis diafragmática unilateral (UDD) con disnea severa y limitaciones en actividades de la vida diaria.</p> | <p>2-3 sesiones diarias de 30 inspiraciones de capacidad vital completa durante 4-5 minutos realizada los 7 días de la semana durante 6 meses</p> | <p>El paciente pudo iniciar el entrenamiento contra una carga externa de 45 cmH<sub>2</sub>O (presión pico durante la inspiración, 40% P<sub>I</sub>max), que inicialmente fue seleccionada como la carga más alta que le permitió realizar inspiraciones de capacidad vital casi completa. La carga de entrenamiento se incrementó progresivamente durante el transcurso del período de entrenamiento desde 45 cmH<sub>2</sub>O hasta 62 cmH<sub>2</sub>O.</p> | <p>Dispositivo electrónico de carga resistiva de flujo cónico (POWERbreathe®KH1, HaB International Ltd., Southam, Reino Unido)<br/>Se realizó una prueba de ejercicio cardiopulmonar (CPET)</p> | <p>Una vez al mes se realizó un entrenamiento supervisado en la consulta externa. Esto permitió revisar los datos almacenados sobre la cantidad y calidad de las sesiones de entrenamiento en el hogar y comparar esos datos con los resultados obtenidos durante la sesión supervisada.</p> |

**Boswell-Ruys C L, Et al. (2019)**

| Sujetos  | Frecuencia  | Intensidad   | Mediciones   | Procedimiento   |
|--|---|--|--|---|
| <p>62N sujetos con tetraplejia en C4-C8</p> <p>Lesión motora completa<br/>20N Threshold IMT con la válvula de presión abierta</p> <p>21N Threshold IMT con la válvula de presión cerrada</p> <p>Lesión motora incompleta<br/>12N Threshold IMT con la válvula de presión abierta</p> <p>9N Threshold IMT con la válvula de presión cerrada</p> | <p>3 a 5 series de 12 respiraciones, separadas por respiración normal durante 2 minutos, dos veces al día, 5 días a la semana durante 6 semanas</p> | <p>La resistencia se estableció inicialmente en el 30% de la P<sub>I</sub>max inicial de cada participante. Este ajuste se incrementó posteriormente cada semana en un 10% de la P<sub>I</sub>max medida semanalmente si se toleraba (con un límite del 80% de la P<sub>I</sub>max medida semanalmente); de lo contrario, la resistencia aumentó en un 5%</p> <p>La resistencia espiratoria se estableció en el 30% de la P<sub>E</sub>max inicial y se incrementó cada semana como se indicó anteriormente.</p> | <p>Dispositivo RMT de umbral (Threshold IMT, Respironics, Nueva Jersey, EE. UU.)</p> | <p>Todos los participantes comenzaron con el entrenamiento inspiratorio en cada sesión y progresaron al entrenamiento espiratorio después de 2 minutos de respiración normal. Los participantes inspiraron a partir del volumen espiratorio final, a través de una boquilla unida al extremo inspiratorio del dispositivo (El dispositivo simulado se modificó para mantener la válvula de presión permanentemente abierta en el grupo simulado )</p> |

Raab A M, Et al (2019)

| Sujetos   | Frecuencia  | Intensidad  | Mediciones   | Procedimiento  |
|---|---|---|--|--|
| <p>67N con Lesión Medular en los niveles C4-T12</p> | <p>3-5 sesiones de entrenamiento por semana y con hasta 90 repeticiones por sesión de entrenamiento por 6 semanas El número de repeticiones por entrenamiento varió según la capacidad individual y fue aumentado gradualmente por el fisioterapeuta responsable.</p> | <p>La intensidad (resistencia) durante los entrenamientos de los músculos respiratorios fue adaptada individualmente a la máxima intensidad alcanzable por el fisioterapeuta responsable (% de resistencia del valor de referencia individual de P<sub>Imax</sub>).</p> | <p>El entrenamiento de los músculos inspiratorios se realizó con el Threshold IMT® (Philips Respironics, Parsippany, EE. UU.) La válvula está calibrada y se puede ajustar (9–41 cmH<sub>2</sub>O) según el P<sub>Imax</sub> del participante. Para evaluar el esfuerzo, se utilizó el “Índice de Borg de Esfuerzo Percibido” (RPE), escalado de seis (ningún esfuerzo) a 20 (esfuerzo máximo), después de cada entrenamiento.</p> | <p>El fisioterapeuta responsable se aseguró de que el sonido de apertura valvular del dispositivo de entrenamiento se escuchará durante cada respiración. Una vez que un participante pudo realizar la sesión de entrenamiento en un nivel de intensidad autoevaluado más bajo en comparación con la sesión anterior, el fisioterapeuta responsable aumentó la resistencia asegurándose que pudiera completar una sesión de entrenamiento con la nueva carga. Después de cada sesión de entrenamiento, todos los detalles específicos del entrenamiento fueron documentados en un registro de entrenamiento individual por el fisioterapeuta responsable. Con base en estos datos, se determinaron las repeticiones por sesión, el número de sesiones de entrenamiento y la intensidad del entrenamiento (% de resistencia del valor de referencia individual de P<sub>I máx</sub>) de cada participante para todo el período de entrenamiento y se ingresaron en la base de datos del estudio. Todos los participantes recibieron fisioterapia estándar del hospital.</p> |

