



Trabajo Final de Carrera 2023

**Abordaje de la debilidad diafragmática en
pacientes con requerimiento de
ventilación mecánica
invasiva.**

Alumno: Chiattellino Insúa, Diego

Mail: diego.chiattellinoinsua@alumnos.uai.edu.ar

Tutor: Lic. Papazian, Ana Carolina

Mail: Anacarolina.papazian@uai.edu.ar

Lugar: Ciudad Autónoma de Buenos Aires

Marzo 2023

Resumen

Introducción: La ventilación mecánica invasiva se utiliza en pacientes en estado crítico, pero trae consecuencias negativas como debilidad diafragmática y atrofia de la musculatura inspiratoria accesoria. Esta problemática puede presentar implicancias clínicas como un aumento en la falla del destete, una mayor estadía hospitalaria y una disminución de la calidad de vida, entre otros. Si bien la rehabilitación en pacientes con debilidad adquirida en la unidad de cuidados intensivos se ha abordado mediante movilización pasiva y activa, electroestimulación muscular y la utilización de férulas, actualmente se sabe que la debilidad de los músculos respiratorios es dos veces mayor que la debilidad de los músculos periféricos en pacientes dentro de la terapia intensiva. La rehabilitación temprana de los músculos respiratorios podría revertir o minimizar los efectos adversos de la ventilación mecánica.

Objetivos: El objetivo del presente estudio es describir diferentes intervenciones para el abordaje de la debilidad diafragmática en pacientes con requerimiento de ventilación mecánica invasiva y analizar sus efectos en términos de entrenamiento de los músculos respiratorios, días de destete de la VM, duración de la VM, estadía en UCI, estadía hospitalaria, calidad de vida y disnea

Metodología: Se realizó una revisión literaria en la cual se incluyeron 13 artículos de investigación en los que se abordaron distintos tratamientos en pacientes con debilidad de los músculos inspiratorios durante su estadía en UCI.

Resultados: La rehabilitación mediante el entrenamiento de los músculos respiratorios aumenta la presión inspiratoria máxima y garantiza el éxito en otros resultados del paciente en la UCI. La rehabilitación temprana disminuyó los días de destete y de ventilación mecánica. La terapia con electroestimulación muscular no arrojó resultados concluyentes.

Conclusión: Los tratamientos kinésicos se mostraron seguros para los pacientes en la UCI. Una buena estrategia de abordaje podría consistir en combinar movilización temprana con el entrenamiento de los músculos respiratorios.

Palabras Clave: Diaphragm; Mechanical ventilation; Difficult weaning; Muscular weakness; Respiratory Muscle Training

INTRODUCCIÓN

El sistema respiratorio funciona como resultado de la integración entre las demandas metabólicas del organismo, el sistema nervioso y los músculos de la respiración. Cuando la carga de trabajo atribuida a los músculos respiratorios supera su capacidad, comúnmente observado en enfermedades que aumentan el trabajo respiratorio o en aquellas que afectan la fuerza de los músculos respiratorios, se inicia un proceso que evoluciona a fatiga muscular, hipoventilación alveolar e hipercapnia¹.

Gran parte de los pacientes ingresados en las unidades de cuidados intensivos (UCI) requieren de asistencia respiratoria. La ventilación mecánica invasiva (VMI) es una estrategia muy utilizada en la UCI, pero presenta complicaciones importantes como la disminución de la fuerza contráctil y atrofia de los músculos inspiratorios. En un estudio realizado en 124 pacientes bajo ventilación mecánica prolongada, se observó que el 54% padecían debilidad muscular inspiratoria detectable antes del weaning². Un factor clave en el desacondicionamiento y debilitamiento de los músculos inspiratorios en UCI es el reemplazo de la ventilación espontánea por una modalidad controlada³.

La prevalencia de la debilidad de los músculos respiratorios en pacientes con ventilación mecánica es alta y puede deberse a la inactividad que provoca atrofia muscular y disminución de la síntesis de proteínas, hiperinflación, trastornos metabólicos, suministro reducido de oxígeno y posiblemente hipercapnia⁴.

El diafragma es el principal generador de presión inspiratoria y su fuerza ha sido evaluada para predecir el éxito del destete⁵. Para valorar la fuerza de los músculos inspiratorios, se puede realizar una medición de la presión inspiratoria máxima (PIM) a través de un manómetro que se conecta directamente al tubo endotraqueal o a la traqueotomía, o mediante la medición de la fuerza inspiratoria negativa (NIF), a través de la configuración del ventilador². El valor normal de referencia según estudios realizados por Lagui et al.⁶ se encuentra entre 35 a 39 cmH₂O.

Otro método de evaluación del diafragma es la ecografía. Permite realizar mediciones activas de grosor diafragmático, fracción de engrosamiento del diafragma y su excursión en el tórax⁷. El engrosamiento diafragmático (ED) se define como la distancia de la parte media de la fascia diafragmática hasta la parte media de la pleura peritoneal, evaluado al final de la espiración en la zona de aposición. Los autores que utilizan esta técnica diagnóstica afirman que un descenso mayor o igual al 10% en el grosor del músculo en comparación con el estado basal indica debilidad diafragmática (DD)⁶. Según estudios, al cuarto día de VMI ya se puede observar una disminución del grosor en un 41% mediante una ecografía^{8,9}. La fracción de engrosamiento diafragmático (FED) se mide de la siguiente manera: grosor al final de la inspiración – grosor al final de la espiración / grosor al final de la espiración. El valor medido en personas sanas oscila entre el 30% y el 40%. Lu et al y Dres. et al.⁶ mencionan como puntos de corte de una FED a valores menores del 20% y menores del 25% respectivamente para el diagnóstico de debilidad diafragmática y posible falla en el destete de la VMI. La Excursión diafragmática (ExD) es el movimiento cefalocaudal de la cúpula diafragmática durante la ventilación en reposo y durante los esfuerzos inspiratorios forzados⁷. El valor normal en personas sanas es de 18mm +/- 3 en hombres y 16 mm +/-3 en mujeres. Para diagnosticar la debilidad diafragmática, los puntos de cortes reportados van de 10 mm a 14 mm en una ventilación espontánea tranquila⁶.

