



RIDUNAJ
Repositorio Institucional
Digital UNAJ



Universidad Nacional
ARTURO JAURETCHE

Tesinas de Grado

Amaya Leandro Emanuel y Bruno Rocio Magali

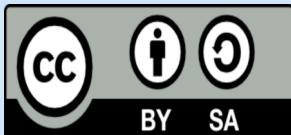
Efectividad del uso de un dispositivo de carga umbral como herramienta terapéutica para mejorar la función respiratoria, en pacientes críticos bajo asistencia ventilatoria mecánica con debilidad diafragmática

2024

Instituto de Ciencias de la Salud

Carrera: Licenciatura en Kinesiología y

Fisiatría



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons.

Atribución – Compartir igual 4.0

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

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

Cita recomendada:

Amaya, L. E. y Bruno, R. M. (2024). *Efectividad del uso de un dispositivo de carga umbral como herramienta terapéutica para mejorar la función respiratoria, en pacientes críticos bajo asistencia ventilatoria mecánica con debilidad diafragmática* [Tesis de Grado, Universidad Nacional Arturo Jauretche].

<https://rid.unaj.edu.ar/handle/123456789/2933>



TESINA

**PRESENTADA PARA ACCEDER AL TÍTULO DE GRADO DE LA CARRERA DE
LICENCIATURA EN KINESIOLOGÍA Y FISIATRÍA**

Título:

“Efectividad del uso de un dispositivo de carga umbral como herramienta terapéutica para mejorar la función respiratoria, en pacientes críticos bajo asistencia ventilatoria mecánica con debilidad diafragmática”

Autor/a:

Amaya Leandro Emanuel - N° Legajo: 27937.

Bruno Rocio Magali - N° Legajo: 39554.

Directora:

Lic. D'Andrea Paola.

Fecha de Presentación:

19/08/2024

Firma de Autor

Agradecimientos

Quiero dedicar unas palabras de agradecimiento a todas aquellas personas que contribuyeron, de una manera u otra, al desarrollo de esta tesina y fundamentalmente me acompañaron brindándome su ayuda y apoyo en los momentos más desafiantes de mi carrera universitaria.

En primer lugar, quiero agradecerle a nuestra tutora, la Licenciada Paola D'Andrea, por su paciencia y apoyo constante, que fue fundamental para la culminación de este trabajo. Sus consejos y orientaciones nos guiaron a lo largo de todo este arduo proceso.

Quiero hacer un agradecimiento especial a mi compañera de tesina y amiga, Rocio Bruno, por ayudarme a realizar y llevar adelante este trabajo con la mayor tranquilidad posible. Gracias por no permitir que me estrese, por respaldar y apoyar cada decisión tomada.

Deseo dedicarle este logro a mi familia y a mi novia. Su amor incondicional, comprensión y apoyo ha sido el pilar fundamental que me sostuvo a lo largo de todo este camino. Ustedes, siempre estuvieron a mi lado, ofreciendo palabras de aliento, sacrificando tiempo y transmitiendo la fuerza necesaria para seguir adelante y nunca bajar los brazos. Gracias por creer en mí y por estar siempre presentes en cada paso de este viaje.

También merecen ser mencionados todos los profesores y profesionales, tanto de la universidad como de cada institución por las cual transité y me formé, quienes con su dedicación y compromiso me proporcionaron los conocimientos y herramientas necesarias para desempeñar esta profesión con mucha dedicación.

Le agradezco a la universidad por permitirme compartir esta hermosa experiencia universitaria con tantos compañeros de estudio y tantos amigos, con los cuales compartí momentos de todo tipo, desde momentos alegres hasta momentos de mucho estrés, pero que sin duda enriquecieron mi experiencia universitaria y han contribuido a mi crecimiento personal.

Finalmente, quiero pedir disculpas por no mencionar, en algunas ocasiones, nombres particulares, quería evitar el riesgo de olvidarme de alguien. A todos ustedes, sepan que estoy profundamente agradecido por su apoyo y contribuciones. Este logro no habría sido posible sin ustedes.

Leandro Emanuel Amaya

Para empezar, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a nuestra tutora, la Lic. Paola D'Andrea, por su disposición y guía en la realización de este trabajo.

A mi compañero y amigo de tesina, Leandro Amaya, quien aceptó recorrer este último tramo conmigo, haciendo de esta experiencia algo memorable. A través de interminables horas de Zoom y risas acá estamos.

Agradezco profundamente a mi familia, que siempre estuvo a mi lado durante este proceso. A mis hermanos y a mi hermana, por sus caras de felicidad cada vez que les contaba que estaba un paso más cerca. Especialmente a mis padres, quienes estuvieron en mi día a día y lo hicieron posible con su apoyo incondicional; sin su esfuerzo, el mío no habría tenido este resultado.

A mi compañero de vida, por brindarme total seguridad antes de cada desafío y por alentarme a seguir adelante, entendiendo que a veces los sueños están en distintas partes del mapa.

A mis amigos/as, que respetaron cada momento de estudio en los que me ausentaba y, aun así, siempre estuvieron ahí para mí. Por escucharme antes de cada examen y por sus expresiones de orgullo cuando les compartía algo nuevo que había aprendido, aunque no siempre entendieran de qué se trataba.

A mis amigos/as de la facultad, por las juntadas de estudio en las que intentábamos sacar lo mejor de cada uno/a, por cada repaso en los pasillos del hospital antes de rendir, donde la espera se hacía interminable. Gracias, porque, como leí alguna vez, te salvan un poco la carrera y un poco la vida.

A los/as profesores/as, por guiarnos, ya que cada uno/a no solo nos transmitió conocimientos, sino también enseñanzas que nos formaron tanto como profesionales como personas.

A la UNAJ, por abrirme las puertas a tan inmensa oportunidad, por ser una segunda casa para los/as estudiantes y por tener ese enfoque tan humano que destaca a cada uno/a de nosotros.

Gracias a todas las personas que me cruce en este hermoso camino.

Bruno Rocio Magalí

Índice

I. Introducción	1
I.a. Pregunta de investigación	4
II. Objetivos General y Específicos	4
II.a. Objetivo General	4
II.b. Objetivos Específicos	4
III. Justificación de la propuesta	5
IV. Marco teórico	6
IV.a. Ventilación mecánica invasiva (VMI) en el paciente crítico	6
IV.a.I. Proceso de destete de la VMI	6
IV.a.II. Riesgos y complicaciones de la VMI	7
IV.b. Debilidad diafragmática en el paciente crítico	8
IV.b.I. Causas de la debilidad diafragmática en el paciente crítico bajo VMI	9
IV.b.II. Métodos de evaluación y/o diagnóstico de la debilidad diafragmática en pacientes ventilados	12
IV.c. Entrenamiento de la musculatura inspiratoria (IMT)	15
IV.c.I. Conceptos fundamentales del IMT, tipos y dispositivos utilizados	17
IV.c.II. Dispositivo de carga umbral o umbral de presión	19
IV.c.III. Criterios para la aplicación, indicación y contraindicación del IMT	20
V. Métodos	22
V.a. Fuentes de información y estrategia de búsqueda	22
V.b. Criterios de elegibilidad	24
V.c. Proceso de selección de los estudios	24
V.d. Evaluación del riesgo de sesgo	25
V.e. Reporte de variables de resultados	25
VI. Resultados de la búsqueda	25
VII. Contexto de análisis	26
VII.a. Resultados sobre la PIMax	32
VII.b. Resultados sobre el éxito del destete	34
VII.c. Resultados sobre días de VM	35
VII.d. Resultados sobre la ecografía o ultrasonografía diafragmática	37
VIII. Conclusiones	37
IX. Referencias bibliográficas	39

I. Introducción

En el ámbito de la salud, el manejo integral del paciente crítico es una cuestión de suma importancia y un gran desafío. Los pacientes críticos, que a menudo presentan condiciones médicas graves y potencialmente mortales, requieren cuidados intensivos y un enfoque multidisciplinario para garantizar su supervivencia y recuperación.

La ventilación mecánica invasiva (VMI), también conocida como soporte ventilatorio, es una intervención crucial que busca asegurar un adecuado intercambio de gases en pacientes críticamente enfermos que enfrentan una falla respiratoria. Esta técnica es esencial para aquellos pacientes que no pueden respirar de manera autónoma y se utiliza en diversas situaciones, como la anestesia general a corto o largo plazo, insuficiencia respiratoria, enfermedades graves y exacerbaciones agudas de trastornos pulmonares, entre otras.(1,2)

Es necesario retirar el soporte ventilatorio de manera temprana utilizando una estrategia planificada llamada destete ventilatorio. Esta estrategia implica disminuir gradualmente la asistencia ventilatoria mientras el paciente va recuperando su capacidad para respirar de forma independiente. Este proceso culmina con la retirada del tubo endotraqueal, el cual se conoce como el momento de la extubación, o la cánula de traqueostomía, lo que se llama decanulación, según sea el caso.(3)

Indudablemente, la VMI proporciona un valioso apoyo a los pacientes que enfrentan casos severos de insuficiencia respiratoria aguda. Sin embargo, al mismo tiempo, conlleva efectos secundarios no deseados.(4)

Es ampliamente reconocido que muchos pacientes que son atendidos en Unidades de Cuidados Intensivos (UCI) experimentan debilidad muscular en las extremidades como parte de su condición. Además, se ha comprobado que estos pacientes pueden sufrir disfunción adquirida y atrofia del diafragma.(1)

El diafragma es uno de los músculos fundamentales en el cuerpo humano y desempeña un papel esencial en la función respiratoria a lo largo de toda la vida. Al igual que otros músculos, se contrae, se acorta y se engrosa, generando así una presión en la cavidad torácica que posibilita la ventilación alveolar, objetivo último del proceso de respiración.(4,5)

Es el responsable de la ejecución del 30-90% del trabajo respiratorio, convirtiéndose de esta manera en el principal músculo en desempeñar dicha función. El efecto de la enfermedad crítica sobre la función de la musculatura respiratoria es comúnmente consecuencia de un fenómeno generalizado conocido como “debilidad adquirida en la UCI”.(6)

Se ha encontrado, en una población no seleccionada de pacientes ventilados mecánicamente, considerados listos para realizar una prueba de respiración espontánea, que la prevalencia de la disfunción del diafragma era el doble que la prevalencia de la debilidad de las extremidades.(1)

Factores tales como la inflamación sistémica, efectos farmacológicos (sobre todo glucocorticoides y bloqueantes neuromusculares), hiperglucemia, malnutrición y la inmovilidad han sido identificados en la patogénesis de esta entidad.(2,6,7) En relación a este último, varios estudios han indicado que la utilización de la VMI en modos controlados puede ser un factor que contribuye al fracaso en el proceso de destete y extubación. Esto se debe a que esta forma de asistencia respiratoria puede provocar cambios en el músculo diafragma, tanto a nivel estructural (atrofia y daño muscular) como funcional (incluyendo una disminución en la fuerza y resistencia a la fatiga), debido al desuso del músculo.(2,3)

La elevada frecuencia de debilidad del diafragma en pacientes de UCI, tanto en las fases iniciales como avanzadas de la enfermedad crítica, puede atribuirse a la amplia variedad de mecanismos y factores que pueden causar esta afección. La atrofia muscular inducida por la falta de actividad se manifiesta en una reducción en el diámetro de las fibras musculares y una disminución en el contenido de proteínas musculares, lo que tiene repercusiones significativas en la capacidad de generar fuerza, realizar movimientos y mantener la resistencia del diafragma. En esencia, la debilidad del diafragma se define como la incapacidad de este músculo para alcanzar los niveles normales de fuerza máxima.(8)

Se ha arrojado información sobre este fenómeno, revelando que la atrofia del diafragma durante la VMI comienza de manera temprana, incluso antes de que se desarrolle la atrofia en la musculatura periférica, que también se encuentra inactiva. En este contexto, la atrofia del diafragma se manifiesta en las primeras 12 a 24 horas, y estos cambios son similares a los observados en el músculo sóleo después de 96 horas de VMI.(2)

Para la evaluación y/o diagnóstico de esta entidad se combinan diferentes herramientas, debido a que no existe relación entre la exploración física con el grado de severidad. Entre ellas se encuentran: Presión transdiafragmática por estimulación magnética del nervio frénico (PdiEM, considerado el gold standard), Presión transdiafragmática y esofágica (Pdi), Presión de oclusión de la vía aérea (P0.1), Presión inspiratoria máxima (PIMax), electromiografía diafragmática y la ecografía o ultrasonografía.(2,5,7,8)

Si bien el gold standard para la evaluación de la función diafragmática consiste en medir la presión que este genera por estimulación del nervio frénico, esta forma de monitorización es costosa e invasiva.(9) Por este motivo, pueden utilizarse otras de las herramientas

mencionadas que están validadas, tienen aplicación clínica a la cabecera del paciente y son de fácil reproducibilidad.