**Raab A M, Et al. (2018)**

| Sujetos  | Frecuencia   | Intensidad   | Mediciones   | Procedimiento   |
|--|--|--|--|---|
| <p>79N con lesiones medulares completas o incompletas en los niveles C4-T12</p> <p>42N Entrenamiento de la musculatura inspiratoria (EMI):</p> <p>15N Lesión medular completa.</p> <p>27N Lesión medular incompleta</p> <p>37N EMI más entrenamiento de los músculos espiratorios:</p> <p>16N Lesión medular completa</p> <p>21N Lesión medular incompleta</p> | <p>Se realizaron 3 días de entrenamiento durante 7-13 semanas. Las repeticiones por entrenamiento se definieron individualmente con un objetivo de 80 a 90 repeticiones.</p> | <p>La duración de nuestro entrenamiento fue de 15 min. El entrenamiento de los músculos respiratorios se planificó para comenzar con el dispositivo ajustado al 80% del P<sub>Imax</sub> evaluado y la presión espiratoria máxima (P<sub>E</sub>max) en el mejor de los casos. Una vez que una persona pudo realizar la sesión de entrenamiento con menos esfuerzo (RPE) que la sesión anterior, la resistencia fue incrementada por la resistencia del fisioterapeuta responsable durante la inspiración y una resistencia espiratoria durante la espiración.</p> | <p>Se utilizaron cuatro dispositivos de entrenamiento diferentes (IMT®, PEP®, Powerlung BreatheAir® y Powerlung Trainer®) para el entrenamiento. El dispositivo de entrenamiento para inspiración aislada (Threshold IMT®, Philips Respironics, EE. UU.). El dispositivo de entrenamiento para la espiración (Threshold PEP®, Philips Respironics, EE. UU.). El Powerlung Trainer® (PowerLung, Inc., Houston, TX, EE. UU.) tiene el mismo principio, pero ofrece niveles de resistencia ligeramente más altos. La "Calificación Borg del Esfuerzo Percibido" (RPE) se utilizó para documentar el esfuerzo autoevaluado de la persona durante cada sesión de entrenamiento.</p> | <p>Los individuos realizaron el entrenamiento de los músculos respiratorios en posición sentada en su propia silla de ruedas o en una silla (personas con capacidad para caminar). Se realizaron hasta cinco sesiones de entrenamiento por semana en el entorno grupal, supervisadas por un fisioterapeuta. Después de cada sesión de entrenamiento, se registró la resistencia del entrenamiento y el recuento de repeticiones de entrenamiento para cada persona.</p> |

**Kodric M, Et al. (2013)**

| Sujetos  | Frecuencia   | Intensidad   | Mediciones   | Procedimiento   |
|--|--|--|--|---|
| <p>52N pacientes con parálisis del diafragma después de una cirugía cardíaca mayor</p> <p>36N Threshold IMT con la válvula de presión abierta</p> <p>16N Threshold IMT con la válvula de presión cerrada</p> | <p>Las intervenciones comenzaron después de 4 semanas de la cirugía y tuvo una duración de 12 meses.</p> | <p>La carga inspiratoria (intensidad) varió entre las 4 fases de cada ciclo:</p> <p>1° Ciclo: 30% de MIP de cada paciente.</p> <p>2° Ciclo: 70% de MIP de cada paciente.</p> <p>3° Ciclo: 15% de MIP de cada paciente.</p> <p>4° Ciclo: 80% de MIP de cada paciente.</p> | <p>Se utilizó un dispositivo de presión variable (Threshold). Antes y después de las intervenciones se realizaron radiografías de tórax (intra y espiratoria), pruebas de función pulmonar, evaluación de la disnea, fuerza del diafragma y cuestionario de actividades de la vida diaria. Se utilizó el valor obtenido del mejor de 3 esfuerzos. Todas las medidas se obtuvieron en posición vertical. La MIP se midió al inicio del estudio y después de 3, 6 y 12 meses de tratamiento.</p> | <p>Se indicó a los pacientes que realizaran un entrenamiento diario con IMT con el dispositivo de músculo inspiratorio Threshold de acuerdo con el siguiente programa:</p> <p>5 'carga inspiratoria configurada al 30% de MIP seguida de 2' respiración lenta profunda, 5 'carga inspiratoria configurada al 70% de MIP seguida de 2' respiración lenta profunda, 5 'carga inspiratoria configurada al 15% de MIP seguida de 2' respiración lenta profunda y 5 'de carga inspiratoria ajustada al 80% del MIP seguido de respiración lenta profunda de 2'.</p> <p>El cumplimiento del programa de capacitación fue verificado mensualmente por un terapeuta respiratorio externo que no participó en el estudio. La carga inspiratoria varió entre las 4 fases de cada ciclo, según el porcentaje de MIP, y luego de reevaluar la MIP, a los 3 y 6 meses, se recalibró el dispositivo. El grupo de control siguió el mismo programa con un dispositivo simulado no adiestrador.</p> |