La debilidad del diafragma se manifiesta como una reducción en su capacidad para generar presión y flujo inspiratorio¹⁰. Factores como la sepsis, la ventilación mecánica prolongada y el empleo de bloqueantes neuromusculares o corticoides deterioran la función del diafragma^{8,11}. Algunos estudios han observado la presencia de una atrofia diafragmática significativa entre las 12 – 18hs de inicio de la VMI¹². La combinación de ventilación con presión positiva y presión positiva al final de la espiración (PEEP) disminuye la carga de trabajo sobre el diafragma y genera cambios en la longitud de las miofibrillas, lo que podría explicar su rápida atrofia¹³. Se

comprobó además que las fibras del diafragma se atrofian 8 veces más rápido que las fibras de los músculos esqueléticos durante los períodos de VMI⁵.

La integridad del diafragma y de los músculos accesorios es importante a la hora del destete de la VMI, ya que se vio que aproximadamente el 20-25% de los pacientes presentan dificultades en los intentos por desvincularlo del ventilador^{5,14}. Se ha reportado que una fuerza disminuida de los mismos, PIM menor a 30 cmH₂O, se asocia a un mayor fracaso en la extubación y a una mayor mortalidad en los pacientes⁵.

La rehabilitación temprana y activa por parte del paciente es fundamental para revertir o minimizar los efectos de la VMI, pero no es suficiente. La falla en el destete de la VMI es un proceso complejo y la atrofia de los músculos inspiratorios es una de sus principales causas. Por lo tanto, pensamos que el desarrollo de esta entidad en pacientes sometidos a ventilación mecánica prolongada sería reversible mediante el empleo de un programa de rehabilitación⁸.

Los músculos respiratorios son susceptibles a la atrofia e hipertrofia, por lo tanto, la activación mediante diferentes estrategias de la musculatura inspiratoria podría ser un tratamiento prometedor para los pacientes con falla en el destete del ventilador⁵.

El objetivo del presente estudio es describir diferentes intervenciones para el abordaje de la debilidad diafragmática en pacientes con requerimiento de ventilación mecánica invasiva y analizar sus efectos en términos de entrenamiento de los músculos respiratorios, días de destete de la VM, duración de la VM, estadía en UCI, estadía hospitalaria, calidad de vida y disnea.

METODOLOGIA

El presente estudio es una revisión literaria. Se realizó una búsqueda bibliográfica en las bases de datos Pubmed, Cochrane Library y Scielo, para identificar la literatura científica relacionada a debilidad del diafragma y los músculos accesorios inspiratorios y los tipos de abordajes que fueron publicados para tratarla. La búsqueda se realizó entre el 01 de enero del 2010 al 31 de diciembre del 2022. En la base de datos PubMed se utilizaron los términos “diaphragm dysfunction”, “ventilator-

induced diaphragm dysfunction” “diaphragmatic injury induced by mechanical ventilation” con el término booleano OR. En otra búsqueda se combinaron las siguientes palabras claves: “respiratory muscle training”, “mechanical Ventilation” con el término booleano AND. El resultado total entre ambas búsquedas fue de 680 estudios. En Cochrane Library se utilizaron como palabras claves: “respiratory muscle training” “mechanical ventilation” con el término booleano AND. Se aplicó un truncado de palabra clave, búsqueda por título y resumen, y se obtuvieron 215 ensayos clínicos. En la base de datos Scielo se realizó una búsqueda con la palabra clave “Disfunción Diafragmática”, con un total de 7 artículos de investigación. Y, por último, se realizó una búsqueda manual en las referencias bibliográficas de las revisiones y estudios incluidos. El resultado final de los ensayos obtenidos fue de 907 artículos de los cuales, luego de aplicados los criterios de exclusión, se obtuvieron 13 artículos para el análisis de resultados.

Criterios de Inclusión

Se incluyeron para su estudio aquellos artículos de investigación que contengan:

- **Población:** Pacientes mayores de 18 años de ambos sexos con requerimientos de ventilación mecánica invasiva a través de intubación orotraqueal o traqueotomía, y que hayan adquirido la debilidad del diafragma durante su estadía en UCI.
- **Tipo de artículo:** Revisiones narrativas y sistemáticas; Ensayos clínicos aleatorizados.
- **Fecha de publicación:** 01 de enero del 2010 al 31 de diciembre del 2022.
- **Intervención:** Abordajes del diafragma y músculos accesorios de la inspiración en UCI.
- **Idioma:** inglés y español.

Criterios de Exclusión

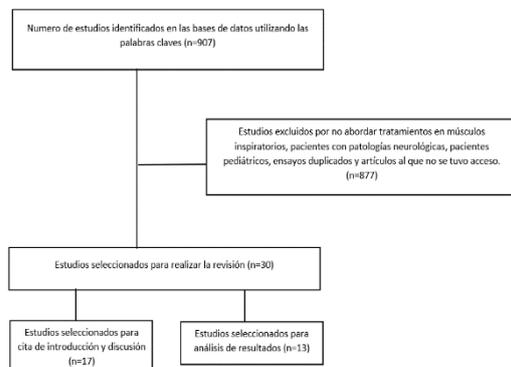
Se excluyeron del análisis aquellos artículos de investigación que:

- Incluyeran pacientes con patologías neuromusculares o similares que presentaran algún tipo de debilidad muscular al ingreso a la UCI.
- Estudios que no realicen algún tipo de intervención sobre la debilidad del diafragma y músculos accesorios de la inspiración.
- Artículos que se repitieran en otras bases de datos y/o motores de búsqueda.
- Artículos a los que no se pudo acceder.

RESULTADOS

La estrategia de búsqueda realizada permitió identificar 902 artículos publicados de los cuales 877 fueron excluidos por no abordar tratamientos en pacientes bajo VMI con debilidad del diafragma y músculos accesorios de la inspiración, incluir pacientes neuromusculares, no poder acceder a los mismos y/o encontrarse duplicado. Se incorporaron 5 estudios de interés que surgieron de referencias bibliográficas. (Tabla 1)

Tabla 1: Diagrama de flujo.



VARIABLES DE RESULTADO

En base a los artículos seleccionados se realizó un análisis de las variables de resultado como fuerza de la musculatura inspiratoria, días de destete de la VM, duración de la VM, estadía en UCI, estadía hospitalaria, Calidad de vida y disnea.

Entrenamiento de los músculos respiratorios.