La PIMax se refiere a la presión máxima que se genera cuando una persona realiza un esfuerzo para inhalar desde su capacidad pulmonar residual. Este valor se utiliza para evaluar la fuerza de los músculos respiratorios, principalmente la fuerza diafragmática. En condiciones normales, se espera que este valor sea mayor a -100 cmH₂O. Para considerar la funcionalidad diafragmática se usa un umbral de presión entre -20 y -30 cmH₂O.(2)

Los estudios han demostrado precisión objetiva y reproducibilidad de los ultrasonidos en la valoración de la función diafragmática, tanto en voluntarios sanos como en pacientes críticos. Los parámetros más evaluados por este método son el grosor del músculo diafragma, como signo de atrofia (normal en pacientes ventilados es de 2.4 ± 0.8 mm, se indica atrofia en valores por debajo de 2 mm); la fracción de engrosamiento (TFdi, es 0-5% en pacientes bajo bloqueo neuromuscular y oscila entre el 20% y el 50% en pacientes que respiran espontáneamente después de la extubación). Una variación menor de 20% podría ser considerada como un dato indirecto de disfunción diafragmática; y el estudio de la movilidad o excursión diafragmática, marcador que predice el éxito y el fracaso de la extubación con sensibilidad y especificidad razonables (valores normales en pacientes no ventilados sanos son diferentes para hombres y mujeres 18 ± 3 y 16 ± 3 mm respectivamente). Se define disfunción diafragmática como una excursión menor de 10 mm, una excursión negativa o movimiento paradójico.(2,5,8)

Aunque el ejercicio aeróbico ofrece varios beneficios para la salud en términos de la circulación sanguínea, la función neurológica y musculoesquelética en pacientes críticos, se ha notado que no tiene un efecto significativo en la musculatura respiratoria. Por lo tanto, se vuelve necesario adoptar estrategias adicionales específicas para fortalecer estos músculos y así garantizar un tratamiento integral y completo.(9)

Para realizar el entrenamiento de la musculatura inspiratoria (IMT) se han descrito distintos mecanismos según las capacidades que deseemos potenciar, las cuales se pueden ejercitar por medio de diferentes dispositivos. Estas intervenciones pueden llevarse a cabo mediante dispositivos de carga resistiva, de hiperpnea isocápnica voluntaria y dispositivos de umbral. Dentro de este último grupo, se encuentran diferentes modalidades, entre ellas realizar ajustes de los parámetros del ventilador (sensibilidad del trigger ventilatorio o presión soporte) y dispositivos externos que pueden graduarse en un rango determinado de cmH₂O.(9,10)

En relación a la liberación de la VMI, alrededor del 44% de los pacientes que presentan debilidad diafragmática logran un destete exitoso, no obstante, su pronóstico es desfavorable

en comparación con los que no la presentan incrementando la estancia hospitalaria, el riesgo de reingreso hasta 6 semanas post alta y con ello un aumento de los costos del sistema sanitario.

Por los motivos mencionados en el párrafo anterior y en base a nuestra propia experiencia, la cual hemos adquirido a lo largo de las prácticas universitarias desarrolladas en el ámbito hospitalario, específicamente en el área de atención de pacientes críticos que requieren cuidados intensivos, observamos que el dispositivo de carga umbral no es muy utilizado como una herramienta que fortalezca la musculatura inspiratoria del paciente que se encuentra con debilidad de la misma, puntualmente del diafragma. Por ello, nos hemos planteado la siguiente pregunta de investigación con los objetivos correspondientes para llevar a cabo el desarrollo de nuestro trabajo.

I.a. Pregunta de investigación

¿En qué medida el uso de un dispositivo de carga umbral, en pacientes adultos críticos bajo asistencia ventilatoria mecánica con debilidad diafragmática, mejora la función respiratoria/diafragmática y qué impacto tiene sobre los resultados clínicos?

II. Objetivos General y Específicos

II.a. Objetivo General

-Analizar los hallazgos bibliográficos de la utilidad del dispositivo de carga umbral en pacientes adultos críticos con asistencia respiratoria mecánica y debilidad diafragmática.

II.b. Objetivos Específicos

-Describir cómo repercute el uso del dispositivo de carga umbral sobre la función respiratoria/diafragmática, teniendo en cuenta los parámetros de P_{Imax} y ultrasonografía.

-Identificar qué impacto tiene su uso sobre resultados clínicos como el tiempo de duración de la VMI y el éxito del destete.

-Analizar si se presentan diferencias en los resultados de las variables dependiendo si el paciente presenta un tubo endotraqueal o una cánula de traqueostomía.

III. Justificación de la propuesta

En el desarrollo de esta investigación se propone ampliar el conocimiento del dispositivo de carga umbral en el campo de UCI, a través de la descripción de su utilidad sobre los pacientes adultos críticos bajo VMI con debilidad diafragmática, como una herramienta complementaria para el ejercicio de la Kinesiología en rehabilitación respiratoria.

Implementar dicha práctica como estrategia de intervención podría marcar una diferencia significativa en la vida de los pacientes críticos, siendo beneficiosa a la hora del destete y su éxito, lo cual significaría una disminución en los días de internación y con ello un impacto positivo en los gastos sanitarios correspondientes. Finalmente, el uso de un dispositivo de carga umbral puede tener un resultado favorable a largo plazo en la calidad de vida, con una disminución del grado de disnea de los pacientes después de su paso por la UCI.

Se señala una asociación entre la debilidad del diafragma en el paciente crítico y el fallo en el destete. Esto provoca un aumento de la mortalidad por prolongar la estancia hospitalaria y con ello un mayor riesgo de sufrir diversas infecciones y complicaciones asociadas. Las tasas de neumonía son significativamente más altas en pacientes de la UCI que en salas de hospital. Los pacientes con VMI enfrentan de 3 a 10 veces más riesgo de neumonía. La mortalidad por neumonía asociada a la ventilación mecánica (NAVIM) varía del 24% al 50%, siendo estos valores aún más elevados cuando está causada por patógenos de alto riesgo.(2,3)

Indudablemente esta problemática va a repercutir negativamente, incrementando los costos de salud. Aunque los pacientes que requieren VMI prolongada constituyen únicamente el 6% de todos los pacientes con VMI, su cuidado consume aproximadamente el 37% de los recursos en la UCI. En cuanto al reingreso a la UCI, este se ve incrementado en los pacientes con debilidad diafragmática hasta 6 semanas post alta en comparación con los que no la presentan. Finalmente, si el paciente logra atravesar dicho escenario, va a influir en sus capacidades, tanto a mediano como a largo plazo.(2,3,9)

Se propone que el IMT junto con estrategias de prevención en cuanto a patologías secundarias, tienen como objetivo enfocarse en la mejora de las capacidades residuales, la calidad de vida, la tolerancia al ejercicio y con ello en la posible discapacidad de los pacientes.(9)

IV. Marco teórico

IV.a. Ventilación mecánica invasiva (VMI) en el paciente crítico

La VMI representa una técnica primordial de soporte ventilatorio, siendo aplicada de manera rutinaria en distintos escenarios clínicos, que abarcan desde entornos quirúrgicos programados hasta situaciones críticas de disfunción orgánica aguda, entre otras condiciones. Esta intervención requiere de la inserción de un dispositivo (tubo endotraqueal o traqueostomía) en las vías respiratorias del paciente. Es una intervención crucial que busca asegurar un adecuado intercambio de gases en pacientes críticamente enfermos que enfrentan una falla respiratoria. Esta técnica es esencial para aquellos pacientes que no pueden respirar de manera autónoma.(1,2,11) Las principales indicaciones de la VMI abarcan: la protección de las vías respiratorias en pacientes con disminución del nivel de conciencia debido a situaciones como traumatismos craneoencefálicos (TEC), accidentes cerebrovasculares (ACV), sobredosis o durante procedimientos anestésicos. Además, puede emplearse para tratar enfermedades respiratorias que resultan en insuficiencia respiratoria con niveles altos de dióxido de carbono (CO₂), problemas relacionados con la pared torácica o los músculos respiratorios, así como también para abordar la hipoxemia asociada con insuficiencia respiratoria o insuficiencia circulatoria.

Los ventiladores modernos constan principalmente de una unidad de control, un monitor y paneles de alarma/advertencia, y operan mayormente bajo un sistema de control de circuito cerrado, proporcionando asistencia respiratoria al generar un flujo de gas de presión positiva en los pulmones del paciente durante la fase inspiratoria, posibilitando así una respiración pasiva. Como se mencionó anteriormente, los objetivos principales de la VM se centran en proporcionar apoyo fisiológico y minimizar posibles daños. Como muchas intervenciones críticas, es de apoyo pero no soluciona el proceso subyacente que justifica su uso.(12,13)

IV.a.I. Proceso de destete de la VMI

Determinar cuándo se puede separar a un paciente del ventilador mientras se encuentra sometido a VMI es un desafío. Aunque la VMI es un tratamiento de apoyo imprescindible, es necesario retirar el soporte ventilatorio de manera temprana utilizando una estrategia planificada llamada “destete ventilatorio”. Esta estrategia implica disminuir gradualmente la asistencia ventilatoria mientras el paciente va recuperando su capacidad para respirar de

forma independiente. Este proceso culmina con la retirada del tubo endotraqueal, el cual se conoce como el momento de la extubación, o la cánula de traqueostomía, lo que se llama decanulación, según sea el caso. El objetivo principal es lograr una liberación segura y efectiva. Por lo general, el período de destete constituye aproximadamente el 40-50% de la duración total de la VM. Sin embargo, algunos pacientes no logran superarlo, lo que resulta en una prolongación de la hospitalización, mayores costos en atención médica y un aumento en la mortalidad.

Se han establecido pautas generales para evaluar de manera sistemática la capacidad de los pacientes para respirar de manera autónoma, sin importar la configuración del ventilador. Se ha determinado que es crucial reducir la duración del soporte ventilatorio, ya que períodos prolongados de VMI y destete están vinculados a una menor tasa de supervivencia. Estrategias razonables para acortar el período de destete incluyen minimizar el uso de fármacos sedantes y bloqueadores neuromusculares para prevenir la debilidad muscular, realizar un cambio temprano en el modo de ventilación, pasando de presión positiva a una respiración espontánea impulsada por la contracción de los músculos respiratorios y emplear protocolos de destete, e incluso considerar el destete automatizado.(3,11,14,15)

IV.a.II. Riesgos y complicaciones de la VMI

La VMI proporciona un valioso apoyo a pacientes en situación crítica, frecuentemente siendo determinante para la preservación de sus vidas. No obstante, se ha visto que la intubación endotraqueal y el propio tubo están implicados en un gran número de complicaciones.

El aporte de VMI conlleva el uso de sedación, esta es en sí misma un factor que prolonga la duración de la asistencia ventilatoria. En las fases iniciales de la VMI, la gestión de la sedación a menudo requiere alcanzar la parálisis, especialmente en pacientes con shock o SDRA, así como en aquellos que enfrentan dificultades en la sincronización con el soporte ventilatorio. El metabolismo prolongado de los agentes sedantes puede extender de manera indebida la duración de la VMI, lo que se relaciona con la necesidad de monitorear la musculatura respiratoria por la falta de uso y su repercusión en la atrofia del diafragma, como también puede ocasionar otros daños tanto a corto como a largo plazo. Se ha analizado el impacto de la profundidad de la sedación en el pronóstico de la VM que a menudo se llevaban a cabo en las primeras 48-96 horas. Varios estudios indican que los pacientes sometidos a una sedación más profunda presentaron mayores tasas de mortalidad, una prolongación de la duración de la VM y un aumento en la estancia en la UCI. Por ello, guías

recientes recomiendan el uso de protocolos que limitan la sedación, con sus respectivas ventanas, progresando hasta retirarla, para evitar un estado de sedación profunda y minimizar riesgos.(4,11,13,16)

Es ampliamente reconocido que muchos pacientes que son atendidos en la UCI experimentan debilidad muscular en las extremidades como parte de su condición. Además, se ha comprobado que estos pacientes pueden sufrir disfunción adquirida y/o atrofia del diafragma.(1)

Diversas investigaciones que analizan biopsias del diafragma han evidenciado que las alteraciones en su estructura se manifiestan precozmente después de la intubación. La disfunción de los músculos respiratorios presenta una incidencia al menos dos veces mayor que la debilidad de los músculos de las extremidades al momento de la desconexión de la VMI, teniendo un impacto significativo en el proceso de destete.(1,2,11)

IV.b. Debilidad diafragmática en el paciente crítico

Como se mencionó en párrafos anteriores, la VMI conlleva efectos adversos no deseados. Uno de estos efectos es el fuerte impacto que genera sobre el músculo diafragma, generando su atrofia y disfunción.(2,4)

En este tipo de pacientes, es probable que múltiples factores actúen simultáneamente contribuyendo a la alta prevalencia de debilidad del diafragma en la UCI.(2,5,6,8,17)

Esta entidad toma una gran relevancia ya que se ha observado que su atrofia y disfunción están asociadas a un mayor tiempo de VM, un proceso prolongado y desafiante de destete, complicaciones como reintubación y traqueostomía, un mayor riesgo de desarrollar NAVM, prolongar su estadía hospitalaria y en consecuencia aumentar los costos de atención, y alarmantemente, un aumento en la mortalidad.(2,4,8,9,17)

Lo cierto es que la debilidad diafragmática asociada a una enfermedad crítica ocurre reiteradas veces y suele estar infradiagnosticada, estimándose una prevalencia entre el 60% y el 80%.(18) Para ser más precisos, un estudio sugiere que durante el primer día después de la intubación (24 hs posteriores), alrededor del 64% de los pacientes experimentan debilidad en el diafragma. Se estima que, durante el proceso de destete, entre un 63% y un 80% de los pacientes pueden presentar debilidad en dicho músculo y que cerca del 80% de los pacientes que necesitan VM prolongada muestran debilidad en el diafragma.(8)

Sin embargo, otro estudio menciona que la disfunción del diafragma es una condición frecuente entre pacientes críticamente enfermos, afectando aproximadamente al 25-28% de aquellos ingresados en UCI.(2)