**Petrovic M, Et al. (2009)**

| Sujetos   | Frecuencia   | Intensidad   | Mediciones  | Procedimiento |
|---|--|--|---|---------------|
| <p>Paciente de 44 años con parálisis diafragmática bilateral idiopática (DPB) además de ventilación nocturna no invasiva (VNI) con disnea severa, especialmente en decúbito supino.</p> | <p>Una frecuencia respiratoria de 12 / min.. El entrenamiento de la fuerza y la resistencia de los músculos inspiratorios se realizó a diario, además de la VNI nocturna durante 7 meses</p> | <p>La resistencia inspiratoria se ajustó de forma variable, tenían que alcanzar el 80% de Pi máx con cada maniobra inspiratoria.</p> | <p>El dispositivo de entrenamiento de los músculos inspiratorios utilizado fue el Respifit S. La MIP se midió mediante un aparato especial (Respifit S, Eumedics, Purkersdorf, Austria) La evaluación de la función pulmonar y de la función de los músculos inspiratorios, además de la medición del intercambio gaseoso nocturno y la evaluación del nervio frénico, se realizó al comienzo, 4, 5 y 7 meses después del inicio de la observación. La VNI se detuvo en el quinto mes del período de observación.</p> | <p>-</p>      |

Chatham K, Et al. (2009)

| Sujetos  | Frecuencia   | Intensidad   | Mediciones  | Procedimiento   |
|--|--|--|---|---|
| <p>Paciente 57 años con diagnóstico de parálisis hemi-diafragmática y neuritis del plexo braquial con severos cambios degenerativos y estrechamiento del foramen de C5, C6 y C7.</p> | <p>El paciente acudió a la clínica 3 veces por semana y realizó el protocolo TIRE después de 5 1/2 meses de EMI.</p> | <p>El sistema TIRE se utilizó para realizar EMI de alta intensidad porque proporcionó la presentación en serie de perfiles isocinéticos submáximos al 80% de MVC dentro de una proporción progresiva de trabajo a descanso, con períodos de descanso que disminuyeron de 60 segundos a 5 segundos.</p> | <p>El IMP del paciente se midió utilizando la Prueba de Resistencia Respiratoria Incremental (TIRE) incorporada dentro del dispositivo RT2.</p> | <p>El TIRE se caracteriza por la presentación en serie de perfiles isocinéticos submáximos basados en la contracción voluntaria máxima (MVC) de los músculos respiratorios. Estos esfuerzos se presentan en un objetivo en pantalla del 80% de MVC o SPI<sub>max</sub> dentro de una proporción progresiva de trabajo a descanso, con períodos de descanso que disminuyen de 60 segundos en el nivel A a 45, 30, 15, 10 y 5 segundos en niveles B a F, respectivamente. Cada nivel tiene 6 respiraciones resistidas a través de la fuga de 2 mm del manómetro, pero se fija al 80% de la SPI<sub>máx</sub> en cada examen.</p> <p>Por lo tanto, la sesión de examen continúa hasta el fracaso de la tarea, como lo indica la incapacidad de igualar el objetivo en pantalla, o hasta que se hayan realizado un máximo de 36 respiraciones resistidas.</p> |

**ANEXO III.** *Tabla de autores de la revisión bibliográfica.*

| AUTORES<br>AÑO                   | SUJETOS   | TIPO DE<br>ESTUDIO | MEDIDAS  | INTERVENCIÓN   | RESULTADOS   | CONCLUSIÓN   |
|----------------------------------|---|--------------------|--|--|--|--|
| Caleffi Pereira M., Et al (2019) | Paciente de 57 años con parálisis diafragmática unilateral (UDD) con disnea severa y limitaciones en actividades de la vida diaria. | Caso clínico       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Función pulmonar y conductancia del nervio frénico.</li> <li>- Fuerza de los músculos respiratorios</li> <li>- Disnea</li> <li>- Capacidad del ejercicio</li> </ul> | El EMI se realizó utilizando un dispositivo electrónico de carga resistiva de flujo cónico (POWERbreathe®KH1, HaB International Ltd., Southam, Reino Unido). El programa se basó en un protocolo EMI de alta intensidad que consistía en dos a tres sesiones diarias de 30 inspiraciones de capacidad vital completa (4-5 min por sesión), realizadas los 7 días de la semana durante 6 meses. | <p>- Función pulmonar y conductancia del nervio frénico:<br/>Todos los volúmenes y capacidades pulmonares aumentaron ligeramente después del entrenamiento. Las pruebas de conducción del nervio frénico tampoco mostraron evidencia de mejoras en ninguno de los parámetros registrados.</p> <p>- Fuerza de los músculos respiratorios:<br/>La Pdi de contracción bilateral y unilateral seguía siendo indicativa de una debilidad significativa del diafragma después del EMI. Sin embargo, la inhalación de Pdi mejoró en 27 cmH2O. La PImax aumentó en 25 cmH2O.</p> <p>-Disnea:<br/>Después del período de intervención el paciente presentó un cambio de +6 (de las puntuaciones que podrían rango de -9 a +9) una escala de Borg modificada.</p> <p>- Capacidad del ejercicio:<br/>El tiempo de ejercicio aumentó de 6 a 20 min, alcanzando así la duración máxima pre especificada de la prueba posterior a la intervención.</p> | Teniendo en cuenta estos resultados, podemos concluir que, para este paciente, el programa EMI fue eficaz para reducir la disnea de esfuerzo sin mejorar la función del diafragma. Aunque el EMI no afectó la función aislada del diafragma, las mejoras en la función global de los músculos inspiratorios y el patrón respiratorio durante el ejercicio disminuyó la disnea. |