Martin et al.¹⁵ realizaron un estudio en el cual evaluaron la aplicación de 2 dispositivos para el entrenamiento de los músculos respiratorios en pacientes traqueotomizados, conectados a VMI y con debilidad de los músculos inspiratorios. En el grupo tratamiento, el entrenamiento de los músculos inspiratorios (EMI) se realizó a través de un dispositivo de presión positiva espiratoria (Threshold PEP, Respironics Inc., **Figura 1**), conectado a la vía aérea artificial de los pacientes, mediante un protocolo que consistía en cinco estímulos por semana, con cuatro series de 6 a 10 repeticiones con dos minutos de descanso entre series apoyados por el ventilador. A los pacientes se los desconectó del ventilador y se adhirió el dispositivo de umbral configurando con la presión más alta que el paciente podía resistir (entre -4 a -20 cmH₂O). En el grupo control se utilizó un dispositivo de entrenamiento muscular inspiratorio resistivo (Pflex; Respironics Inc; Murrysville, PA, EE.UU., **Figura 2**) el cual presentaba un orificio que reducía la presión requerida para lograr la inspiración. También se los desconectaba de la VMI y se adhería el dispositivo a la traqueotomía. Realizaron cuatro series de 6 a 10 repeticiones, durante 5 días a la semana. El tiempo de descanso fue de dos minutos entre series. Se observó que en el grupo tratamiento la PIM aumentó después del entrenamiento con dispositivo Threshold PEP ($-44,4 \pm 18,4$ vs. $-54,1 \pm 17,8$, cmH₂O). Mientras que en el grupo control también aumentó, pero no fue estadísticamente significativa. ($-43,5 \pm 17,8$ vs. $-45,1 \pm 19,5$ cmH₂O) Además observaron que el 71% de los pacientes del grupo experimental se desconectaron de la VM. En cambio, en el grupo control solo el 47% lograron éxito en la desconexión.



Figura 1 - Threshold PEP, Respironics Inc.

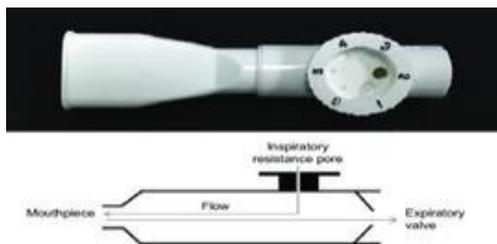


Figura 2 - Pflex; Respiroics Inc; Murrysville, PA, EE.UU.

Bisset et al.¹⁶ realizaron un ensayo clínico aleatorizado en pacientes bajo ventilación mecánica a través de intubación orotraqueal o traqueotomía por más de 7 días, los cuales separaron en dos grupos. Uno que recibió atención convencional y otro que recibió entrenamiento de los músculos inspiratorios. La atención convencional constó de técnicas de eliminación de secreciones (percusión, hiperinsuflación, succión), no incluía respiración inspiratoria resistida. El grupo de intervención con EMI se realizó con el dispositivo Threshold (Threshold IMT device HS730, Respiroics NJ, EE. UU., **Figura 3**). El cual posee una válvula unidireccional accionada por resorte que proporciona una resistencia inspiratoria titulable en un rango de 9 a 41 cmH₂O y se puede conectar fácilmente a un tubo orotraqueal o traqueotomía. El entrenamiento consistió en pocas repeticiones, pero de alta intensidad. Se prescribió un 50% de la PIM en donde el paciente podía realizar la sexta repetición sin variar drásticamente las variables cardiorrespiratorias. Las sesiones contenían 5 series de 6 repeticiones, con unos minutos de descanso entre serie apoyados por el ventilador. Se realizaban 1 vez al día, solo los días de semana. En este estudio no se utilizó dispositivo simulador en el grupo control para evitar que proporcione un entrenamiento de resistencia inspiratoria baja. Los resultados mostraron que en ambos grupos aumentó la PIM (Grupo EMI: 14.7%; Grupo control: 11.4%) sin embargo, en el grupo de EMI la diferencia en cuanto a la medición inicial y final no fue estadísticamente significativa. En cuanto a la disnea se vio que en ambos grupos disminuyó, pero de forma significativa en el grupo EMI. Por último, en la valoración de la calidad de vida se vieron mejoras significativas a favor del grupo EMI.



Figura 3- Threshold IMT device HS730, Respiroics.

Sandoval Moreno LM et al.¹⁷ compararon dos grupos de pacientes con requerimiento de VM de 48 hs o más, a los que a un grupo abordaban con atención convencional, que consistía en fisioterapia respiratoria, terapia física, y manejo del ventilador. Y al otro grupo además de la atención convencional se le agregó entrenamiento de los músculos inspiratorios realizado con dispositivo Threshold IMT (Threshold IMT; Respiroics Inc; Murrysville, PA, EE. UU.) El protocolo del grupo experimental consistía en realizar dos sesiones por día de 3 series con 6 a 10 repeticiones, con una carga del 50% de la PIM. El descanso constaba de 2 minutos entre series. En los días de destete no se vio una diferencia estadísticamente significativa, siendo que el grupo de intervención tuvo un promedio de 9,36 hs. Por su parte el grupo control tuvo un promedio de 8,78 hs. Además, se evaluó la diferencia de la PIM intra grupo y entre los grupos. Intra grupo se evaluó la PIM antes y después de la intervención y se vieron diferencias significativas entre la PIM inicial y final. En el grupo experimental aumentó 9,43 cm H₂O, mientras que en el control solo 5,92 cm H₂O. La comparación de la PIM entre los grupos no arrojó diferencias significativas (p = 0,48). Por último, se midió la falla de destete y los resultados mostraron que 15 pacientes (24,19%) del grupo de intervención fallaron de su salida de la VM, mientras que en el grupo control fueron 16 pacientes (25%) los que fallaron.