Esta diferencia en porcentajes puede deberse a diferentes motivos, como por ejemplo el método o herramienta de evaluación del diafragma, el punto de corte establecido para decretar el diagnóstico, la variabilidad en las poblaciones estudiadas o el estado del paciente a la hora del ingreso a la UCI.(19) Sin embargo, ya sea que dicha debilidad esté presente al ingreso o sea desarrollada en etapas posteriores, se la considera un marcador de gravedad de la enfermedad y un predictor de mal pronóstico.(8) Se ha visto que cerca del 56% de los pacientes que reciben VM no logran recuperar completamente su capacidad respiratoria de manera autónoma. A pesar de que aproximadamente el 44% de los pacientes ventilados que presentan debilidad de la musculatura respiratoria se liberan de manera exitosa del soporte ventilatorio, su pronóstico es peor que el de aquellos que no la presentan, ya que aumenta el riesgo de reingreso hospitalario hasta seis semanas después del alta.(9)

El diafragma, junto con el miocardio, son músculos cuya actividad no debe detenerse, ya que incluso un reposo parcial puede acarrear consecuencias significativas. La expresión de proteínas, enzimas y otras estructuras del tejido muscular depende de la actividad contráctil requerida. La VM, junto con otras intervenciones, tienden a inhibir la activación natural de los músculos inspiratorios, provocando remodelación de las fibras musculares con una disminución en la expresión proteica del mismo. Se ha observado que la inflamación y el estrés oxidativo son los principales factores que contribuyen a esta disfunción.(4,6,9,15) Esto genera una reducción en la capacidad del diafragma para generar fuerza, movimiento y resistencia a la fatiga.(1,6,9)

IV.b.I. Causas de la debilidad diafragmática en el paciente crítico bajo VMI

Se han identificado diversos factores de riesgo para la debilidad del diafragma asociada a enfermedades críticas, tanto en etapas tempranas como posteriores de la enfermedad. La amplia variedad de posibles mecanismos de lesión probablemente contribuye a su alta prevalencia en la UCI.(2,5,6,8,17)

Estudios han revelado que factores tales como la severidad y características de la enfermedad aguda (por ejemplo, sepsis o anomalías metabólicas), las intervenciones adoptadas por el personal de salud (como el uso de corticoides y el bloqueo neuromuscular) y la interacción

entre el paciente y el ventilador mecánico (como la asincronía paciente-ventilador) desempeñan un papel crucial en el desarrollo de esta entidad.(4,5,8)

La sepsis es uno de los diagnósticos más frecuentes en pacientes de la UCI sometidos a VM y se ha asociado de manera sólida con un mayor grado de disfunción diafragmática. Esta complicación de la enfermedad crítica puede afectar tanto la fuerza del diafragma a través de la inflamación sistémica, como la masa o arquitectura del mismo, alterando el suministro de energía muscular y deteriorando directamente sus proteínas contráctiles. La inflamación sistémica también aumentaría la susceptibilidad del diafragma a lesiones relacionadas con la carga, posiblemente al incrementar la fragilidad de la membrana del sarcolema. En la UCI, los pacientes con sepsis tienen más probabilidades de presentar atrofia del diafragma haciéndose presente en más de la mitad de quienes están ventilados mecánicamente. La evidencia reciente sugiere que los efectos adversos de la sepsis y la VM sobre la función diafragmática pueden potenciarse mutuamente.(2,8,17)

Los fármacos o medicamentos utilizados en la intervención de estos pacientes en estado crítico también pueden incidir directamente sobre el diafragma. Los sedantes, los corticosteroides y los bloqueadores neuromusculares actúan inhibiendo su capacidad contráctil o promoviendo su desuso.(2,8,17)

Los sedantes pueden causar efectos negativos directos en el diafragma, además de fomentar su desuso. En pacientes sometidos a anestesia para cirugía programada, se ha visto que el propofol provoca una reducción en la capacidad del diafragma para generar presión. En pacientes de la UCI, se ha observado una correlación entre la dosis de propofol y la gravedad de la debilidad del diafragma.(8)

Los corticosteroides han sido relacionados con el desarrollo de miopatía asociada a enfermedades críticas. Estos fármacos pueden impactar la capacidad contráctil de los músculos estriados mediante la supresión de la síntesis de proteínas y la activación de vías de degradación de las mismas. Sin embargo, los efectos de los corticosteroides en el diafragma son difíciles de predecir y pueden variar según el régimen de administración, el tipo específico de corticosteroide y el tipo de fibra muscular. A pesar de ello, es probable que la debilidad del diafragma sea más severa con dosis mayores y una exposición prolongada. En el caso específico de los bloqueantes musculares, aunque son utilizados para ayudar a los pacientes a adaptarse al ventilador, inactivan el diafragma y pueden contribuir al desuso y atrofia subsiguiente. Estudios en modelos animales confirman que el uso de rocuronio exagera la disfunción contráctil del músculo diafragma. Además, existe una preocupación

particular cuando se administran bloqueadores neuromusculares junto con glucocorticoides, ya que podría agravar los efectos.(2,8,17)

En los últimos años ha surgido una pregunta fundamental acerca de si la VM en sí misma juega un papel importante en este proceso. Es evidente que contribuye significativamente a la debilidad diafragmática, ya sea, por atrofia por desuso debido a la inactividad del diafragma o por lesión inducida por carga debido a un soporte ventilatorio inadecuado. La Disfunción Diafragmática Inducida por el Ventilador (VIDD) se refiere a una pérdida de capacidad diafragmática de generación de fuerza específicamente relacionada con el uso de VM.(2,8)

La VM es responsable de inducir cambios estructurales, funcionales y en vías de transducción molecular, desencadenados fundamentalmente por la sobreexpresión de vías patogénicas proteolíticas y estrés oxidativo, siendo el principal estímulo para su desarrollo el tiempo de permanencia con el soporte ventilatorio. Informes sugieren que la VM en VCV, la cual asume completamente el trabajo ventilatorio, podría contribuir al fracaso de la extubación al inducir alteraciones tanto estructurales (atrofia y daño muscular) como funcionales (disminución de la fuerza y resistencia a la fatiga) en el diafragma.(3)

Por otro lado, está claro que una interacción inapropiada entre el paciente y el ventilador puede contribuir también al desarrollo de esta disfunción.(5) La asincronía paciente-ventilador se produce cuando la VM intenta replicar, pero no logra igualar, los patrones respiratorios espontáneos del paciente. Esta situación es común y puede aumentar el esfuerzo respiratorio, causando incomodidad al paciente y disminuyendo la eficacia del soporte ventilatorio.(12)

El término "miotrauma" es utilizado para referirse al daño muscular que ocasiona debilidad diafragmática producto de la asincronía paciente-ventilador. Se reconocen cuatro posibles mecanismos que lo ocasionan, los cuales serán descritos brevemente:

- Miotrauma por sobreasistencia ventilatoria: Ocurre debido a un esfuerzo respiratorio insuficiente, principalmente causado por un soporte ventilatorio excesivo, lo que puede favorecer la atrofia diafragmática por desuso y, en consecuencia, la debilidad muscular. Esta forma de lesión afecta aproximadamente al 50% de los pacientes ventilados y puede mitigarse preservando cierto grado de actividad muscular durante la VM.
- Miotrauma por baja-asistencia ventilatoria: se produce cuando el nivel de asistencia ventilatoria no es suficiente para disminuir el trabajo muscular respiratorio, lo que lleva a un esfuerzo respiratorio excesivo y puede resultar en lesiones diafragmáticas por sobrecarga. La observación de un aumento en el espesor del diafragma en algunos

pacientes ventilados podría reflejar edema y lesión asociados con niveles elevados de esfuerzo respiratorio.

- Miotrauma excéntrico: ocurre cuando hay una activación muscular durante la elongación del músculo, es decir, durante la fase espiratoria en VM. Esta contracción excéntrica puede ser perjudicial, especialmente si ocurre repetidamente, siendo este tipo de lesión más dañino que la carga concéntrica.
- Miotrauma espiratorio: está relacionado con la aplicación de PEEP, y sus efectos derivados. La evidencia preliminar sugiere la posibilidad de que el acortamiento prolongado del diafragma por elevación de la PEEP pueda provocar la caída de las fibras musculares y permitir la atrofia longitudinal, causando cambios en la morfología y función del diafragma.(5,7,18)

IV.b.II. Métodos de evaluación y/o diagnóstico de la debilidad diafragmática en pacientes ventilados

Dada la limitación de la examinación directa del diafragma debido a su disposición anatómica, en la actualidad se cuenta con diversas técnicas para evaluar tanto su función, relacionada con su capacidad de generar fuerza, como su actividad contráctil. La actividad del diafragma y su función principal se relaciona con las fuerzas contráctiles que el músculo genera para mantener una ventilación adecuada en condiciones de carga variable. Esta magnitud de fuerza se refiere a la capacidad máxima de generación de fuerza del músculo, que aunque no puede medirse directamente, si puede evaluarse su capacidad para producir presión. Por ello, su evaluación conlleva consideraciones importantes.(5,8)

Entre las técnicas de evaluación, algunas requieren un esfuerzo inspiratorio máximo, mientras que otras permiten una visualización intermitente de la macroestructura muscular.(5)

A continuación, se presentarán los principales métodos de referencia utilizados para diagnosticar la disfunción diafragmática.

La presión esofágica (Pes) está bien respaldada en la literatura para estimar el esfuerzo inspiratorio y el trabajo respiratorio en pacientes bajo soporte ventilatorio invasivo, pero su implementación sigue siendo poco común, posiblemente debido a la subestimación de la utilidad de la información derivada de la Pes y la necesidad de entrenamiento específico.(5,8)

Esta magnitud puede evaluarse mediante la presión generada durante la contracción del diafragma, ya sea durante los esfuerzos inspiratorios voluntarios máximos o mediante estimulación calibrada no voluntaria del nervio frénico. Se evalúa la fuerza con la medición

de la presión diafragmática inspiratoria generada por la estimulación magnética de los nervios frénicos (Pdi,tw). La principal ventaja de Pdi,tw radica en su capacidad para proporcionar una medida estandarizada de la generación de presión, independientemente del esfuerzo del paciente, lograda mediante la aplicación de bobinas magnéticas en la porción cervical de los nervios frénicos de forma bilateral. Aunque no es totalmente equivalente a Pdi,tw, la presión de contracción generada en la punta exterior del tubo endotraqueal (Pet,tw) puede considerarse como un sustituto que no requiere el uso de balones esofágicos ni gástricos y se utiliza ampliamente en estudios que investigan la fuerza del diafragma. Es importante destacar que es la técnica de referencia y el estándar de oro para investigar la función del diafragma, pero esta técnica es costosa, invasiva y requiere equipos especializados que solo se puede llevar a cabo en centros expertos, lo que explica el creciente interés en utilizar otras estrategias, por ejemplo la ecografía del diafragma, como posibles sustitutos a pie de cama.(4,5,8,9)

La ecografía o ultrasonografía (USG) es una técnica no invasiva, rentable y segura que permite realizar evaluaciones anatómicas y funcionales del diafragma mediante el modo bidimensional para el estudio anatómico. Ésta, proporciona información cualitativa y cuantitativa sobre la función diafragmática, lo que la convierte en una herramienta precisa, reproducible, sin radiación ionizante y altamente útil en la identificación de pacientes con alto riesgo de complicaciones respiratorias en UCI.(5,6,8,20,21)

Dicha herramienta permite medir varios parámetros respiratorios, como la excursión diafragmática, velocidad de contracción, T_i , duración del ciclo respiratorio y grosor del diafragma.(5,6,8)

Por un lado, la amplitud de la excursión diafragmática en individuos sanos tiene un rango promedio de 4.7 a 1.8 ± 0.3 cm para hombres, y de 3.7 a 1.6 ± 0.3 cm para mujeres. Estos valores de excursión fueron identificados en pacientes ventilados que tuvieron éxito en las maniobras de retiro de la VM y la velocidad de contracción diafragmática (expresada en pendiente cm/seg) se ha examinado en individuos sanos, sin encontrar diferencias significativas entre hombres y mujeres con una media de 1.3 ± 0.4 cm/seg.(6)

Por otro lado, durante la contracción del diafragma, este se engrosa, y la variación en su grosor durante la fase inspiratoria se puede expresar como una fracción del grosor basal, conocida como fracción de engrosamiento del diafragma (TFdi). TFdi refleja la actividad muscular durante la respiración habitual y proporciona una estimación de la fuerza del diafragma durante un esfuerzo inspiratorio máximo (TFdi,max). Los valores de TFdi varían ampliamente: son de 0 a 5% en pacientes con bloqueo neuromuscular, entre el 20% y el 50%

en pacientes respirando espontáneamente después de la extubación, y valores inferiores al 30% durante un esfuerzo inspiratorio máximo indican debilidad diafragmática con una alta sensibilidad.(5,8)

El diafragma puede observarse desde dos aproximaciones: subcostal e intercostal, siendo la ventana subcostal especialmente útil para visualizar la excursión, principalmente en el hemidiafragma derecho, donde se ha demostrado una alta confiabilidad inter e intraobservador. La observación de la cinética del diafragma en estas condiciones clínicas es esencial para diagnosticar de manera temprana y oportuna la parálisis o disfunción diafragmática y determinar el momento óptimo para el retiro exitoso de la VM. En cuanto a la medición de la excursión máxima del diafragma específicamente, se habla de un marcador que predice el éxito y el fracaso de la extubación con sensibilidad y especificidad razonables. Sin embargo, este índice solo puede interpretarse durante la respiración no asistida; de lo contrario, el desplazamiento hacia abajo del diafragma puede reflejar la insuflación pasiva del tórax por el ventilador.(5,6,8)