|                                      |  |   |  |  |   |   |
|--------------------------------------|--|---|--|--|---|---|
| <p>Boswell-Ruys C, Et al. (2019)</p> | <p>62N sujetos con tetraplejía en C4-C8</p> <p>Lesión motora completa<br/>20N Threshold IMT con la válvula de presión abierta</p> <p>21N Threshold IMT con la válvula de presión cerrada</p> <p>Lesión motora incompleta<br/>12N Threshold IMT con la válvula de presión abierta</p> <p>9N Threshold IMT con la válvula de presión cerrada</p> | <p>Ensayo clínico controlado a doble ciego aleatorizado</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- P<sub>I</sub>max</li> <li>- Función pulmonar</li> <li>- Calidad de vida</li> <li>- Disnea</li> <li>- Salud respiratoria</li> <li>- Morbilidad relacionada con las vías respiratorias</li> </ul> <p>Todas las medidas se realizaron al inicio, 6 semanas y 1 año</p> | <p>Se realizaron de 3 a 5 series de 12 respiraciones, separadas por 2 minutos de descanso, dos veces al día, 5 días a la semana durante 6 semanas. Todos los participantes comenzaron con el entrenamiento inspiratorio en cada sesión y progresaron al entrenamiento espiratorio después de 2 minutos de descanso.</p>  | <p>6 semanas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-P<sub>I</sub>max aumentó un 31,6% en el grupo activo en comparación con el 6,7% en el grupo simulado.</li> <li>-Disnea se redujo más en carga inspiratoria en el grupo activo en comparación con el grupo simulado para todos los participantes, pero no con carga espiratoria</li> <li>-No hubo diferencia significativa entre la simulación y grupos activos en P<sub>E</sub>max, en otras medidas de función pulmonar, número de complicaciones, campos restantes SF-36ww y dominios SGRQ</li> </ul> | <p>El RMT (entrenamiento de los músculos inspiratorios y espiratorios) progresivo durante 6 semanas aumenta la fuerza de los músculos inspiratorios en personas con tetraplejía, independientemente del tiempo transcurrido desde la lesión y del grado de compleción de la lesión.</p> |
| <p>Raab A.M Et al (2019)</p>         | <p>67N con Lesión Medular en los niveles C4-T12</p>  | <p>Estudio de cohorte retrospectivo.</p>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- P<sub>I</sub>max</li> <li>- P<sub>E</sub>max</li> </ul>   | <p>El entrenamiento de los músculos inspiratorios se realizó con el Threshold IMT® (Philips Respironics, Parsippany, EE. UU.) Nuestro entrenamiento de los músculos respiratorios se inició generalmente unas seis semanas después de la lesión y se prolongó durante un período de aproximadamente seis semanas consecutivas con 3-5 sesiones de entrenamiento por semana y con</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- El P<sub>I</sub>max un aumento del 7% por cada 10 unidades de aumento en la intensidad del entrenamiento independiente del volumen o tipo de lesión.</li> <li>- Mientras que los individuos con lesiones motoras completas mostraron un aumento del 6,8% en la P<sub>E</sub>max por 10 unidades de aumento en la intensidad del entrenamiento, el tamaño del</li> </ul>  | <p>La intensidad del entrenamiento de los músculos inspiratorios fue más relevante que el volumen de entrenamiento para la mejora de la fuerza de los músculos respiratorios en personas con lesión medular. Por lo tanto,</p>  |