Condessa et al.¹⁸ y Cader et al.¹⁹ utilizaron un protocolo similar en sus estudios. Compararon un grupo al cual sólo se abordaba con la intervención convencional en UCI con otro grupo que se abordaba con intervención convencional sumado el

entrenamiento específico de los músculos inspiratorios. Para los dos estudios la intervención convencional consistió en movilización pasiva, asistida y activa de las extremidades, posicionamientos, aspiración endotraqueal, y compresión torácica con liberación rápida al final de la espiración. Para la intervención experimental utilizaron un dispositivo de tipo umbral al cual Condessa et al.¹⁸ aplicó una carga del 40% de la PIM, en cambio Cader et al.¹⁹ utilizó una carga del 30% de la PIM e iba intensificando diariamente un 10% de la PIM según la tolerancia del paciente. En ambos estudios^{18,19} cada sesión constó de 5 series de 10 repeticiones, y se realizaban dos veces al día, los siete días de la semana. Además, ambos comenzaron la intervención cuando los pacientes pasaban de ventilación mecánica controlada a ventilación por presión soporte (PSV). Antes de cada sesión de rehabilitación se posicionó a cada paciente en posición Fowler (paciente en posición decúbito dorsal, formando un ángulo de 45° con la horizontal) y se midieron las variables cardiorrespiratorias.

Condessa et al.¹⁸ incluyó en su estudio un grupo de pacientes bajo VM en presión soporte por más de 48 hs y observaron que en el grupo experimental el periodo de destete fue de 8 hs más corto, siendo una diferencia no significativa estadísticamente. Por otra parte, evaluaron los cambios en la fuerza de los músculos respiratorios. La PIM aumentó en el grupo experimental con una media de 7 cmH₂O, mientras que en el grupo control se redujo en una media de 3 cmH₂O. Esta fue una diferencia estadísticamente significativa. Con respecto a la fuerza de los músculos espiratorios, la presión espiratoria máxima (PEM) aumentó en el grupo experimental y se redujo en el grupo control, con una diferencia media entre los grupos de 8 cmH₂O.

Cader et al.¹⁹ estudió pacientes de mayor 70 años bajo VM con modalidad controlada y vieron que la PIM aumentó en el grupo de intervención de forma significativa con una diferencia media entre los grupos de 7,6 cmH₂O. El periodo de destete fue 1,7 días más corto en el grupo experimental que en el grupo control.

Tonella et al.²⁰ realizaron un trabajo de investigación en donde evaluaron dos grupos de pacientes traqueotomizados, con requerimiento de ventilación mecánica y ventilados en la modalidad presión de soporte. Un grupo fue abordado mediante un protocolo de nebulizaciones intermitente, el cual no fue descrito en el estudio. Y el otro grupo de rehabilitación con dispositivo POWERbreath®, dispositivo electrónico de entrenamiento inspiratorio KH2 (IMT Technologies Ltd, Birmingham, Inglaterra, **Figura 4**). El entrenamiento de los músculos inspiratorios se realizó dos veces por día, mediante sesiones de tres series de 10 repeticiones cada una, con 1 minuto de descanso entre las mismas. La carga configurada en el dispositivo fue del 30% de la PIM, aumentando el 10% cada día de entrenamiento según tolerancia. La terapia se complementó con tareas habituales para ambos grupos como realización de higiene bronquial, aspiración orotraqueal y posicionamientos. Antes y después de cada sesión, se midieron los parámetros cardiorrespiratorios. Observaron que en ambos grupos aumentó la PIM después de sus respectivas intervenciones, sin embargo, este aumento fue significativo en el grupo EMI. El periodo de destete fue más corto en el grupo EMI que en el grupo abordado con nebulizaciones, resultando 9,4 ± 6,47 días para el grupo de nebulizaciones y 3,5 ± 1,6 días para el grupo EMI. En cuanto a los días de VM descendieron también, sin embargo, la diferencia no fue estadísticamente significativa mostrando 21,8 ± 9,8 días para el grupo de nebulizaciones y 14,5 ± 10 días para el grupo EMI.



Figura 4 - POWERbreath® KH2

Amany R. Mohamed, et al.²¹ evaluó en su estudio a dos grupos de pacientes ventilados mecánicamente con insuficiencia respiratoria. El grupo control fue abordado mediante atención estándar en UCI durante tres veces al día, la cual consistió en maniobras de percusión, vibraciones, ejercicios de respiración y movilización temprana de miembro superior e inferior. El grupo de intervención se trató con atención estándar más entrenamiento de los músculos inspiratorios. Se posicionó a los pacientes en posición Fowler en la cama, se los desconectó del ventilador y se adhirió el dispositivo de entrenamiento umbral. La presión inicial configurada fue del 30% de la PIM, la cual se midió mediante lectura del ventilador, para luego ir aumentando 1-2 cmH₂O diariamente. El entrenamiento constó de 5 a 6 series de 6 repeticiones, dos veces por día. En total los pacientes recibían 12 sesiones semanalmente. Adicionalmente se suplementó oxígeno durante el entrenamiento de los músculos inspiratorios. El descanso entre series no fue especificado en cuanto a tiempo, pero se realizaba bajo soporte ventilatorio invasivo. Los resultados mostraron que la PIM aumentó de forma significativa entre ambos grupos. Por un lado, se evaluó la atención estándar en el grupo de EMI, la cual arrojó una PIM media inicial de (20,95± 3,05 cmH₂O) frente a (29,4±1,78 cmH₂O) final. Para el grupo control la PIM media inicial fue de (19,1±2,26 cmH₂O) versus (21,25±1,41 cmH₂O) final. Al comparar ambos grupos se vio que la PIM aumentó un 30,03% en el grupo de EMI con respecto al de atención estándar, siendo esto estadísticamente significativo. Por otro lado, se registró la PIM inicial y final de la intervención realizada mediante entrenamiento de los músculos inspiratorios y se vio que la PIM de inicio fue 10,9±1,43 cmH₂O versus 20,4±2,08 cmH₂O al final del entrenamiento. En cuanto a los días de VM se notificó que hubo una disminución en el grupo de EMI comparados con el grupo de intervención estándar, siendo 3,3±1,6 días para el grupo EMI versus 10,4±2,5 días para el grupo estándar. Por último, los días de estadía en UCI fueron menos en el grupo de EMI (4,45±0,9 días) en comparación con el grupo estándar (10,25±2,8 días).