La actividad eléctrica del diafragma se puede evaluar utilizando la electromiografía (EMG). Esta técnica es empleada tanto en investigación como en la práctica clínica para analizar el control y la activación de los músculos respiratorios, tanto en reposo como durante el ejercicio. La EMG permite estimar la potencia motora respiratoria, evaluar el acoplamiento neuromecánico durante la ventilación con resistencia, y medir la eficacia de la contracción muscular cuando se combina con la ventilación. La EMG diafragmática se puede registrar mediante el uso de electrodos de superficie, electrodos adheridos a un catéter esofágico, o electrodos intramusculares de aguja o alambre.(8)

Por último, la PIMax se mide desde el volumen residual y evalúa la fuerza muscular inspiratoria, más específicamente la del diafragma, por lo que es comúnmente utilizada debido a su seguridad, no invasividad y facilidad de aplicación. Aunque puede haber limitaciones, como la falta de cooperación del paciente, numerosos estudios respaldan su utilidad en el diagnóstico y seguimiento de enfermedades pulmonares y cardíacas. La reducción de la PIMax se relaciona con un empeoramiento clínico y es un indicador sensible del éxito del destete ventilatorio, aunque su especificidad puede ser limitada. Es esencial que la evaluación de las presiones respiratorias sea lo más precisa posible para estimar la fuerza muscular respiratoria real. Sin embargo, la fiabilidad de estas mediciones puede disminuir debido a la falta de colaboración del paciente, especialmente en entornos de UCI.(22–24)

Para que el resultado refleje de manera precisa la fuerza, el individuo debe realizar una contracción máxima. Por lo tanto, se suele hacer más de una medición para asumir que el

individuo está ejerciendo un esfuerzo máximo. A pesar de estas limitaciones, se ha propuesto como herramienta útil para tomar decisiones clínicas, como la extubación, interrupción de la VM o retirada de la cánula traqueal, así como para guiar programas de rehabilitación y evaluar su efectividad.(22,25)

Un valor típico se sitúa alrededor de los 100 cm de agua y valores de 80 cm de agua o superiores descartan la presencia de una debilidad muscular inspiratoria significativa.(24)

IV.c. Entrenamiento de la musculatura inspiratoria (IMT)

Cuando hablamos de debilidad de los músculos respiratorios, nos referimos a una disminución en su capacidad contráctil, lo que provoca la incapacidad de generar niveles normales de presión y flujo de aire durante los procesos de inspiración y espiración.(26)

Si bien el ejercicio aeróbico podría tener múltiples beneficios sobre pacientes críticos, su efecto sobre la musculatura respiratoria, teniendo en cuenta que en este tipo de pacientes con frecuencia suele estar afectada, puede ser escaso. Por lo tanto, es fundamental implementar estrategias específicas que tengan el potencial de aumentar la fuerza de estos músculos y lograr un tratamiento integral.(9,26)

En ese sentido, es que en los últimos 15 años ha emergido el IMT como un tratamiento prometedor, para fortalecer de manera específica los músculos inspiratorios, para los pacientes en la UCI.(27)

El IMT es una técnica cuantitativa que se enfoca en fortalecer los músculos responsables de la inspiración mediante la aplicación de una resistencia controlada durante este proceso. Para que el entrenamiento sea efectivo, es esencial que las fibras musculares, como en todos los músculos esqueléticos, sean sobrecargadas, obligándoles a trabajar durante períodos más prolongados, a mayores intensidades o con mayor frecuencia de lo que están acostumbradas. Las adaptaciones resultantes del entrenamiento dependen del tipo de estímulo al que se sometan los músculos: mientras que los entrenamientos de fuerza (alta intensidad y corta duración) mejoran la fuerza muscular, los entrenamientos de resistencia (baja intensidad y larga duración) mejoran la resistencia.(26,28)

El efecto del IMT se produce a través de la adaptación de los músculos inspiratorios para superar la resistencia impuesta, lo que en última instancia mejora tanto la fuerza como la resistencia de estos músculos críticos para la respiración.(28)

En sujetos sanos, se ha visto que la fatiga de la musculatura respiratoria puede afectar su rendimiento físico a consecuencia de la acumulación de metabolitos, como el ácido láctico,

en los músculos respiratorios lo que genera la activación de aferencias nerviosas que desencadenan un aumento del flujo simpático a expensas de una vasoconstricción en las extremidades. En consecuencia, esto aumenta la fatiga muscular en las extremidades durante el ejercicio resultando en una terminación precoz del mismo. Para el beneficio de estos sujetos, el IMT ha demostrado disminuir la aparición de fatiga muscular respiratoria, favoreciendo la tolerancia al ejercicio al reducir los niveles de lactato en sangre durante el mismo y al minimizar la activación del sistema nervioso simpático.(29)

De igual modo, estudios han demostrado que este tipo de intervención puede beneficiar a otro tipo de personas.(28,30,31)

Dada la alta prevalencia de personas con asma y los elevados costos sanitarios asociados, fue crucial encontrar alternativas económicas a la farmacoterapia tradicional, así como terapias complementarias que refuercen las estrategias convencionales de tratamiento para controlar y reducir su gravedad. El IMT ha surgido como una terapia alternativa no farmacológica para mejorar el control del asma y es considerado un complemento de bajo costo, fácil de aplicar y seguro tanto en individuos de mediana edad como ancianos. Los hallazgos sugieren aumentos en la fuerza muscular inspiratoria tras la intervención, lo que puede mediar la mejora de la capacidad funcional y la actividad física en personas con este tipo de patología.(28)

Es bien conocido, que las personas con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) enfrentan limitaciones en su capacidad para hacer ejercicio debido a diversos factores, entre ellos: problemas en la ventilación, dificultad en el intercambio de gases, enfermedades cardiovasculares y anomalías en los músculos periféricos. Además, es frecuente que presenten disfunción en los músculos inspiratorios, lo que se asocia con un mayor grado de disnea y por consiguiente, una disminución en la capacidad para ejercitarse. Como estrategia de rehabilitación pulmonar en este tipo de pacientes, la implementación del IMT es ampliamente aceptada ya que hay evidencia de que optimiza la capacidad pulmonar, mejorando la PIMax y, en consecuencia, mejora el acondicionamiento físico, generando una percepción de bienestar y mejor calidad de vida.(30,31)

Por otro lado, es fundamental resaltar, que en cualquier cirugía importante, ya sea torácica o abdominal, es crucial considerar los riesgos asociados y la prevención de complicaciones pulmonares postoperatorias, ya que estas están estrechamente relacionadas con un aumento de la morbilidad y la mortalidad, así como con una disminución de la calidad de vida. Además, parecen tener un impacto significativo en la duración de la estancia hospitalaria y los costos del tratamiento. El IMT, en este tipo de pacientes, puede ser una estrategia importante ya que se ha visto que su aplicación redujo significativamente el riesgo de

aquellas complicaciones mencionadas junto con la estadía hospitalaria, especialmente en pacientes mayores (de alto riesgo) y en aquellos sometidos a cirugía pulmonar.(32)

Por último, es cierto que muchos pacientes de la UCI, por diversas razones, no pueden ser candidatos para recibir IMT mientras dependen de un ventilador y es posible que solo tengan la capacidad cognitiva suficiente para realizar el entrenamiento una vez que hayan sido liberados de la VM. Se comprobó que durante el periodo postextubación, los pacientes que completan 2 semanas de IMT tienen una mejoría significativa en la fuerza de los músculos respiratorios en relación a aquellos pacientes que no entrenan, lo que se traduce en beneficios sobre la calidad de vida siendo aún más importante que la mejoría en la fuerza en sí.(33)

IV.c.I. Conceptos fundamentales del IMT, tipos y dispositivos utilizados

El IMT se fundamenta en principios esenciales del entrenamiento y requiere una dosificación exacta, guiada por objetivos terapéuticos específicos. La efectividad de los beneficios obtenidos depende directamente de cómo se maneje la relación entre la dosis y la respuesta al tratamiento.(9)

Los músculos responden de manera diferente a diversos tipos de entrenamiento: los ejercicios de alta intensidad y corta duración favorecen el aumento de la fuerza muscular, mientras que los de baja intensidad y larga duración mejoran la resistencia muscular. Es por eso, que en el ámbito del IMT, se han identificado distintos mecanismos de entrenamiento según las capacidades físicas que se desean potenciar, dando lugar a dos tipos principales: uno enfocado en el desarrollo de la fuerza muscular y otro dirigido a aumentar la resistencia. (9,26)

El entrenamiento de fuerza consiste en someter los músculos respiratorios a una carga resistiva. En cambio, el entrenamiento de resistencia se centra en hacer que los músculos respiratorios trabajen a su máxima velocidad de contracción durante largos períodos, empleando únicamente como carga las resistencias y elastancias del sistema respiratorio.(9)

Actualmente, se pueden encontrar en el mercado diversos dispositivos con los cuales se puede obtener un entrenamiento de los músculos respiratorios:

Los dispositivos de entrenamiento de la fuerza someten a una carga externa a la musculatura inspiratoria, similar a levantar un peso para entrenar algún músculo de alguna extremidad, y se dividen en tres categorías según cómo se genere esa carga: dispositivos de umbral de presión, dispositivos de resistencia pasiva al flujo y dispositivos de resistencia ajustada dinámicamente.(26)

Los dispositivos de entrenamiento de resistencia requieren un trabajo a altas velocidades de acortamiento de los músculos inspiratorios durante periodos prolongados de tiempo, en donde la única carga impuesta, como se mencionó en el párrafo anterior, va a estar dada tanto por la resistencia inherente al flujo y por la elasticidad del sistema respiratorio.(26)

Aunque el mecanismo de carga aplicada en los dispositivos de resistencia pasiva al flujo y resistencia ajustada dinámicamente para el entrenamiento de la fuerza es similar, la diferencia radica en que en los primeros la carga de entrenamiento se da por un orificio de diámetro variable (ajustado a través de un dial circular) previamente seleccionado, de manera que, para un flujo dado, mayor será la carga resistiva cuanto más estrecho sea el orificio. Por el contrario, los segundos permiten ajustes continuos y dinámicos de la resistencia al flujo, de modo que, el área superficial del orificio de flujo puede variar dentro de una respiración, dependiendo de la velocidad de flujo respiratorio prevaleciente.(10,26)

Por otro lado, los dispositivos de umbral de presión requieren que los pacientes generen una presión respiratoria suficiente para superar una carga de presión preestablecida por el profesional y, por ende, poder iniciar la inspiración.(10,26,31)

El entrenamiento de resistencia, llevado a cabo por un dispositivo de hiperpnea isocápnica voluntaria, consiste en elevar la ventilación del paciente a un nivel preestablecido aumentando la frecuencia respiratoria hasta 50-60 respiraciones por minuto aproximadamente. Este tipo de ejercicio requiere sesiones prolongadas de hiperpnea de hasta 15-30 minutos, por lo que es un entrenamiento consumidor de tiempo y extremadamente exigente, el cual requiere de un alto compromiso por parte del paciente y un alto grado de motivación para mantener la intensidad prescrita. Para evitar la hipocapnia, el ejercicio se realiza en un circuito isocápnico que mantiene estable el nivel de CO₂.(10,26,31)

En pacientes de la UCI, a diferencia de protocolos de entrenamiento establecidos para otros tipos de pacientes, sería ideal aplicar un enfoque de entrenamiento basado en intervalos de alta intensidad, con tiempos de descanso y recuperación entre series para maximizar la tolerancia, ya que muchos de estos no son capaces de mantener una inspiración resistida durante varios minutos. En la actualidad, la intensidad del IMT se dosifica mediante el cálculo de la PIMax del paciente.(9,27) Los investigadores recomiendan ir aumentando la carga hasta que el paciente tolere solo 6 ventilaciones y realizar 5 series diarias, con descansos de 1-2 min y progresión de 1-2 cmH₂O cada 2 días.(9,27)

Por último, debemos mencionar que en pacientes seleccionados de la UCI, las vías aéreas artificiales no excluyen el IMT, ya que el mismo es factible llevarlo a cabo en pacientes que poseen un tubo endotraqueal o una cánula de traqueostomía.(27)

IV.c.II. Dispositivo de carga umbral o umbral de presión

Se hace referencia a que la carga de umbral de entrenamiento es el método más sencillo para estandarizar y prescribir a pacientes en la UCI.(27)

Estos dispositivos establecen una presión crítica de apertura que debe ser superada antes de que comience el flujo inspiratorio. Durante el ejercicio, los músculos inspiratorios inicialmente realizan una contracción isométrica hasta que la válvula de umbral se abre, permitiendo el flujo de aire y transformando la contracción muscular en isotónica. Esto facilitará tanto el entrenamiento de fuerza como de resistencia.(27)

Al permitir el paso del aire durante la inspiración solo una vez que se alcanza una presión inspiratoria específica, se asegura que la fuerza requerida para entrenar los músculos respiratorios dependa del umbral de presión establecido por la válvula del dispositivo, y no del flujo de aire inspiratorio.(10,27,33)

Así, a diferencia del entrenamiento con carga resistiva, la carga por umbral tiene la ventaja de que la presión inspiratoria es en gran parte independiente de la velocidad del flujo, por ende, los cambios en el patrón respiratorio, que conllevan variaciones en las velocidades del flujo inspiratorio, no afectan la carga inspiratoria impuesta por el dispositivo.(27)

Es así, que a través de este mecanismo, el profesional puede garantizar la reproducibilidad de los esfuerzos del paciente, lo que facilita la titulación precisa de las presiones de IMT para obtener beneficios de fortalecimiento.(27,31)