|                          |  |                                  |   |  |   |   |
|--------------------------|--|----------------------------------|---|--|---|---|
|                          |  |                                  |   | hasta 90 repeticiones por sesión de entrenamiento.   | efecto ajustado correspondiente en aquellos con lesiones motoras incompletas fue del 0,1% en la PEmax.  | la intensidad del entrenamiento debe elegirse lo más alta posible.  |
| Raab A. M, Et al. (2018) | <p>79N con lesiones medulares completas o incompletas en los niveles C4-T12</p> <p>42N Entrenamiento de la musculatura inspiratoria (EMI):<br/>15N Lesión medular completa.</p> <p>27N Lesión medular incompleta</p> <p>37N EMI más entrenamiento de los músculos espiratorios</p> <p>16N Lesión medular completa</p> <p>21N Lesión medular incompleta</p> | Estudio de cohorte retrospectivo | <ul style="list-style-type: none"> <li>- PImax presión inspiratoria máxima (cmH2O)</li> <li>- PEmax presión espiratoria máxima (cmH2O)</li> <li>- SNIP inhalación nasal inspiratoria presión (cmH2O)</li> <li>- FVC capacidad vital forzada (L)</li> <li>- FEV1 volumen espiratorio forzado en 1 s (L)</li> <li>- PEF flujo espiratorio máximo (L / s)</li> </ul> | <p>El entrenamiento de los músculos inspiratorios se realizó durante 7 semanas con una media de 3,1 sesiones de entrenamiento por semana. La intensidad media del entrenamiento fue del 33% del PImax inicial y se realizaron 58 repeticiones por sesión de entrenamiento.</p> <p>El entrenamiento combinado de los músculos respiratorios se realizó durante 13 semanas con una mediana de 2.8 sesiones por semana y 88 repeticiones por entrenamiento sesión. La intensidad media de la resistencia del entrenamiento espiratorio fue del 27% del valor inicial de la PEmax.</p> | Los parámetros de fuerza de la respiratoria mejoraron en un 18-68% de los valores iniciales y los parámetros de función pulmonar en un 11-31% después del entrenamiento de los músculos inspiratorios. Los parámetros de fuerza de los músculos respiratorios mejoraron en un 14-51% de los valores iniciales y los parámetros de función pulmonar mejoraron en un 15-34% después del entrenamiento combinado de los músculos inspiratorios y espiratorios. | El entrenamiento de resistencia respiratoria mejoró la función respiratoria de las personas con lesión aguda de la médula espinal. Incluso si el entrenamiento combinado de los músculos respiratorios se realizó con más repeticiones por entrenamiento y casi el doble de tiempo, las mejoras relativas de los parámetros de la función respiratoria fueron comparables con el entrenamiento aislado de los músculos inspiratorios. |

|                                |  |  |   |  |  |  |
|--------------------------------|--|--|---|--|--|--|
| <p>Kodric M, Et al. (2013)</p> | <p>52N pacientes con parálisis del diafragma después de una cirugía cardíaca mayor</p> <p>36N Threshold IMT con la válvula de presión abierta</p> <p>16N Threshold IMT con la válvula de presión cerrada</p> | <p>Ensayo clínico prospectivo aleatorizado</p> | <p>- Función pulmonar:<br/>La MIP se midió al inicio del estudio y después de 3, 6 y 12 meses de tratamiento.</p> <p>- Disnea se midió al inicio del estudio y después de 6 y 12 meses mediante el puntaje de disnea del Medical Research Council (MRC).</p> <p>- Movilidad del diafragma</p> | <p>Se realizó un entrenamiento diario con EMI con el dispositivo umbral Threshold, el grupo de control siguió el mismo programa con un dispositivo simulado.</p> | <p>- Movilidad del diafragma:<br/>La mayoría de los pacientes (77,78%) en el grupo de tratamiento activo experimentaron una mejoría parcial en (41,67%) o una mejoría completa (36,11%). La mayoría de los controles no mostraron mejoría a los 12 meses (87,5%); solo 2 pacientes mostraron una mejoría parcial.</p> <p>- MIP:<br/>MIP mejoró significativamente desde el inicio en el grupo tratado con activo, pero fracasó en los controles. Después de 12 meses, la presión espiratoria máxima no aumentó significativamente en ambos grupos.</p> <p>La CV aumentó en ambos grupos desde el inicio hasta 1 año. El FEV1 mejoró desde el inicio en ambos grupos, aunque no significativamente en el grupo de control. El FEV1 / VC disminuyó en ambos grupos, pero menos en el grupo de EMI. FEF25% -75% aumentó después de EMI, pero disminuyó después del entrenamiento simulado. La TLC mejoró en el grupo de tratamiento activo desde el inicio hasta los 12 meses, pero no cambió en los controles. IC aumentó en el grupo de control, pero no en el grupo de EMI.</p> <p>- Disnea y actividades de la vida diaria:<br/>La puntuación de disnea de MRC mejoró significativamente después de 6 y 12 meses en el grupo EMI en comparación con el grupo de control. Las actividades de la vida diaria evaluadas por el cuestionario Mobility-related Activities of Daily Living (MRADL) mejoraron con el EMI frente a los controles.</p> | <p>EMI con el dispositivo Threshold después de la cirugía cardíaca puede promover y acelerar la mejora de la movilidad del diafragma y reducir la necesidad de cirugía después de 1 año.</p> |
|--------------------------------|--|--|---|--|--|--|