A diferencia de los estudios anteriores Elbouhy et al.¹³ evaluaron en su estudio a pacientes con bajo VM con presión soporte y que presentaban un weaning dificultoso. Un grupo con atención habitual la cual no fue especificada (grupo control) y el otro con EMI en donde la activación de los músculos respiratorios se realizó mediante el ventilador configurando la sensibilidad del trigger, con el objetivo de aumentar la resistencia muscular. Los ventiladores utilizados fueron 1- Servo I Maquet modelo N° 6449701 Suecia. 2-Servo 300 modelo N° 30207 Suecia. Ambos grupos fueron entrenados y destetados en modo de presión soporte, con FiO₂ al 40% y la presión positiva al final de la espiración (PEEP) se ajustó a 5 cmH₂O. La presión inspiratoria (PS) se tituló a un nivel suficiente para que se realicen 20 a 30 respiraciones por minuto y un volumen corriente de 4-6 ml/kg. Luego la PS se fue reduciendo de a 2 cmH₂O por hora hasta llegar a 8 cmH₂O. En el grupo EMI, la sensibilidad de activación se ajustó al 20% de la PIM registrada en la primera sesión. Las sesiones se realizaron durante 5 minutos, aumentando de a 5 minutos si el paciente lo soportaba. Si lograban mantener 30 minutos, se procedía a aumentar la sensibilidad del trigger un 10%. Si después de 5 días de entrenamiento el paciente respondía positivamente al protocolo, se procedía a realizar una prueba de destete. Los resultados mostraron que el grupo de EMI (85%) aumentó el porcentaje de pacientes destetados en comparación con el grupo control (45%). También se disminuyeron los días de VM a favor del grupo de EMI con una media de 11.67±1.95 días versus 14.12± 1.73 días del grupo control. En cuanto a la estadía hospitalaria se redujo en el grupo de EMI (13.77± 1.9 días) en comparación con el grupo control (18.2 ± 1.33 días). Por último, los días de UCI se redujeron con el EMI (12.6± 1.6 días) frente al grupo control (17.1± 1.29).

Otro estudio que utilizó el ventilador para el EMI en pacientes con VMI y diagnóstico de debilidad de los músculos inspiratorios fue el de Chang et al.²². Estudiaron 2 grupos de pacientes ventilados en modalidad espontánea. Uno de ellos fue atendido de manera convencional y el otro grupo con EMI mediante la configuración del trigger.

La intervención se realizó una vez al día durante los 5 días de la semana, por un periodo de 6 semanas. Se comenzó con una sensibilidad del gatillado del 10% de la PIM en la primera semana, con una duración de la sesión de 5 minutos. La segunda semana se elevó la sensibilidad al 20% de la PIM y se aumentó el tiempo de la sesión a 10 minutos. Progresivamente se terminó el protocolo de 6 semanas con un 40% de la PIM inicial durante 30 minutos. Para la intervención se posicionó al paciente en posición Folwer en la cama al tiempo que se controlaban los parámetros cardiorrespiratorios. La PIM aumentó en el grupo de intervención unos 4.02 puntos en comparación con el grupo control en la primera semana, con constante mejoría al llegar a la sexta semana. Se observó que en el grupo de intervención aumentó la PIM con el tiempo, a diferencia del grupo control en el cual la PIM disminuyó con el tiempo. Esta diferencia entre los grupos fue estadísticamente significativa después de 6 semanas de entrenamiento.

Villelabeitia - Jaureguizar et al.²³ realizaron un estudio retrospectivo de pacientes con COVID-19 que fueron abordados mediante entrenamiento de los músculos inspiratorios durante 12 semanas. Se comparó un grupo con COVID-19 sin requerimiento de VMI y otro con la misma infección pero que requerían VMI en UCI. El dispositivo utilizado en este estudio fue el Orygen Dual Valve (Forumed SL, Barcelona, CAT, España., **Figura 5**) el cual permite entrenar tanto los músculos inspiratorios como los músculos espiratorios de forma simultánea. El protocolo realizado fue 2 veces al día en horario de mañana y tarde, 5 días a la semana. Todos los pacientes realizaron 5 series de 10 repeticiones en cada sesión con un descanso de 1 minuto entre series. Las primeras 6 semanas el dispositivo se configuró en 30% de la PIM y PEM, y la segunda 6 semanas se cambió al 40%. Los resultados en el grupo que no requería VMI no mostraron diferencias significativas entre la medición inicial de la PEM (media 101.1±37.1 cmH₂O y 52,9±16.1%) y PIM (82.6±29.3cmH₂O y 85.1±22.0%) y la final (PEM: media 104.5±29.5 cmH₂O y 58.8±17.3% y PIM: media 88.6±32.5cmH₂O y 98.6±35.1%). En el grupo con VMI el

entrenamiento de los músculos respiratorios mostró un aumento de las medias de PIM después de las 12 semanas. (PIM inicial: 55.7±16.0 % vs final 73.2±26,0 %; 60.0±18.3 cmH₂O inicial frente a 79.0±31.2 cmH₂O final). En cambio, la PEM no arrojó resultados significativos (inicial: 47.4±16.6% vs 55.7±16.8% final; Inicial: 97,9±39.8 cmH₂O vs final 113.3±38.3cmH₂O). La comparación entre los grupos de pacientes que requerían VMI y los que no requerían en cuanto a la PIM y la PEM mostró que ambas aumentan con el entrenamiento, pero las diferencias no fueron estadísticamente significativas.



Figura 5 - Orygen Dual Valve Forumed

Movilización temprana.

Dong et al.²⁴ en su investigación observaron cómo influía sobre la debilidad del diafragma un protocolo de movilización temprana basado en 6 niveles: Nivel 0: cambio de decúbito cada 2 hs a pacientes inconscientes e inestables. Nivel 1-2: a los cambios de decúbito se le sumó movilización pasiva de todas las articulaciones, a los pacientes que estaban conscientes se comenzó la sedestación durante al menos 20 minutos, tres veces al día. Nivel 3: se realizaron ejercicios en sedestación al borde de la cama para miembros superiores en pacientes seleccionados. Nivel 4: a las actividades anteriores se le agrega ejercicios de miembros inferiores en sedestación fuera de la cama o bipedestación al borde de la cama. Nivel 5: los pacientes se podían movilizar fuera de la cama activamente. El nivel 0 se aplicó a pacientes no colaboradores, sedados. El nivel 1 a 3 se utilizó en pacientes