Hay 2 tipos de dispositivos que son los más respaldados por investigaciones de buen desarrollo y gran calidad:

- En primer lugar, un dispositivo que incluye en su extremo una válvula cerrada por la presión positiva de un resorte que puede ajustarse entre 9 y 41 cmH₂O, permitiendo cambios de resistencia en incrementos de 2 cmH₂O.(26)

Este dispositivo manual tiene una válvula de resorte unidireccional, la cual se cierra durante la inspiración y requiere que el paciente inspire lo suficientemente fuerte para abrirla. De esta manera, el dispositivo permitirá el paso del aire durante la inspiración, solo después de alcanzarse la presión específica preestablecida. La resistencia ejercida sobre los músculos inspiratorios se puede ajustar modificando la tensión del resorte, que a su vez, controla la apertura de la válvula. En conclusión, la válvula de resorte al final del dispositivo solo se abrirá y permitirá la inspiración si el paciente genera la presión negativa específica.(9,10,26,27,31)

Para algunos pacientes muy débiles alcanzar una presión de 9 cmH₂O será difícil. Para otros pacientes su carga máxima de entrenamiento de 41 cmH₂O puede complicar el alcance de niveles adecuados de entrenamiento (efecto techo). Por tal motivo, han surgido estrategias alternativas, con la incorporación de dispositivos electrónicos, que pueden superar estos inconvenientes.(26,27)

- En segundo lugar, el entrenador de músculos inspiratorios equipado con una válvula de respuesta controlada electrónicamente para generar resistencia, ha demostrado su eficacia en estudios previos. Este dispositivo está disponible en varios modelos con configuraciones de carga que varían entre 17-98 cmH₂O, 23-186 cmH₂O, y 29-274 cmH₂O. Este tipo de dispositivo puede ser utilizado, gracias a las altas presiones de entrenamiento que permite alcanzar, tanto en pacientes que presenten una fuerza muscular conservada como paciente presenten debilidad de la musculatura respiratoria.(26)

IV.c.III. Criterios para la aplicación, indicación y contraindicación del IMT

Antes de iniciar un programa de IMT, es esencial realizar una evaluación exhaustiva del paciente. Principalmente, se debe evaluar su estado clínico actual junto con la correcta administración de su terapia farmacológica, la presencia de enfermedades concomitantes, su capacidad funcional y su respuesta al ejercicio. Además es fundamental la motivación del paciente hacia el programa de entrenamiento.(10)

Dado que los pacientes deben participar activamente, es de suma importancia que estén lúcidos y cooperativos, es decir, deben estar suficientemente despiertos para comprender el propósito de la carga intermitente, percibiéndolo como un estímulo de entrenamiento temporal en lugar de un signo de deterioro o una fuente de angustia. Por lo tanto, minimizar la sedación es un componente crucial del enfoque multidisciplinario.(27)

Un reto al incorporar el IMT es coordinarlo con otras intervenciones de rehabilitación. Si los pacientes también realizan ejercicios de cuerpo completo, se recomienda programar el IMT de tal forma que se establezca un tiempo de descanso antes de la siguiente sesión de ejercicio. Si los pacientes están fatigados por el ejercicio de cuerpo completo, quizá no dispongan de la resistencia y la concentración necesarias para un entrenamiento óptimo de IMT.(27)

Para los pacientes que aún requieren de VM pero ya han iniciado ensayos de respiración espontánea (SBT), podría ser preferible programar el IMT durante el periodo de dependencia

del ventilador o al final del SBT, de manera que el paciente pueda volver al ventilador y descansar completamente al término de su entrenamiento.(27)

La evidencia establece que para determinar si el IMT es adecuado para un paciente de la UCI, se deben determinar varios factores para evitar efectos adversos durante o después de las sesiones de entrenamiento.(9,27)

Como criterios de inclusión se tienen en cuenta: PIMax < 60 cmH₂O, paciente alerta y cooperador, sedación mínima, puntuación de 4 o equivalente en la escala Riker Agitation Sedation Score (RASS), FiO₂ < 0.60, FR < 25, paciente capaz de generar un esfuerzo inspiratorio y PEEP < 10 cmH₂O. Los parámetros hemodinámicos (PA y FC) del paciente deben ser estables, ya que el IMT podría provocar cambios transitorios en la presión intratorácica que afectarían el retorno venoso. Además, la FR basal del paciente debe ser estable, menor a la FR indicada, ya que se ha observado que los pacientes tienen dificultades para mantener una FR superior durante la respiración con carga. Dado que el IMT basado en entrenamiento de carga umbral requiere la desconexión del paciente de la VM, es importante que estos no dependan de niveles altos de PEEP, ya que la desconexión del ventilador puede resultar en desreclutamiento y atelectasia. Sin embargo, si se respetan los criterios de inclusión, en pacientes médicamente estables, este tipo de entrenamiento no produce cambios significativos en la SatO₂ o en la FR, lo que sugiere que la atelectasia es una consecuencia poco probable.(9,27)

En el caso de las contraindicaciones se hace referencia a isquemia miocárdica reciente, bradicardia < 40 o taquicardia > 130, presión arterial media < 60 mmHg o > 110 mmHg, PS > 15 cmH₂O, uso de inotropos, SaO₂ < 90%, PaO₂ < 60 mmHg, FiO₂ > 0.6, PEEP > 10 cmH₂O, taquipnea > 40, RASS de -4, -5, 3 o 4 (sedación o delirium), fracturas inestables, presión intracraneal (PIC) > 20 cmH₂O, sospecha de neumotórax, cirugía pulmonar reciente (< 1 año), broncoespasmo severo y temperatura > 38.5 °C. El IMT no sería apropiado para aquellos pacientes que están experimentando un deterioro agudo, sufriendo dolor intenso o disnea severa, o que han pasado a un enfoque de tratamiento paliativo.(9,27)

Por último, de acuerdo con recomendaciones previas sobre la seguridad de las intervenciones de fisioterapia en la UCI, el IMT debe suspenderse si se presenta alguna de las siguientes situaciones: alteración en la presión arterial superior o inferior al 20% del valor en reposo, presión arterial sistólica > 180 mmHg o < 90 mmHg, aparición de arritmias cardíacas, desaturación de oxígeno superior al 10%, presión arterial pulmonar (sistólica) mayor de 60 mmHg, disminución del 30% del VT, presencia de respiración paradójica y agitación que pueda poner en riesgo la desconexión del equipo o las líneas o que requiera un aumento en la

sedación. Sin embargo, datos observacionales han demostrado que estos eventos son extremadamente improbables en pacientes de UCI que cumplen con los criterios de elegibilidad establecidos.(9,27)

V. Métodos

El estudio se llevó a cabo mediante una revisión bibliográfica. Se tuvo en cuenta los ítems establecidos en la lista de verificación diseñada por la declaración PRISMA 2020(34), intentando llevar a cabo una revisión bibliográfica lo más completa, transparente y precisa posible.

V.a. Fuentes de información y estrategia de búsqueda

La búsqueda fué realizada en las bases de datos PubMed, Biblioteca Virtual de Salud (BVS) y PEDro mediante la combinación de palabras claves (términos libres) y descriptores (MeSH/DeCS) según correspondía. En la Tabla N°1 se detallan términos de búsqueda, los cuales se adaptaron para su uso en las correspondientes bases de datos electrónicas seleccionadas.

Tabla N° 1. Términos para la búsqueda en las bases de datos.

N°	Término libre	DeCs	MeSH
#1	UCI	Unidad de Cuidados Intensivos	Intensive Care Units
#2	Respiración artificial	Respiración artificial	Respiration, Artificial
#3	Debilidad muscular	Debilidad muscular	Muscle Weakness
#4	Rehabilitación	Rehabilitación	Rehabilitation
#5	Fisioterapia	Modalidades de Fisioterapia	Physical Therapy Modalities
#6	Músculos respiratorios	Músculos Respiratorios	Respiratory Muscles
#7	Ejercicios respiratorios	Ejercicios Respiratorios	Breathing Exercises

#8	<i>Diaphragmatic weakness</i>		
#9	<i>Mechanical ventilation</i>		
#10	<i>Invasive mechanical ventilation</i>		
#11	<i>Respiratory rehabilitation</i>		
#12	<i>Inspiratory muscle training</i>		

Para realizar la búsqueda en las bases de datos de BVS y PEDro se utilizaron los siguientes términos libres: “*Inspiratory muscle training*” y “*Mechanical ventilation*”. Estos términos libres fueron combinados con el conector “AND”, lo que condujo a la siguiente búsqueda: “*Inspiratory muscle training AND Mechanical ventilation*”. Así mismo, se utilizaron los filtros de “ensayo clínico controlado”, “estudio observacional” y el filtro de tiempo desde el año 2009 hasta el año 2024 en la base de datos de BVS.

La Tabla N°2 proporciona la estrategia que se utilizó para llevar a cabo la búsqueda estructurada en la base de datos de PubMed.

Tabla N°2. Estructura de búsqueda en PubMed

N°	Término	Conector	Término
#1	“Respiration, Artificial”[Mesh]	OR	“ <i>Mechanical ventilation</i> ”
#2	#1	OR	“ <i>Invasive mechanical ventilation</i> ”
#3	“Rehabilitation”[Mesh]	OR	“Physical Therapy Modalities”[Mesh]
#4	#2	AND	#3

#5	“Breathing Exercises”[Mesh]	OR	“Respiratory rehabilitation”
#6	#4	AND	#5
#7	#6	AND	“Inspiratory muscle training”

En cada una de las búsquedas realizadas en PubMed, se aplicó el filtro de tiempo desde el año 2009 hasta el año 2024.

V.b. Criterios de elegibilidad

En cuanto a los criterios de selección e inclusión de los artículos, fueron de interés aquellos artículos que: **a)** se encontraron dentro de un periodo de tiempo que abarcaba entre el año 2009 hasta la actualidad con el fin de acotar resultados, **b)** estudios en los que se realizó un entrenamiento de la musculatura inspiratoria con un dispositivo de carga umbral, **c)** estudios en donde dicha intervención se realizó en pacientes adultos críticos con VM, ya sea a través de un tubo endotraqueal o cánula de traqueostomía, **d)** artículos sugeridos por las bases de datos que cumplieron con los criterios mencionados en los puntos anteriores.

Fueron excluidos: **a)** aquellos estudios en los que se utilizó el dispositivo de carga umbral como método de entrenamiento junto con otra terapia combinada, **b)** artículos en donde este tipo de entrenamiento fue aplicado en pacientes reintubados (independientemente de cuál fuera su causa), **c)** aquellas investigaciones que tenían restringida su lectura o **d)** presentaron textos incompletos o inaccesibles.

V.c. Proceso de selección de los estudios

Los dos autores de este proyecto examinaron de forma independiente los títulos y resúmenes de los estudios seleccionados. Se determinaron qué ensayos eran elegibles para su inclusión en este estudio según los criterios de inclusión y exclusión. Los desacuerdos se resolvieron por consenso mediante discusión con una tercera persona, la directora a cargo.

V.d. Evaluación del riesgo de sesgo

Ambos autores evaluaron de forma independiente la calidad metodológica de todos los estudios incluidos. La calidad de los estudios incluidos fue evaluada utilizando la herramienta de riesgo de sesgo de la Colaboración Cochrane(35). El Manual Cochrane de revisiones sistemáticas sirve de guía a los autores en la preparación de las revisiones. Recomienda una herramienta particular para evaluar los estudios, en donde se considerará que estos tienen un riesgo de sesgo bajo, alto o poco claro de acuerdo con los sesgos relacionados con (1) generación de secuencia aleatoria, (2) ocultamiento de la asignación, (3) cegamiento de los participantes y del personal, (4) cegamiento de la evaluación de resultados, (5) datos de resultados incompletos, (6) informes selectivos y (7) otras fuentes de sesgo. Los resultados de dicha evaluación se exponen en el Cuadro N°1.

V.e. Reporte de variables de resultados

Mediante un cuadro de doble entrada (Cuadro N°2) se detalla información referente a los trabajos seleccionados para su análisis, de los cuales se incluye: **a)** autor/es (año); **b)** tipo de estudio; **c)** cantidad de participantes; **d)** tipo de interfaces de VMI y **e)** Hs/días de VMI antes de la intervención. Además se exhiben los resultados individuales de cada estudio en relación a la variables de interés establecidas.

El proceso de identificación, cribado e inclusión de los artículos es detallado exhibiendo cantidad total de artículos identificados, cantidad de artículos examinados y evaluados para su elegibilidad y cantidad de artículos incluidos para el desarrollo de la tesina. En caso de que se hayan excluido estudios, que aparentemente cumplían con criterios de inclusión, se explica el porqué de su exclusión.

VI. Resultados de la búsqueda

La búsqueda bibliográfica se realizó en las tres bases de datos anteriormente mencionadas: PubMed, PEDro y BVS, lo que resultó en un total de 164 artículos de relevancia identificados inicialmente. La distribución de los artículos encontrados fue la siguiente: 64 artículos en PubMed, de los cuales 63 fueron arrojados por la búsqueda estructurada y 1 fue sugerido; 39 artículos en PEDro y 60 artículos en BVS.

Tras la identificación inicial de 164 artículos, solo 43 artículos fueron considerados y evaluados para determinar su elegibilidad para la inclusión en el análisis final. Finalmente, se

incluyeron 11 artículos para el análisis y desarrollo de la tesina. Todos los artículos seleccionados cumplieron con los criterios de inclusión previamente establecidos y fueron examinados por ambos autores para evaluar cómo el uso de dispositivos de umbral influía en el entrenamiento de la musculatura inspiratoria en pacientes ventilados mecánicamente.