|                                  |   |                     |   |  |  |   |
|----------------------------------|---|---------------------|---|--|--|---|
| <p>Petrovic M, Et al. (2009)</p> | <p>Paciente de 44 años con parálisis diafragmática bilateral idiopática (DPB) además de ventilación nocturna no invasiva (VNI) con disnea severa, especialmente en decúbito supino.</p> | <p>Caso clínico</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Función pulmonar y la función de los músculos inspiratorios.</li> <li>- Medición de la conductancia del nervio frénico bilateral y del potencial de acción diafragmático.</li> <li>- Medición del intercambio gaseoso nocturno</li> </ul> <p>Las mediciones se realizaron al comienzo, 4, 5 y 7 meses después del inicio de la observación. La VNI (Ventilación no invasiva) se detuvo en el quinto mes del período de observación</p> | <p>El entrenamiento de la fuerza y la resistencia de los músculos inspiratorios se realizó a diario, además de la VNI nocturna. El dispositivo de entrenamiento de los músculos inspiratorios utilizado fue el Respifit S. La MIP se midió mediante un aparato especial (Respifit S, Eumedics, Purkersdorf, Austria)</p> | <p>Después de 4 meses de EMI, además de la VNI nocturna, la capacidad vital inspiratoria en posición sentada y supina aumentó en un 9,6%. La MIP y la MVV de 12 s aumentaron en un 61% y 70%, lo que indica una mejora de la capacidad de los músculos inspiratorios. La SaO2 nocturna y la Ptc nocturna, el CO2 fue del 85% y 59 mm Hg después de 5 meses de observación con NIV nocturna y GIM al 96% y 42 mm Hg, respectivamente, y después de 2 meses interrumpiendo la VNI nocturna, pero continuando con el EMI diario (en el séptimo mes de observación) 97% y 43 mm Hg. La latencia del nervio frénico permaneció patológica durante todo el período de observación.</p> | <p>Después de 4 meses de entrenamiento, la función de los músculos inspiratorios mejoró satisfactoriamente mientras que la latencia del nervio frénico permaneció patológica. Debido a la mejora de la capacidad de los músculos inspiratorios, la VNI nocturna podría detenerse sin inducir insuficiencia respiratoria nocturna.</p> |
| <p>Chatham K, Et al. (2009)</p>  | <p>Paciente 57 años con diagnóstico de parálisis hemidiafragmática y neuritis del plexo braquial con severos cambios degenerativos y estrechamiento del foramen de C5, C6 y C7.</p>     | <p>Caso clínico</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fuerza de los músculos inspiratorios</li> <li>- Rendimiento de los músculos inspiratorios (IMP)</li> <li>- Capacidad de trabajo inspiratorio</li> <li>- Disnea y actividades de la vida diaria</li> </ul>  | <p>El paciente acudió a la clínica 3 veces por semana y realizó el Entrenamiento con la Prueba de Resistencia Respiratoria Incremental (TIRE) durante 5 (1/2) meses.</p>   | <p>Después de 5 (1/2) meses de entrenamiento con TIRE, el PImax había aumentado de 80 cm H2O a 100 cm H2O, el SPI max había aumentado de 404 PTU a 605 PTU con un tiempo de contracción de 16 segundos, y el trabajo / resistencia había aumentado de 7.800 PTU a 20.120 PTU. Estos aumentos se asociaron con las mejoras informadas por el paciente en las actividades de la vida diaria (AVD), con una reducción de la disnea y una mejor calidad de vida. Las mejoras observadas en la función pulmonar consisten en que el FEV1 y la FVC aumentaron del 58% y 59%, al 73% y 74% de los valores</p>   | <p>Este informe de caso sugiere que el EMI de alta intensidad se puede utilizar eficazmente en un paciente con función diafragmática deteriorada y durante la recuperación de un tratamiento para personas con miopatías esqueléticas inducidas por estatinas, conocidas o</p>  |

|  |  |  |  |  |  |                            |
|--|--|--|--|--|--|----------------------------|
|  |  |  |  |  | predichos. El nivel de PO2 aumentó de 74 mm Hg a 93 mm Hg. | sospechadas respiratorias. |
|--|--|--|--|--|--|----------------------------|

\* **Pdi**= Medida de presión transdiafragmática, **EMI** = Entrenamiento de los músculos inspiratorios, **FVC**= capacidad vital forzada, **PEF**= Flujo espiratorio máximo, **FEF25% -75%**= Flujo espiratorio forzado al 25% para 75% de la capacidad vital forzada, **FEV1** = Volumen espiratorio forzado en 1 segundo, **IC** = Capacidad inspiratoria, **MIP** = Presión inspiratoria máxima, **MRADL** = Actividades de la vida diaria relacionadas con la movilidad, **MRC** = Consejo de Investigación Médica, **RV** = Volumen residual, **TLC** = Capacidad pulmonar total, **VC** = Capacidad vital, **PImax** = Presión inspiratoria máxima , **PEmax** = Presión espiratoria máxima, **TIRE**= Prueba de Resistencia Respiratoria Incremental, **IMP** = Rendimiento de los músculos inspiratorios , **SPix máx** = Presión inspiratoria máxima sostenida, **MVC** = Contracción voluntaria máxima., **SNIP** = inhalación nasal inspiratoria presión, **VNI** = Ventilación no invasiva.