intubados endotraquealmente, y los niveles 3 a 5 a los pacientes con traqueotomía. La función diafragmática fue medida mediante ecografía por los parámetros ExD y FED. Se realizó el primer día de VMI y el cuarto día de rehabilitación. Dos grupos fueron evaluados para realizar la comparación, uno recibió rehabilitación temprana y la otra atención habitual, la cual no fue detallada (grupo control). Los resultados mostraron que después de 4 días de rehabilitación temprana la FED aumentó en el grupo de intervención en comparación al grupo control, esto indicaría que la rehabilitación temprana mejora la función diafragmática. La ExD disminuyó en el grupo de intervención después de 4 días de rehabilitación, aunque esta medida no fue estadísticamente significativa. Se analizaron los efectos en cuanto a días de VM y mostraron que se redujeron los días en el grupo experimental en comparación con el grupo control (7,49±2,59 días contra 9,41±5,32 días), al igual que los días de intubación (8,31±2,80 días contra 10,37±5,32 días). En cuanto a los días de UCI se redujeron en el grupo intervención (20,00±12,67 días), en comparación con el grupo control (21,12±13,74 días) pero esta diferencia no fue significativa.

Electroestimulación del diafragma.

Cárdenas FJC et al.²⁵ abordaron en su estudio a pacientes ventilados mecánicamente con debilidad del diafragma a través de la electroestimulación muscular transcutánea (EEMT). Se evaluaron dos grupos, uno al que le aplicaron EEMT y al otro grupo no (grupo control). El que recibió EEMT fue mediante dispositivo de rehabilitación Life-Care de 4 canales, basado en un protocolo de electroestimulación que establece que la estimulación diafragmática se realiza con cuatro electrodos de silicón-carbono de 5 × 5 cm, dos electrodos situados en el tercer espacio intercostal cerca del apéndice xifoides y 2 en el séptimo espacio intercostal en la línea medio axilar, con una duración de 20 minutos cada sesión, otorgando a estos pacientes cuatro sesiones al día (cada seis horas) durante los tres días posteriores a su ingreso al estudio. Se programaron los siguientes parámetros; tipo de corriente:

electro estimulación muscular (EMS), corriente bifásica y sincrónica, frecuencia 30 Hz, ancho de pulso 250 microsegundos, rampa 5 segundos (contracción), trabajo 1:2 (descanso), intensidad a demanda del paciente (contracción palpable y visible), tiempo por sesión: 20 minutos. La evaluación se realizó el primer día de intervención y luego al cuarto día. Se consideró fisiológica la medición del grosor diafragmático de 2 mm±0.02 para este estudio. Los resultados documentaron una media de grosor diafragmático inicial de 1.9 ± 0.52 mm en el grupo intervención y 2.04± 0.43 en el grupo control. Y la medición final mostró medias de grosor diafragmático en el grupo intervención de 2.3 ± 0.55 mm y de 1.7 ± 0.55mm en el grupo control. Lo cual muestra una diferencia significativa a favor del grupo de intervención.

Leite et al.²⁶ compararon la intervención del diafragma y el cuádriceps mediante EEMT en pacientes ventilados mecánicamente. Se dividió la muestra en tres grupos: cuádriceps (GQ), la cual recibió atención convencional que consistía en movilización motora gruesa y terapia respiratoria por 1 vez al día, más 1 sesión de EEMT; el grupo diafragma (GD), que recibió atención convencional 1 vez al día, más 1 sesión de EEMT, y grupo control que solo recibió atención convencional. La terapia de electroestimulación se realizó con un dispositivo Neurodyn MulticorrientesTM (Ibramed, São Paulo, Brasil). Los parámetros de corriente eléctrica fueron diferentes para cada grupo. La aplicación de la EEMT en el diafragma fue utilizando los siguientes parámetros: corriente Aussie, frecuencia de 30Hz, periodo de 1 segundo de contracción muscular, período de disminución de pulso de 1 segundo, y periodo de 20 segundos de pausa; no hubo sincronización entre el estímulo de contracción y la respiración de los pacientes. Se colocaron dos canales con dos electrodos cada uno, ubicados por encima y por debajo de los lados derecho e izquierdo del proceso xifoides dentro del séptimo y octavo espacio intercostal anterior. Se omite la descripción del grupo GQ ya que no incumbe a este estudio. Los resultados mostraron que los días de VM fueron significativamente menores en el grupo control en comparación con los grupos GQ y GD. No hubo

diferencias entre los grupos GQ y GD. La estadía en UCI fue menor en el grupo GQ sin diferencias significativas entre los tres grupos. La estadía hospitalaria disminuyó significativamente a favor del grupo GQ, en comparación con los grupos GD y control. La medición de la PIM inicial y final mostró diferencias en los grupos GQ y GD, y se documentó mayor fuerza muscular respiratoria que el grupo control.

DISCUSIÓN

La VMI tiene por objetivo la oxigenación y el reposo de los músculos respiratorios en pacientes con insuficiencia respiratoria o que se encuentran en estado crítico.^{6,27} Si bien es un procedimiento mayormente necesario, su implementación produce cambios a nivel fibrilar que se reflejan en una disminución en la síntesis de proteínas y un aumento en la degradación de las mismas.²⁸ Estos cambios morfológicos se relacionaron con mayor estrés oxidativo a nivel celular y resultan en una atrofia y pérdida de generación de fuerza por parte de la musculatura respiratoria.⁵

Se observó que la intervención de los músculos inspiratorios mediante dispositivos de umbral o mediante la configuración del trigger del ventilador es factible y seguro para los pacientes, pero la evidencia en cuanto a su beneficio en relación a los días de vinculación a la VMI sigue siendo poco clara, varios estudios analizados mostraron resultados favorables en la disminución de los días de destete^{15,13,20} mientras que otros indicaron no encontrar diferencias significativas.¹⁷⁻¹⁹ Algunos artículos que evaluaron la PIM, indicaron que su aumento influía sobre los días de destete de la VM^{15,20}, mientras que otros¹⁷⁻¹⁹ afirmaron que dicha variable no presentaba impacto sobre el weaning. En cuanto a los días de VM^{13,21} estadía en UCI^{13,21} y días de hospitalización¹³, los estudios analizados mostraron que la rehabilitación de los músculos respiratorios tiene una respuesta positiva en cuanto a disminución de estos outcomes. Sólo un estudio²⁰ no encontró diferencias significativas. De todas maneras, los efectos de estos tratamientos siguen siendo controvertidos.