En cuanto a los artículos que fueron revisados y excluidos para el desarrollo de esta tesina se debió a los siguientes motivos: **a)** artículos duplicados entre las bases de datos investigadas; **b)** artículos cuya accesibilidad estaba restringida; **c)** artículos cuya metodología hacía referencia a una revisión sistemática o un metaanálisis; y **d)** artículos que presentaban un protocolo de ensayo.

VII. Contexto de análisis

La revisión bibliográfica llevada a cabo, sobre artículos científicos que hacen uso del dispositivo de umbral para el entrenamiento de la musculatura inspiratoria en pacientes que requieren VM, ha permitido encontrar diversos tipos de estudios que precisamente abordan esta temática. En total, se analizaron 11 estudios, con las siguientes características: 7 ensayos clínicos aleatorizados (ECA) (36–42), 1 ensayo clínico aleatorizado piloto (43), 2 estudios de cohorte observacional (44,45) y 1 estudio de cohorte observacional con una parte intervencional (46).

Estos estudios incluyeron a un total de 706 participantes. En cuanto a las interfases de VMI que utilizaban los participantes, se observó que en 2 estudios (41,45) la investigación fue empleada tanto en pacientes con tubo endotraqueal como traqueostomía, en 6 estudios (36,38–40,42,46) utilizaban únicamente tubo endotraqueal y 3 estudios (37,43,44) se centraron en pacientes con traqueostomía.

Los días de VM previos a la intervención, que los estudios señalaron como criterio de inclusión, también varían. Un estudio (39) especificó al menos 24 horas de VM, cuatro estudios (36,38,40,46) indicaron 48 horas o más, un estudio (45) reportó 5 días o más, dos estudios (41,42) mencionaron 7 días o más y tres estudios (37,43,44) no especificaron la duración.

En cuanto a las variables analizadas, se encontró que ningún estudio utilizó como método de evaluación la ultrasonografía diafragmática. Sin embargo, 10 de los estudios incluidos para el análisis (36–43,45,46) midieron los cambios en la PIMax, 1 estudio (44) mencionó modificaciones en las presiones de entrenamiento, 2 estudios (37,42) evaluaron el éxito del destete de la VM y 8 estudios (36–39,41–43,46) analizaron el tiempo total de la VM.

Se evaluó el riesgo de sesgo de 9 de los estudios incluidos utilizando la herramienta de evaluación recomendada por la Colaboración Cochrane. Los resultados de esta evaluación fueron los siguientes: 1 solo estudio (42) mostró un riesgo de sesgo bajo, lo que indica una alta calidad metodológica y una baja probabilidad de que los resultados se vean afectados por factores externos; 4 estudios (37,38,40,41) mostraron un riesgo de sesgo de bajo a moderado, indicando que aunque estos estudios fueron generalmente bien conducidos, algunos aspectos metodológicos pueden haber introducido cierto grado de sesgo; 3 estudios (36,43,46) fueron clasificados con un riesgo de sesgo de moderado a alto ya que se encontraron varias limitaciones metodológicas que podrían haber influido en la validez de sus resultados; y por último, 1 estudio (39) fue calificado con un riesgo de sesgo alto, lo que sugiere que los resultados deben interpretarse con cautela debido a la probabilidad significativa de sesgo.

Evaluación del riesgo de sesgo									
Autor/es y año	Generación de secuencia aleatoria	Ocultamiento de la asignación	Cegamiento de los participantes y del personal	Cegamiento de la evaluación de resultados	Datos de resultados incompletos	Informes selectivos	Otras fuentes de sesgo	Resultados	
Samaría Ali Cader et al (2010)	Si	Si	No	No específica	No	No	?	Moderado a alto	
	Bajo	Bajo	Alto	Alto	Bajo	Bajo	Poco claro		
A Daniel Martín et al (2011)	Si	Si	Participantes Si Personal No	No	No	No	No	Bajo a moderado	
	Bajo	Bajo	Poco claro	Poco claro	Bajo	Bajo	Bajo		
Robledo L Condessa et al (2013)	Si	Si	No	Si	No	No	No	Bajo a Moderado	
	Poco claro	Bajo	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo		
Shimizu jm et al (2014)	Si	Si	No	No específica	No	No	Si	Moderado a alto	
	Bajo	Poco claro	Alto	Alto	Bajo	Bajo	Alto		
Akanksha Dixit et al (2014)	Si	No específica	No	No específica	Si	No	Si	Alto	
	Poco claro	Alto	Alto	Alto	Alto	Bajo	Alto		
Tonella Rodrigo Marques et al (2017)	Si	Si	No	No específica	No	No	No	Moderado a alto	
	Poco claro	Poco claro	Alto	Alto	Bajo	Bajo	Bajo		
L.M. Sandoval Moreno et al (2018)	Si	Si	No	Si	No	No	?	Bajo a moderado	
	Bajo	Bajo	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Poco claro		
Bernie M. Bissett et al (2023)	Si	Si	No	Si	No	No	?	Bajo a moderado	
	Bajo	Bajo	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Poco claro		
Farnoosh Khodabandeloo et al (2023)	Si	Si	No	Si	No	No	No	Bajo	
	Bajo	Bajo	Poco claro	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo		

Cuadro N° 1.

Autor/es	Año	Tipo de estudio	Cantidad de participantes	Tipo de interese de VMI	Hs/dias de VM antes de la intervención	Resultado de variables		Resultados principales
						Función respiratoria/diafragmática (PIMax/ultrasonografía)	Resultados clínicos (éxito del destete y días de VMI)	
Samaría Ali Cader et al	2010	Ensayo clínico controlado aleatorizado (ECA)	Participantes: 41 IMT: 21 Control:20	Tubo endotraqueal	48 hs o más (criterio de inclusión). No especifica el tiempo promedio de VM.	Grupo IMT: -PIMax pre-intervención: 15.1 cmH2O (DE 2.6) -PIMax post-intervención: 25.0 cmH2O (DE 3.9) Se observó un incremento de la PIMax de 9.9 cmH2O (DE 2.5). Grupo control: -PIMax pre-intervención: 15.3 cmH2O (DE 2.2) -PIMax post-intervención: 17.6 (DE 1.9) Se observó un incremento: 2.3 cmH2O (DE 2.1). Diferencia entre grupos: diferencia: media 7.6 cmH2O. No se utilizó ultrasonografía diafragmática para evaluar los cambios estructurales y funcionales del diafragma.	No se proporciona información específica acerca del éxito del destete. El tiempo de VM entre ambos grupos no mostró grandes diferencias.	La Pimax aumentó significativamente más en el grupo experimental que en el grupo de control (DM 7.6 cmH2O, IC del 95%: 5,8 a 9,4). Un análisis de Kaplan-Meier del tiempo total de intubación no identificó una diferencia significativa entre el grupo experimental y el grupo control (p = 0,72).
A Daniel Martin et al	2011	Ensayo clínico controlado aleatorizado (ECA)	Participantes: 69 IMT: 35 SHAM:34	Traqueostomía	No especifica tiempo de VM como criterio de inclusión. IMT: 41.9 ± 25.5 días SHAM: 47.3 ± 33.0 días (tiempo promedio)	Grupo IMT: -PIMax antes del entrenamiento: 44.4 ± 18.4 cmH2O -PIMax después del entrenamiento: 54.1 ± 17.8 cmH2O Grupo SHAM -PIMax antes del entrenamiento: 43.5 ± 17.8 cmH2O -PIMax después del entrenamiento: 45.1 ± 19.5 cmH2O. Las medidas de PIMax antes y después del entrenamiento para los grupos fue: Grupo éxito en el destete (n = 41): 44.0 ± 20.2 y 53.5 ± 20.7 cmH2O Grupo fracaso en el destete (n = 28): 43.9 ± 14.8 y 43.9 ± 15.0 cmH2O No se utilizó ultrasonografía diafragmática para evaluar los cambios estructurales y funcionales del diafragma.	Grupo IMT -Número de pacientes destetados: 25 de 35 (71%, IC del 95% = 55% a 84%) Grupo SHAM -Número de pacientes destetados: 16 de 34 (47%, IC 95% = 31% a 63%) Grupo IMT Días totales de VM: 57,3 ± 29,5 días Grupo SHAM Días totales de VM: 63,5 ± 34,0 días	Hubo un aumento significativo en el grupo IMT con respecto a la en PIMax (P < 0.0001). IC del 95%: 55% a 84% En el grupo SHAM el cambio de PIMax no fue significativo (P = 0.39). IC del 95%: 31% a 63%. El cambio en la PIMax para el grupo destetado con éxito fue significativamente mayor que para el grupo que no logró el destete (P < 0.0001). La diferencia en las tasas de éxito del destete entre los dos grupos fue estadísticamente significativa (P = 0.039). No hubo un cambio significativo en los días totales de VM entre ambos grupos (P = 0.46)
Bernie Bissett et al	2012	Estudio de cohorte prospectivo.	Participantes: 10	Traqueostomía	No especifica el tiempo de VM como criterio de inclusión. 24,2 días de VM (tiempo promedio).	No menciona cambios en valores de PIMax. Se hace referencia a un incremento en las presiones de entrenamiento (diferencia media 18,6 cmH2O, IC del 95%: 11,8–25,3), siendo consistente con la mejora de la fuerza inspiratoria. No se utilizó ultrasonografía diafragmática para evaluar los cambios estructurales y funcionales del diafragma.	No se menciona específicamente resultados estadísticos en cuanto al éxito del destete. Se menciona que 8 participantes de los 10 incluidos lograron el destete de la VM. No se especifican datos sobre el tiempo total de VM.	Las presiones de entrenamiento aumentaron significativamente.

Robledo L. Condessa et al	2013	Ensayo clínico aleatorizado (ECA)	Participantes: 92 IMT: 45 Control: 47	Tubo endotraqueal	Más de 48 hs (criterio de inclusión) IMT: 165 hs (DE 94) Control: 158 hs (DE 62) La diferencia entre los grupos fue de 7 hs (DE -29 a 43) (Tiempo promedio)	PIMax en el grupo IMT: -Pre-intervención: 34 cmH2O (DE 14) -Post-intervención: 41 cmH2O (DE 12) La PIMax aumentó en una media de 7 cmH2O (DE 12). PIMax en el grupo de control: -Pre-intervención: 38 cmH2O (DE 10) -Post-intervención: 35 cmH2O (DE 10) La PIMax se redujo en una media de 3 cmH2O (DE 11). Diferencia entre los grupos de 10 cmH2O. No se utilizó ultrasonografía diafragmática para evaluar los cambios estructurales y funcionales del diafragma.	No se proporciona información específica acerca del éxito del destete. Grupo IMT: El tiempo promedio de VM fue de 219 hs (DE 97) Grupo de control: El tiempo promedio de VM fue de 220 hs (DE 80) La diferencia entre los grupos fue de -1h promedio.	La PIMax aumentó en el grupo experimental y disminuyó en el grupo control, con diferencias medias significativas de 10 cmH2O (IC 95 %: 5 a 15) No hubo una diferencia significativa entre ambos grupos con respecto al tiempo de VM (IC 95% -42 a 39)
Shimizu Jm et al	2014	Cohorte prospectivo observacional con una parte intervencional aleatorizada	Participantes: 128 extubados: 76 Falla a SBT: 13 IMT: 5 Control: 8	Tubo endotraqueal	Más de 48 hs (criterio de inclusión) 7.00 ± 6.95 días de VM (tiempo promedio)	-Protocolo Tubo T + IMT PIMax Inicial: 33.20 ± 9.34 cmH2O PIMax Final: 28.00 ± 10.95 cmH2O. -Protocolo Tubo T Progresivo PIMax Inicial: 32.25 ± 17.87 cmH2O PIMax Final: 34.25 ± 16.68 cmH2O No se utilizó ultrasonografía diafragmática para evaluar los cambios estructurales y funcionales del diafragma.	No se detallan en términos de número exacto quienes lograron ser destetados exitosamente después de los protocolos. Tiempo total de VM: Grupo tubo T + IMT: 17.80 ± 6.83 días Grupo tubo T: 18.12 ± 4.70 días	No se encontraron diferencias significativas en los valores de PIMax inicial y final entre los dos grupos (p > 0,05) No se encontraron diferencias significativas en el tiempo total de VM entre los dos grupos. (p > 0,05)
Akanksha Dixit et al	2014	Ensayo clínico controlado aleatorizado (ECA)	Participantes: 30 IMT: 15 Convencional: 15	Tubo endotraqueal	Al menos 24 hs (criterio de inclusión) No especifica tiempo promedio de VM	Grupo IMT: -PIMax Pre-tratamiento: 29.29 ± 3.61 cmH2O -PIMax Post-extubación: 43.87 ± 8.01 cmH2O La PIMax aumentó 14.58 cmH2O Grupo control: -PIMax Pre-tratamiento: 28.77 ± 2.93 cmH2O -PIMax Post-extubación: 35.68 ± 4.49 cm H2O La PIMax aumentó 6.91 cmH2O No se utilizó ultrasonografía diafragmática para evaluar los cambios estructurales y funcionales del diafragma.	No proporciona resultados específicos de éxito del destete posterior a la intervención. No se especifican datos sobre el tiempo total de VM.	El análisis estadístico muestra que la PIMax mejoró en ambos grupos, pero mostró un aumento más significativo en la PIMax post-extubación del grupo IMT (p = 0.0009). El grupo IMT tuvo un tiempo promedio de VM significativamente más corto (p = 0.0009)
Tonella Rodrigo Marques et al	2017	Ensayo clínico aleatorizado piloto (ECA)	Participantes: 21 IMT: 10 Control (INP): 11	Traqueostomía	No especifica tiempo de VM como criterio de inclusión No especifica el tiempo promedio de VM	Grupo IMT: -PIMax antes de la intervención: 54 ± 20 cm H2O -PIMax después de la intervención: 61 ± 17 cm H2O Aumento promedio de 7 cmH2O Grupo control (INP): -PIMax antes de la intervención: 43 ± 16 cm H2O -PIMax después de la intervención: 53 ± 19 cm H2O Aumento promedio 10 cmH2O No se utilizó ultrasonografía diafragmática para evaluar los cambios estructurales y funcionales del diafragma.	No proporciona resultados específicos de éxito del destete posterior a la intervención. Tiempo de VM: Grupo IMT: Tiempo medio: 14.5 ± 10 días. Grupo control (INP): Tiempo medio: 21.8 ± 9.8 días.	Se encontró un aumento estadísticamente significativo solo en la PIMax después de la intervención en el grupo IMT (P = 0.017). No se encontró una diferencia estadísticamente significativa en el tiempo total de VM entre los grupos INP y IMT (P= 0.082).