**ANEXO IV. Valoración de los artículos Escala PEDro.**

1. Los criterios de elección fueron especificados
2. Los sujetos fueron asignados al azar a los grupos (en un estudio cruzado, los sujetos fueron distribuidos aleatoriamente a medida que recibían los tratamientos)
3. La asignación fue oculta
4. Los grupos fueron similares al inicio en relación a los indicadores de pronóstico más importantes
5. Todos los sujetos fueron cegados
6. Todos los terapeutas que administraron la terapia fueron cegados
7. Todos los evaluadores que midieron al menos un resultado clave fueron cegados
8. Las medidas de al menos uno de los resultados clave fueron obtenidas de más del 85% de los sujetos inicialmente asignados a los grupos
9. Se presentaron resultados de todos los sujetos que recibieron tratamiento o fueron asignados al grupo control, o cuando esto no pudo ser, los datos para al menos un resultado clave fueron analizados por "intención de tratar"
10. Los resultados de comparaciones estadísticas entre grupos fueron informados para al menos un resultado clave
11. El estudio proporciona medidas puntuales y de variabilidad para al menos un resultado clave

| ARTÍCULO                      | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | NOTA  |
|-------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|
| Boswell-Ruys C, Et al. (2019) | SI | 11/11 |
| Kodric M, Et al. (2013)       | SI | SI | SI | SI | SI | NO | NO | NO | SI | SI | SI | 7/11  |

**ANEXO V. Valoración de los artículos con escala Single-Case Experimental Design Scale (SCED).**

1. *La historia clínica se ha especificado. Debe incluir la edad, sexo, etiología y severidad.*
2. *Conductas objetivo. medidas precisas y repetibles que se definen operacionalmente. Especificar medida de la conducta objetivo.*
3. *Diseño 1: 3 fases. Estudio debe ser ABA o línea de base múltiple.*
4. *Diseño 2: línea de base (fase de pre- tratamiento). Se llevó a cabo un muestreo suficiente.*
5. *Diseño 3: Fase de tratamiento. Se llevó a cabo un muestreo suficiente.*
6. *Diseño 4: Registro de datos. se informó de puntos de datos en bruto.*
7. *Observador sesgo: fiabilidad entre evaluadores fue establecido por al menos una medida de la conducta objetivo.*
8. *La independencia de los evaluadores.*
9. *El análisis estadístico.*
10. *Replicación: ya sea a través de temas, terapeutas o ajustes.*
11. *Evidencia para la generalización.*

| ARTÍCULO                         | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | NOTA |
|----------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|------|
| Caleffi Pereira M, Et al. (2019) | SI | SI | NO | SI | SI | SI | SI | NO | SI | SI | SI | 9/11 |
| Petrovic M, Et al. (2009)        | SI | SI | NO | SI | SI | SI | NO | NO | SI | SI | NO | 6/11 |
| Chatham K, Et al. (2009)         | SI | SI | NO | SI | SI | SI | NO | NO | SI | SI | NO | 7/11 |

**ANEXO VI. Valoración de los artículos con NEWCASTLE - OTTAWA QUALITY ASSESSMENT SCALE  
COHORT STUDIES**

**Selection**

**1) Representativeness of the exposed cohort**

- a) truly representative of the average \_\_\_\_\_ (describe) in the community ★
- b) somewhat representative of the average \_\_\_\_\_ in the community ★
- c) selected group of users eg nurses, volunteers
- d) no description of the derivation of the cohort

**2) Selection of the non exposed cohort**

- a) drawn from the same community as the exposed cohort ★
- b) drawn from a different source
- c) no description of the derivation of the non exposed cohort

**3) Ascertainment of exposure**

- a) secure record (eg surgical records) ★
- b) structured interview ★
- c) written self report
- d) no description

**4) Demonstration that outcome of interest was not present at start of study**

- a) yes ★
- b) no

**Comparability**

**1) Comparability of cohorts on the basis of the design or analysis**

- a) study controls for \_\_\_\_\_ (select the most important factor) ★
- b) study controls for any additional factor (This criteria could be modified to indicate specific control for a second important factor.) ★

**Outcome**

**1) Assessment of outcome**

- a) independent blind assessment ★
- b) record linkage ★
- c) self report
- d) no description

**2) Was follow-up long enough for outcomes to occur**

- a) yes (select an adequate follow up period for outcome of interest) ★
- b) no

**3) Adequacy of follow up of cohorts**

- a) complete follow up - all subjects accounted for ★
- b) subjects lost to follow up unlikely to introduce bias - small number lost - > \_\_\_\_ % (select an adequate %) follow up, or description provided of those lost) ★
- c) follow up rate < \_\_\_\_% (select an adequate %) and no description of those lost
- d) no statement

| ARTÍCULO                | SELECTION | COMPARABILITY | OUTCOME | RIESGO DE SESGO |
|-------------------------|-----------|---------------|---------|-----------------|
| Raab A M, Et al. (2018) | ★★★★      | ★             | ★★      | Bajo            |
| Raab A M,Et al. (2019)  | ★★★★      | ★             | ★★★     | Bajo            |