La VM consta de una fase de predestete y una de destete. La rehabilitación de los músculos inspiratorios podría reducir los días de destete, aunque no tendría efecto en lo que respecta a los días de VM.²⁹

El entrenamiento específico de los músculos inspiratorios puede aumentar la fuerza de éstos, para ello es necesario medirla a través de la presión inspiratoria máxima. No obstante, este aumento no garantizaría el éxito en otros outcomes del paciente en UCI, como son los días de internación, calidad de vida, disminución de mortalidad, entre otros.⁸ La intervención sobre de los músculos inspiratorios aplica una carga al diafragma que es el principal generador de presión negativa y a los músculos accesorios que actúan de forma sinérgica, para aumentar su fuerza y resistencia.³⁰ Se han marcado ciertas contraindicaciones potenciales para el entrenamiento/rehabilitación de la musculatura respiratoria, por ejemplo, pacientes con inestabilidad hemodinámica y mayor requerimiento de drogas vasoactivas, patologías que cursen con alteraciones inestables de la pared torácica, empleo de PEEP altas (mayor a 15 cmH₂O), y pacientes con taquipnea (frecuencia respiratoria mayor a 25 respiraciones por minuto).⁸ En futuros estudios podría medirse cuál es el mejor momento para rehabilitar la musculatura respiratoria. ¿Antes de la movilización o después de ella? Encontramos un estudio que indica que pacientes recién destetados podrían beneficiarse de un programa de rehabilitación de EMI.¹⁶ Ninguna revisión analizó qué prescripción fue más efectiva. Si tres, cuatro o cinco series. Tampoco mencionaron si es más efectivo realizar sesiones una vez al día o dos veces al día. Sabemos que el diafragma y los músculos accesorios de la inspiración son más propensos a la atrofia que la musculatura de las extremidades. Esto podría deberse a que los primeros no dejan de trabajar aun en estado de reposo de la persona. En cambio, los músculos de las extremidades se activan con el movimiento, por tal motivo estarían más adaptados a mayores tiempos de inactividad.

Dong et al.²⁴ abordó la debilidad diafragmática mediante la movilización temprana, en una muestra de 80 pacientes, arrojó resultados alentadores en cuanto a la

disminución de los días de VM y destete. Pero hasta el momento podría ser el único estudio que evalúe cómo afecta la movilización temprana sobre la debilidad diafragmática. Es necesario más estudios que reafirmen estos resultados. Ya está muy estudiado el efecto de la movilización temprana en la musculatura esquelética en general, siendo una buena estrategia de tratamiento, pero futuras investigaciones que aborden la debilidad del diafragma y atrofia de los músculos accesorios mediante movilización temprana serían de gran utilidad para verificar los datos.

La terapia con electroestimulación no mostró resultados satisfactorios en cuanto a disminución de días de VM y estancia en UCI, pero hay que tener en cuenta que fueron comparados con un grupo control que se abordó con atención convencional, y otro grupo al que se le aplicó electroestimulación en cuádriceps.²⁶

Posibles interrogantes para estudios futuros podrían apuntar a investigar cual es el porcentaje de trabajo/carga del diafragma y diferenciarlo de la musculatura accesoria de la inspiración. Otro punto a tener en cuenta sería analizar si estas terapias se pueden aplicar a todos los pacientes.

CONCLUSIÓN

En función al análisis realizado, podemos concluir que la rehabilitación mediante el entrenamiento de los músculos respiratorios podría aumentar la PIM en la mayoría de los pacientes con debilidad de los músculos respiratorios y este efecto podría tener inferencia en los días de destete, por ello es imperioso realizar más estudios que terminen de verificar los demás outcomes de los pacientes en UCI. Con respecto a la rehabilitación mediante movilización temprana, se observó que mejora la debilidad del diafragma, pero solo se analizó un estudio. Por último, no estaría justificada la implementación de electroestimulación muscular ya que en función a días de UCI y VM no se encontraron resultados favorables que respalden su uso en pacientes con debilidad diafragmática.

Por lo anteriormente expuesto podríamos deducir que una buena estrategia de abordaje sería la combinación las terapias de movilización temprana y activa con

entrenamiento de los músculos respiratorios, pero creemos que son necesarias más investigaciones que fundamenten la implementación de estos protocolos de tratamiento ya que la debilidad de los músculos inspiratorios es una entidad que reviste de especial importancia.

REFERENCIAS

1. Magalhães PAF, Camillo CA, Langer D, Andrade LB, Duarte M do CMB, Gosselink R. Weaning failure and respiratory muscle function: What has been done and what can be improved? *Respir Med.* 2018;134: 54-61.
2. Bissett B, Leditschke IA, Green M, Marzano V, Collins S, Van Haren F. Inspiratory muscle training for intensive care patients: A multidisciplinary practical guide for clinicians. *Aust Crit Care.* 2019;32(3): 249-55.
3. Elkins M, Dentice R. Inspiratory muscle training facilitates weaning from mechanical ventilation among patients in the intensive care unit: a systematic review. *J Physiother.* julio de 2015;61(3):125-34.
4. Hoffman M, Van Hollebeke M, Clerckx B, Muller J, Louvaris Z, Gosselink R, et al. Can inspiratory muscle training improve weaning outcomes in difficult to wean patients? A protocol for a randomised controlled trial (IMweanT study). *BMJ Open.* junio de 2018;8(6):e021091.
5. Daniel Martin A, Smith BK, Gabrielli A. Mechanical ventilation, diaphragm weakness and weaning: A rehabilitation perspective. *Respir Physiol Neurobiol.* noviembre de 2013;189(2):377-83.
6. Tocalini P, Vicente A, Carballo JM, Garegnani LI. Disfunción diafragmática asociada a la ventilación mecánica invasiva en pacientes adultos críticamente enfermos. *Rev Fac Cienc Médicas Córdoba.* 28 de junio de 2021;78(2):197-206.
7. Laghi FA, Saad M, Shaikh H. Ultrasound and non-ultrasound imaging techniques in the assessment of diaphragmatic dysfunction. *BMC Pulm Med.* diciembre de 2021;21(1):85.
8. Bissett B, Gosselink R, van Haren FMP. Respiratory Muscle Rehabilitation in Patients with Prolonged Mechanical Ventilation: A Targeted Approach. *Crit Care.* diciembre de 2020;24(1):103.
9. Goligher EC, Dres M, Fan E, Rubenfeld GD, Scales DC, Herridge MS, et al. Mechanical Ventilation-induced Diaphragm Atrophy Strongly Impacts Clinical Outcomes. *Am J Respir Crit Care Med.* 15 de enero de 2018;197(2):204-13.