L.M. Sandoval Moreno et al	2019	Ensayo clínico controlado aleatorizado (ECA)	Participantes: 126 IMT: 62 (34 con sepsis y 28 sin sepsis). Convencional: 64 (35 con sepsis y 29 sin sepsis).	Tubo endotraqueal	48 hs o más (criterio de inclusión). 86,63 hs de VM (Tiempo promedio)	Grupo IMT: -Incremento promedio de la PIMax de 9.43 cm H2O (DE de 17.48 cm H2O). Grupo convencional: -el incremento promedio de PIMax de 5.92 cm H2O (DE de 11.90 cm H2O). No se utilizó ultrasonografía diafragmática para evaluar los cambios estructurales y funcionales del diafragma.	No se proporcionan específicamente datos sobre el éxito del destete. No se proporciona información relevante sobre los días de VM.	No se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los promedios de cambios en la PIMax entre los grupos (p = 0.48).
Bernie M. Bissett et al	2023	Ensayo controlado aleatorizado (ECA)	Participantes: 70 IMT: 33. Control: 37.	Tubo endotraqueal o traqueostomía.	7 días o más (criterio de inclusión). No especifica el tiempo promedio de VM	Grupo IMT: -Aumento del 14.7% en los valores de PIMax. Grupo control: -Aumento del 11.4% en los valores de PIMax. No se utilizó ultrasonografía diafragmática para evaluar los cambios estructurales y funcionales del diafragma	No brinda resultados específicos sobre el éxito del destete. Grupo IMT: -El tiempo de duración de la VMI reveló una mediana de 21 días (rango: 7 a 205 días). Grupo control: -El tiempo de duración de la VMI reveló una mediana de 19 días (rango: 8 a 184 días).	No hubo una diferencia estadísticamente significativa entre los grupos en cuanto a los cambios en PIMax desde el inicio hasta la finalización del estudio (intervalo de confianza del 95%: -7.4 a 14.0). La diferencia entre ambos grupos no fue estadísticamente significativa (p = 0.57) con respecto al tiempo de duración de la VMI.
Famoosh Khodabandloo et al	2023	Ensayo clínico aleatorizado (ECA)	Participantes: 79 IMT: 40 Control: 39	Tubo endotraqueal	Una semana de VM (criterio de inclusión) No especifica el tiempo promedio de VM	Grupo IMT: -PIMax pre intervención: 19.23 ± 1.64 cmH2O -PIMax post intervención: 32.93 ± 6.50 cmH2O Aumento de 13.70 ± 6.1 cmH2O (P < 0.001) Grupo control: -PIMax pre intervención: 19.26 ± 1.53 cmH2O. -PIMax post intervención: 28.33 ± 6.97 cmH2O. Aumento de 9.08 ± 6.0 cmH2O (P < 0.001). No se utilizó ultrasonografía diafragmática para evaluar los cambios estructurales y funcionales del diafragma.	Éxito del destete: Grupo IMT: 22 de 40 pacientes (55%) Grupo control: 13 de 39 pacientes (33.3%) Tiempo de VM: Grupo IMT: 21,9 ± 5,9 días Grupo control: 24,4 ± 4,7 días	Hubo un aumento significativamente mayor en el grupo de intervención en comparación con el grupo control (P < 0.001). El éxito del destete fue significativamente mayor en el grupo de intervención en comparación con el grupo control (P = 0.042). La duración total de la VM fue significativamente menor en el grupo de intervención en comparación con el grupo control (P = 0.040).
Marc Nickels, PT, PhD et al	2024	Estudio de cohorte observacional con muestreo por conveniencia	Participantes: 40 (20 por institución).	Tubo endotraqueal o traqueostomía.	5 días o más (criterio de inclusión) Mediana de 14 días de VM (tiempo promedio)	-PIMax inicial: Mediana de 22 cmH2O (Desviación estándar de 11 cmH2O) -PIMax final: Mediana de 35 cmH2O (Desviación estándar de 12 cmH2O). No se utilizó ultrasonografía diafragmática para evaluar los cambios estructurales y funcionales del diafragma.	No brinda resultados específicos sobre el éxito del destete. La duración total de la VMI para la cohorte fue de una mediana de 17 días. (Rango intercuartil de 11 a 41 días)	No se menciona explícitamente si el cambio en la PIMax fue estadísticamente significativo. Sin embargo, se reporta un incremento medio de 13 cmH2O en la PIMax, lo cual indica una mejora en la fuerza muscular inspiratoria (desviación estándar de 11 cmH2O). No se realiza un análisis explícito sobre la duración de la VMI.

VII.a. Resultados sobre la PIMax

Los once estudios incluidos en este análisis aportan evidencia variada sobre el impacto del IMT en la PIMax de pacientes bajo VM.

Varios estudios (36–39,42) demostraron un incremento significativo en la fuerza muscular inspiratoria, medida en base a la PIMax, en pacientes que recibieron IMT en comparación con los grupos de control. Estas investigaciones comparten una metodología rigurosa, llevada a cabo mediante ECA, lo que es considerado el estándar de oro para evaluar la eficacia de una intervención, ayudando a minimizar sesgos y a establecer una relación causal entre la intervención y los resultados observados. Samaria Ali Cader et al. (36), en su estudio sobre 41 participantes, todos ellos con tubo endotraqueal y más de 48 horas de VM, encontraron un incremento en la PIMax de 9.9 cmH₂O en el grupo de IMT frente a un incremento de solo 2.3 cmH₂O en el grupo control, con una diferencia media significativa de 7.6 cmH₂O (IC 95%: 5.8 a 9.4). Así mismo, A. Daniel Martin et al. (37), reportaron en un ensayo que incluyó 69 participantes con traqueostomía, un incremento de 9.7 cmH₂O en el grupo de IMT comparado con 1.6 cmH₂O en el grupo SHAM (entrenamiento muscular inspiratorio simulado), con una diferencia altamente significativa ($P < 0.0001$). Además, las medidas de PIMax antes y después del entrenamiento mostraron que los pacientes que lograron el destete tuvieron incrementos significativos de dicha presión, mientras que aquellos que no lo lograron no mostraron cambios significativos. Akanksha Dixit et al. (39), observaron que la PIMax aumentó 14.58 cmH₂O en el grupo de IMT ($n=15$), mientras que en el grupo control ($n=15$) aumentó solo 6.91 cmH₂O, con una diferencia significativa ($p=0.0009$). Todos los participantes debían contar con al menos 24 horas de VM y solamente eran incluidos aquellos con tubo endotraqueal. Robledo L. Condessa et al. (38), en su ensayo clínico aleatorizado con 92 participantes, todos con más de 48 horas de VM y tubo endotraqueal, advirtieron que la PIMax aumentó en una media de 7 cmH₂O (DE 12) en el grupo de IMT, mientras que en el grupo control se redujo en una media de 3 cmH₂O (DE 11). La diferencia significativa entre los grupos fue de 10 cmH₂O (IC del 95%: 5 a 15). Por último, Farnoosh Khodabandeloo et al. (42), quienes incluyeron a 79 participantes (40 en el grupo de IMT y 39 en el grupo control), todos con más de una semana de VM y con tubo endotraqueal como interfase de VM, mostraron un incremento de 13.70 ± 6.1 cmH₂O en el grupo de IMT en comparación con 9.08 ± 6.0 cmH₂O en el grupo control, con una diferencia significativa ($P < 0.001$).

Dentro de las limitaciones que se pueden mencionar en estos tipos de estudios, se hace presente, por el tipo de intervención llevada a cabo, la falta de cegamiento de los participantes y el personal, que inevitablemente introduce un sesgo aunque que algunos de los estudios haya intentado generar estrategias para que no lo sea. Además, estos estudios presentan, quizá, tamaños relativamente pequeños de la muestra, lo que podría condicionar los resultados, junto con diferencias en la población estudiada y en la duración de la VM de los participantes previa a la intervención.

Por otro lado, algunos estudios incluidos (40,41,43) reportaron incrementos moderados en la PIMax en ambos grupos (IMT y control), pero sin diferencias significativas entre ellos. Bernie M. Bissett et al. (41), en su ensayo realizado sobre un total de 70 participantes quienes poseían un tubo endotraqueal o traqueostomía, con un tiempo de VM mayor a 7 días, encontraron un aumento del 14.7% en PIMax en el grupo de IMT (n=33) y un 11.4% en el grupo control (n=37), sin diferencias significativas entre ambos (IC 95%: -7.4 a 14.0). Tonella Rodrigo Marques et al. (43), en su ECA piloto con 21 participantes (10 en el grupo de IMT y 11 en el grupo control), todos con traqueostomía, encontraron un aumento promedio en la PIMax de 7 cmH₂O en el grupo de IMT y de 10 cmH₂O en el grupo control, con una diferencia significativa solo en la PIMax del grupo de IMT (P=0.017), pero sin diferencias entre ambos grupos. Aunque este estudio es valioso por su comparación directa entre dos intervenciones, sus limitaciones incluyen el pequeño tamaño de la muestra por su naturaleza piloto. Estos resultados se ven reforzados más aún por el estudio de L.M. Sandoval Moreno et al. (40), quienes reportaron un incremento promedio de 9.43 cmH₂O en el grupo de IMT y 5.92 cmH₂O en el grupo convencional, pero sin diferencias significativas entre ambos (p=0.48). Este ensayo incluyó un tamaño de muestra relativamente grande, de 126 participantes (62 en el grupo de IMT y 64 en el grupo convencional). Sin embargo, los autores sugieren que la duración insuficiente del IMT puede haber influenciado sobre los resultados. Estos estudios, en los que los resultados no han arrojado una significancia estadística en la diferencia entre ambos grupos, proponen que, aunque el IMT puede mejorar la PIMax, los incrementos no siempre son significativamente mayores que los obtenidos con intervenciones convencionales. Además, como se mencionó anteriormente, las diferencias en los resultados podrían atribuirse a factores como la duración insuficiente de la intervención o la heterogeneidad de la población estudiada.

Resulta interesante mencionar que en una de las investigaciones analizadas, correspondiente a un estudio de cohorte prospectivo observacional con una parte intervencional aleatorizada, Shimizu jm et al. (46), mostraron resultados con una PIMax inicial de 33.20 ± 9.34 cmH₂O

en el grupo de IMT y una PIMax final de 28.00 ± 10.95 cmH₂O, mientras que en el grupo control la PIMax inicial fue de 32.25 ± 17.87 cmH₂O y la final de 34.25 ± 16.68 cmH₂O, sin diferencias significativas entre los grupos ($p > 0.05$). Este estudio destaca por su diseño controlado. A pesar de ello, su limitación radica en el número pequeño de sujetos, que habían fallado a la prueba de ventilación espontánea (SBT), incluidos en los protocolos de destete (Falla a SBT: 13, IMT:5 y Control:8). Esto pudo haber limitado la capacidad de detectar diferencias significativas.

Finalmente, los estudios de cohorte observacionales también proporcionan información valiosa aunque menos concluyente debido a la naturaleza no aleatorizada de sus diseños. Marc Nickels, PT, PhD et al. (45), en su estudio con muestreo por conveniencia, incluyendo 40 participantes (20 por institución) con tubo endotraqueal o traqueostomía y más de 5 días de VM, reportaron un incremento medio entre la PIMax inicial y PIMax final de 13 cmH₂O. Esto indica una mejora en la fuerza muscular inspiratoria, aunque en el estudio no mencionaron explícitamente la significancia estadística del cambio. Por otro lado Bernie Bissett et al. (44), en su estudio de cohorte prospectivo con 10 pacientes traqueostomizados que habían estado en VM durante un promedio de 24.2 días antes de la intervención, no reportaron cambios específicos en los valores de PIMax, aunque observaron un incremento en las presiones de entrenamiento, consistente con una mejora en la fuerza inspiratoria. No obstante, la ausencia de un grupo de control y una muestra pequeña y variada, dificulta la atribución de mejoras directamente al IMT.

VII.b. Resultados sobre el éxito del destete

Lamentablemente, muchos de los artículos revisados (36,38–41,43,45,46) no incluyen datos específicos sobre el éxito del destete, ya sea en términos de porcentajes, número exacto de pacientes destetados o significancia estadística. Dicha carencia limita la capacidad de los profesionales para basar sus prácticas en evidencia sólida, por lo cual, incluir esta variable en los estudios proporciona datos valiosos que pueden guiar la práctica clínica y mejorar los protocolos de tratamiento basados en evidencia.