## 8. BIBLIOGRAFÍA

---

1. Reid WD, Dechman G. Considerations when testing and training the respiratory muscles. *Phys Ther.* 1995;75(11):971–82.
2. Nason LK, Walker CM, McNeeley MF, Burivong W, Fligner CL, Godwin JD. Imaging of the diaphragm: anatomy and function. *Radiographics.* 2012;32(2):E51-70.
3. Ricoy J, Rodríguez-Núñez N, Álvarez-Dobaño JM, Toubes ME, Riveiro V, Valdés L. Diaphragmatic dysfunction. *Pulmonology.* 2019;25(4):223–35.
4. Kaufman MR, Elkwood AI, Colicchio AR, CeCe J, Jarrahy R, Willekes LJ, et al. Functional restoration of diaphragmatic paralysis: an evaluation of phrenic nerve reconstruction. *Ann Thorac Surg.* 2014;97(1):260–6.
5. Laghi F, Tobin MJ. Disorders of the respiratory muscles. *Am J Respir Crit Care Med.* 2003;168(1):10–48.
6. Schilero GJ, Spungen AM, Bauman WA, Radulovic M, Lesser M. Pulmonary function and spinal cord injury. *Respir Physiol Neurobiol.* 2009;166(3):129–41.
7. Alajam R, Alqahtani AS, Liu W. Effect of body weight-supported treadmill training on cardiovascular and pulmonary function in people with spinal cord injury: A systematic review. *Top Spinal Cord Inj Rehabil.* otoño de 2019;25(4):355–69.

8. Kodric M, Trevisan R, Torregiani C, Cifaldi R, Longo C, Cantarutti F, et al. Inspiratory muscle training for diaphragm dysfunction after cardiac surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2013;145(3):819–23.
9. Ozalp O, Inal-Ince D, Cakmak A, Calik-Kutukcu E, Saglam M, Savci S, et al. High-intensity inspiratory muscle training in bronchiectasis: A randomized controlled trial: Inspiratory muscle training. *Respirology.* 2019;24(3):246–53.
10. Ramsook AH, Koo R, Molgat-Seon Y, Dominelli PB, Syed N, Ryerson CJ, et al. Diaphragm recruitment increases during a bout of targeted inspiratory muscle training. *Med Sci Sports Exerc.* 2016;48(6):1179–86.
11. Xiao Y, Luo M, Wang J, Luo H. Inspiratory muscle training for the recovery of function after stroke. *Cochrane Database Syst Rev.* 2012;(5):CD009360.
12. Langer D, Ciavaglia C, Faisal A, Webb KA, Neder JA, Gosselink R, et al. Inspiratory muscle training reduces diaphragm activation and dyspnea during exercise in COPD. *J Appl Physiol.* 2018;125(2):381–92.
13. Smart NA, Giallauria F, Dieberg G. Efficacy of inspiratory muscle training in chronic heart failure patients: a systematic review and meta-analysis. *Int J Cardiol.* 2013;167(4):1502–7.
14. Dres M, Goligher EC, Heunks LMA, Brochard LJ. Critical illness-associated diaphragm weakness. *Intensive Care Med.* 2017;43(10):1441–52.

15. Montero Ferro A, P. Basso-Vanelli R, Moreira Mello RL, Sanches Garcia-Araujo A, Gonçalves Mendes R, Costa D, et al. Effects of inspiratory muscle training on respiratory muscle strength, lung function, functional capacity and cardiac autonomic function in Parkinson's disease: Randomized controlled clinical trial protocol. *Physiother Res Int*. 2019;24(3):e1777.
16. Eidenberger M, Nowotny S. Inspiratory muscle training in patients with Amyotrophic Lateral Sclerosis: A systematic review. *NeuroRehabilitation*. 2014;35(3):349–61.
17. Rietberg MB, Veerbeek JM, Gosselink R, Kwakkel G, van Wegen EE. Respiratory muscle training for multiple sclerosis. *Cochrane Database Syst Rev*. 2017;12:CD009424.
18. Liaw M-Y, Wang Y-H, Tsai Y-C, Huang K-T, Chang P-W, Chen Y-C, et al. Inspiratory muscle training in bronchiectasis patients: a prospective randomized controlled study. *Clin Rehabil*. 2011;25(6):524–36.
19. Goldstein RS. Exercise training and inspiratory muscle training in patients with bronchiectasis. *Thorax*. 2005;60(11):889–90.
20. 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*. 2019;57(6):482–9.
21. Boswell-Ruys CL, Lewis CRH, Wijesuriya 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*. 2019;75(3):279–88.

22. Caleffi Pereira M, Dacha S, Testelmans D, Gosselink R, Langer D. Assessing the effects of inspiratory muscle training in a patient with unilateral diaphragm dysfunction. *Breathe (Sheff)*. 2019;15(2):e90–6.
23. Chatham K, Gelder CM, Lines TA, Cahalin LP. Suspected statin-induced respiratory muscle myopathy during long-term inspiratory muscle training in a patient with diaphragmatic paralysis. *Phys Ther*. 2009;89(3):257–66.
24. Petrovic M, Lahrmann H, Pohl W, Wanke T. Idiopathic diaphragmatic paralysis--satisfactory improvement of inspiratory muscle function by inspiratory muscle training. *Respir Physiol Neurobiol*. 2009;165(2–3):266–7.
25. Raab AM, Krebs J, Perret C, Pfister M, Hopman M, Mueller G. Evaluation of a clinical implementation of a respiratory muscle training group during spinal cord injury rehabilitation. *Spinal Cord Ser Cases*. 2018;4(1).