10. Dres M, Goligher EC, Dubé BP, Morawiec E, Dangers L, Reuter D, et al. Diaphragm function and weaning from mechanical ventilation: an ultrasound and phrenic nerve stimulation clinical study. *Ann Intensive Care*. diciembre de 2018;8(1):53.
11. Vorona S, Sabatini U, Al-Maqbali S, Bertoni M, Dres M, Bissett B, et al. Inspiratory Muscle Rehabilitation in Critically Ill Adults. A Systematic Review and Meta-Analysis. *Ann Am Thorac Soc*. junio de 2018;15(6):735-44.
12. Dot I, Pérez-Teran P, Samper MA, Masclans JR. Disfunción diafragmática: una realidad en el paciente ventilado mecánicamente. *Arch Bronconeumol*. marzo de 2017;53(3):150-6.
13. Elbouhy MS, AbdelHalim HA, Hashem AMA. Effect of respiratory muscles training in weaning of mechanically ventilated COPD patients. *Egypt J Chest Dis Tuberc*. julio de 2014;63(3):679-87.
14. Liu YY, Li LF. Ventilator-induced diaphragm dysfunction in critical illness. *Exp Biol Med*. diciembre de 2018;243(17-18):1331-9.
15. Martin AD, Smith BK, Davenport PD, Harman E, Gonzalez-Rothi RJ, Baz M, et al. Inspiratory muscle strength training improves weaning outcome in failure to wean patients: a randomized trial. *Crit Care*. 2011;15(2):R84.
16. Bissett BM, Leditschke IA, Neeman T, Green M, Marzano V, Erwin K, et al. Does mechanical threshold inspiratory muscle training promote recovery and improve outcomes in patients who are ventilator-dependent in the intensive care unit? The IMPROVE randomised trial. *Aust Crit Care*. agosto de 2022;S1036731422000923.
17. Sandoval Moreno LM, Casas Quiroga IC, Wilches Luna EC, García AF. Eficacia del entrenamiento muscular respiratorio en el destete de la ventilación mecánica en pacientes con ventilación mecánica por 48 o más horas: un ensayo clínico controlado. *Med Intensiva*. marzo de 2019;43(2):79-89.
18. Condessa RL, Brauner JS, Saul AL, Baptista M, Silva ACT, Vieira SRR. Inspiratory muscle training did not accelerate weaning from mechanical ventilation but did improve tidal volume and maximal respiratory pressures: a randomised trial. *J Physiother*. junio de 2013;59(2):101-7.
19. Cader SA, de Vale RGS, Castro JC, Bacelar SC, Biehl C, Gomes MCV, et al. Inspiratory muscle training improves maximal inspiratory pressure and may assist weaning in older intubated patients: a randomised trial. *J Physiother*. 2010;56(3):171-7.
20. Tonella RM, Dos Santos Roceto Ratti L, Delazari LEB, Junior CF, Da Silva PL, Herran ARDS, et al. Inspiratory Muscle Training in the Intensive Care Unit: A New Perspective. *J Clin Med Res*. 2017;9(11):929-34.
21. Mohamed AR, Basiouny HE. Respuesta de Pacientes con Insuficiencia Respiratoria con Ventilación Mecánica al Entrenamiento de los Músculos Respiratorios.
22. Chang HY, Hsiao HC, Chang HL. Impact of Inspiratory Muscle Training on Weaning Parameters in Prolonged Ventilator-Dependent Patients: A Preliminary Study. *SAGE Open Nurs*. enero de 2022;8:237796082211117.
23. Villelabeitia-Jaureguizar K, Calvo-Lobo C, Rodríguez-Sanz D, Vicente-Campos D, Castro-Portal JA, López-Cañadas M, et al. Low Intensity Respiratory Muscle Training in COVID-19 Patients after Invasive Mechanical Ventilation: A Retrospective Case-Series Study. *Biomedicines*. 4 de noviembre de 2022;10(11):2807.
24. Dong Z, Liu Y, Gai Y, Meng P, Lin H, Zhao Y, et al. Early rehabilitation relieves diaphragm dysfunction induced by prolonged mechanical ventilation: a randomised control study. *BMC Pulm Med*. diciembre de 2021;21(1):106.
25. Cárdenas Favela JC, Godínez García F, Beltrán de la Luz MG, Juárez González CE, Hernández González MA. Terapia de electroestimulación para el tratamiento de la atrofia diafragmática inducida por ventilación mecánica. *Med Crítica*. 2022;36(1):50-4.
26. Leite MA, Osaku EF, Albert J, Costa CRL de M, Garcia AM, Czapiesski F do N, et al. Effects of Neuromuscular Electrical Stimulation of the Quadriceps and Diaphragm in Critically Ill Patients: A Pilot Study. *Crit Care Res Pract*. 8 de julio de 2018;2018:1-8.
27. Díaz MC, Ospina-Tascón GA, Salazar C BC. Disfunción muscular respiratoria: una entidad multicausal en el paciente críticamente enfermo sometido a ventilación mecánica. *Arch Bronconeumol*. febrero de 2014;50(2):73-7.
28. Valenzuela V J, Pinochet U R, Escobar C M, Márquez A JL, Riquelme V R, Cruces R P. Disfunción diafragmática inducida por ventilación mecánica. *Rev Chil Pediatría*. julio de 2014;85(4):491-8.
29. Worrapphan S, Thammata A, Chittawatanarat K, Saokaew S, Kengkla K, Prasannarong M. Effects of Inspiratory Muscle Training and Early Mobilization on Weaning of Mechanical Ventilation: A Systematic Review and Network Meta-analysis. *Arch Phys Med Rehabil*. noviembre de 2020;101(11):2002-14.
30. Nava S, Fasano L. Inspiratory muscle training in difficult to wean patients: work it harder, make it better, do it faster, makes us stronger. *Crit Care*. 2011;15(2):153.