En cambio, algunos de ellos, como Bernie Bissett, et al. (44), A. Daniel Martin, et al. (37) y Farnoosh Khodabandelloo, et al. (42), se encuentran entre los estudios que sí recopilaban datos específicos sobre el éxito del destete o, al menos, aportan información que puede permitir sacar algunas conclusiones. En el primer trabajo de los mencionados (44), aunque no se presentan resultados estadísticos detallados sobre dicha variable, se menciona que 8 de los 10

participantes lograron el destete de la VM. Con esta información se podría inferir que hubo una alta tasa de éxito (80%) y el IMT tendría el potencial de mejorar la fuerza muscular inspiratoria y ayudar a los pacientes a respirar de manera independiente. Sin embargo el tamaño de la muestra del estudio es pequeño, limitando la capacidad de generalizar estos resultados a una población más amplia y no se proporciona información específica sobre su significancia estadística, generando dificultad en la evaluación de la fiabilidad de los resultados.

En el segundo caso, A. Daniel Martin, et al. (37) brindaron resultados más contundentes. En el grupo IMT hubo 25 de 35 pacientes destetados (71%, IC del 95%=55% a 84%) y en el grupo SHAM 16 de 34 pacientes fueron destetados (47%, IC del 95%=31% a 63%). La diferencia en las tasas de éxito del destete entre los dos grupos fue significativa desde el punto de vista estadístico ($P=0.039$), indicando que el uso del dispositivo de umbral es una herramienta efectiva para el entrenamiento de los músculos inspiratorios durante el proceso de destete de la VM.

Para finalizar, el último estudio, realizado por Farnoosh Khodabandelo, et al. (42), también brindaron información relevante. Se observó una diferencia significativa en el éxito del destete ($P=0.042$) tras evidenciar que el grupo IMT obtuvo 22 de 40 pacientes destetados (55%) y el grupo control 13 de 39 pacientes destetados (33.3%). Dicho resultado apoya la efectividad del dispositivo de umbral en mejorar las tasas de éxito del destete en pacientes bajo VM.

VII.c. Resultados sobre días de VM

De los estudios analizados, varios han investigado el impacto de los dispositivos de umbral IMT en la duración de la VM, obteniendo resultados diversos. (36–39,41–43,46)

Entre los estudios que encontraron diferencias significativas, destaca el trabajo de Farnoosh Khodabandelo et al. (42), donde se observó que la duración total de la VM fue significativamente menor en el grupo de intervención con IMT (21.9 ± 5.9 días) en comparación con el grupo control (24.4 ± 4.7 días), con una $P=0.040$. Este resultado destaca la eficacia del IMT con un dispositivo de umbral en no sólo acortar el tiempo de destete, como también fue demostrado en la investigación, sino también en reducir el tiempo total de VM, lo que puede tener implicaciones clínicas importantes para la reducción de complicaciones y costos en la UCI. Otro estudio que también arrojó como resultado diferencias significativas fue el de Akanksha Dixit et al. (39), donde se reportó que el grupo

que utilizó IMT tuvo un tiempo de VM significativamente más corto con una $P=0.0009$. Aunque este estudio es sólido en términos de resultados estadísticamente significativos, no se especificaron los datos exactos sobre el tiempo total de VM, lo cual es una limitación importante. El artículo reporta una diferencia estadísticamente significativa en el tiempo de destete (menor en el grupo IMT), lo que sugiere que dicha intervención es efectiva para reducir el tiempo de VM en comparación con la fisioterapia convencional sola.

Por otro lado, diferentes estudios no encontraron diferencias significativas en el tiempo de VM (36–38,43,46). El trabajo de Tonella Rodrigo Marques et al. (43), comparó un grupo que recibió IMT con un grupo al cual se le aplicó un programa de nebulización intermitente (INP). Los resultados arrojaron un tiempo de VM de 14.5 ± 10 días y 21.8 ± 9.8 días respectivamente y no halló una diferencia significativa en el tiempo total de VM ($P=0.082$). Aunque hubo una tendencia hacia un menor tiempo de VM en el grupo IMT, dentro del tamaño de muestra limitado del estudio, esta diferencia no alcanzó significancia estadística. Asimismo, Shimizu JM et al. (46) evaluaron la combinación de un protocolo de tubo T e IMT versus solo tubo T, encontrando tiempos de ventilación de 17.80 ± 6.83 días en el primer grupo y 18.12 ± 4.70 días en el segundo, sin representar diferencias significativas entre ambos ($P>0.05$). El número pequeño de sujetos, como se mencionó anteriormente, puede condicionar este resultado. A. Daniel Martin et al. (37) compararon el tiempo total de VM entre el grupo IMT, con un resultado de 57.3 ± 29.5 días, con el grupo SHAM de 63.5 ± 34.0 días, donde no encontraron cambios significativos posterior a la intervención ($P=0.46$). Igualmente, en los trabajos de Robledo L Condessa et al. (38) y Samaria Ali Cader et al. (36) tampoco encontraron diferencias significativas en el tiempo de VM. La diferencia entre estos radica en que: el primero encontró un tiempo total de 219 horas (DE 97) en el grupo IMT y 220 horas (DE 80) en el grupo control, con una diferencia promedio de solo -1 hora y sin significancia estadística (IC 95% -42 a 39); el segundo no aporta datos específicos del tiempo total, lo cual es una limitación del estudio. No obstante, reporta que no encontraron diferencias significativas al realizar un análisis de Kaplan-Meier ($P=0.72$), siendo este un análisis que fortalece los resultados del mismo.

Finalmente, el estudio de Bernie M. Bissett et al. (41) también nos brindó información relevante sobre esta variable. En este trabajo se encontró una mediana de duración de VM de 21 días (rango: 7 a 205 días) en el grupo IMT y 19 días (rango: 8 a 184 días) en el grupo control, llegando a la conclusión en su análisis que esta diferencia no introduce diferencias significativas entre los grupos ($P=0.57$). Dicho trabajo declara la posibilidad de presentar un

insuficiente poder estadístico para algunos resultados secundarios, como el tiempo hasta la liberación del ventilador, lo que podría quitarle certeza al resultado.

VII.d. Resultados sobre la ecografía o ultrasonografía diafragmática

De los once artículos incluidos y analizados, sobre el impacto del IMT con un dispositivo de umbral en pacientes ventilados, ninguno recurrió a la utilización de la ecografía diafragmática para evaluar, antes y posterior a la intervención, los cambios estructurales y funcionales en el diafragma.

Resulta llamativo que, a pesar de su reconocida capacidad para proporcionar imágenes anatómicas detalladas y evaluaciones funcionales precisas, presentándose como una herramienta valiosa para predecir el éxito del destete en pacientes ventilados (5,6,20), los estudios revisados no hayan optado por incluir dicha herramienta como método de valoración cualitativa y cuantitativa de resultados. Nuestra hipótesis radica en que, aunque la ecografía diafragmática ha demostrado ser un método de evaluación no invasivo, rentable y seguro (8,20), es una técnica relativamente nueva y requiere de un profesional altamente capacitado para obtener resultados fiables. La formación y experiencia específicas necesarias para realizar e interpretar adecuadamente las ecografías diafragmáticas pueden limitar su implementación.

VIII. Conclusiones

En términos generales, concluimos que el uso de un dispositivo de carga umbral en pacientes adultos críticos bajo asistencia ventilatoria mecánica con debilidad diafragmática tiene el potencial de ser un instrumento útil dentro de los métodos de rehabilitación, ya que los resultados indican que este dispositivo puede mejorar la función respiratoria y diafragmática, incrementando la fuerza muscular inspiratoria medida por la PIMax. Además, en ciertos casos, podría contribuir positivamente sobre resultados clínicos como el éxito del destete. No obstante, los datos actuales sugieren que el dispositivo de carga umbral no es efectivo para reducir el tiempo total de VM. Por otro lado, en cuanto al tipo de interfaz, al margen de mencionarse esta cuestión, no se hace referencia alguna hacia posibles diferencias con respecto al entrenamiento ni los resultados según esa condición.

Dicho todo esto, resultaría interesante que se lleven a cabo investigaciones futuras con diseños metodológicos rigurosos para obtener resultados más certeros, que tengan en cuenta

la ultrasonografía como método de evaluación complementaria e incluyan datos que hagan referencia a posibles diferencias según el tipo de interfaz de VM.

IX. Referencias bibliográficas

1. Dres M, Dubé BP, Mayaux J, Delemazure J, Reuter D, Brochard L, et al. Coexistence and Impact of Limb Muscle and Diaphragm Weakness at Time of Liberation from Mechanical Ventilation in Medical Intensive Care Unit Patients. *Am J Respir Crit Care Med*. 1 de enero de 2017;195(1):57-66.
2. Garnica Escamilla MA, Carrillo Esper R, Rames Gijón JE. Disfunción diafragmática y evaluación ultrasonográfica en el enfermo grave. *Med Crítica*. 2021;35(3):148-53.
3. 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.
4. Dres M, Demoule A. Monitoring diaphragm function in the ICU. *Curr Opin Crit Care*. febrero de 2020;26(1):18-25.
5. Damiani LF, Jalil Y, Dubo S. Disfunción Diafragmática en Ventilación Mecánica: Evaluación e Implicancias Clínicas. 2020;39(2).
6. Esper RC, Talamantes YG. Evaluación ultrasonográfica del diafragma en el enfermo grave. *Med Crítica*. 2014;28(3):187-94.
7. Schepens T, Fard S, Goligher EC. Assessing Diaphragmatic Function. *Respir Care*. junio de 2020;65(6):807-19.
8. Dres M, Goligher EC, Heunks LMA, Brochard LJ. Critical illness-associated diaphragm weakness. *Intensive Care Med*. octubre de 2017;43(10):1441-52.
9. Salas-Montaña A, Martínez-Camacho MÁ. Entrenamiento de musculatura inspiratoria en el paciente crítico. *Rev Hosp Juárez Mex*. 11 de noviembre de 2020;87(3):4528.
10. Bravo Acosta T, Alonso Díaz PL, del Valle Alonso O, Jané Lara A, López Bueno Y, Hernández Tápanes S. Entrenamiento de los músculos respiratorios. *Rev Cuba Med Mil*. marzo de 2005;34(1):0-0.
11. Pham T, Brochard LJ, Slutsky AS. Mechanical Ventilation: State of the Art. *Mayo Clin Proc*. septiembre de 2017;92(9):1382-400.
12. Ward J, Noel C. Basic Modes of Mechanical Ventilation. *Emerg Med Clin North Am*. 1 de agosto de 2022;40(3):473-88.
13. Bayram B, Şancı E. Invasive mechanical ventilation in the emergency department. *Turk J Emerg Med*. 29 de marzo de 2019;19(2):43-52.
14. Roberts KJ. 2018 Year in Review: Adult Invasive Mechanical Ventilation. *Respir Care*. 1 de mayo de 2019;64(5):604-9.
15. Bureau C, Van Hollebeke M, Dres M. Managing respiratory muscle weakness during weaning from invasive ventilation. *Eur Respir Rev Off J Eur Respir Soc*. 30 de junio de 2023;32(168):220205.
16. Walter K. Mechanical Ventilation. *JAMA*. 12 de octubre de 2021;326(14):1452.
17. Petrof BJ, Hussain SN. Ventilator-induced diaphragmatic dysfunction: what have we learned? *Curr Opin Crit Care*. febrero de 2016;22(1):67-72.
18. Le Stang V, Latronico N, Dres M, Bertoni M. Critical illness-associated limb and diaphragmatic weakness. *Curr Opin Crit Care*. abril de 2024;30(2):121-30.
19. Tocalini P, Vicente A, Manuel Carballo J, Ignacio Garegnani L. Disfunción diafragmática asociada a la ventilación mecánica invasiva en pacientes adultos críticamente enfermos. *Rev Fac Cienc Médicas*. 28 de junio de 2021;78(2):197-206.
20. Parada-Gereda HM, Tibaduiza AL, Rico-Mendoza A, Molano-Franco D, Nieto VH, Arias-Ortiz WA, et al. Effectiveness of diaphragmatic ultrasound as a predictor of successful weaning from mechanical ventilation: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care*. 5 de mayo de 2023;27:174.

21. 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*. 29 de marzo de 2021;21(1):106.
22. Ranu H, Wilde M, Madden B. Pulmonary Function Tests. *Ulster Med J*. mayo de 2011;80(2):84-90.
23. Polkey MI, Green M, Moxham J. Measurement of respiratory muscle strength. *Thorax*. noviembre de 1995;50(11):1131-5.
24. Vitacca M, Paneroni M, Bianchi L, Clini E, Vianello A, Ceriana P, et al. Maximal inspiratory and expiratory pressure measurement in tracheotomised patients. *Eur Respir J*. 1 de febrero de 2006;27(2):343-9.
25. Steier J, Kaul S, Seymour J, Jolley C, Rafferty G, Man W, et al. The value of multiple tests of respiratory muscle strength. *Thorax*. noviembre de 2007;62(11):975-80.
26. Kkp M, Lr N, Pr A, Jc P, Lft S. A Review on Respiratory Muscle Training Devices. *J Pulm Respir Med [Internet]*. 2018 [citado 20 de marzo de 2024];08(02). Disponible en: <https://www.omicsonline.org/open-access/a-review-on-respiratory-muscle-training-devices-2161-105X-1000451-100181.html>
27. 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*. mayo de 2019;32(3):249-55.
28. Chung Y, Huang TY, Liao YH, Kuo YC. 12-Week Inspiratory Muscle Training Improves Respiratory Muscle Strength in Adult Patients with Stable Asthma: A Randomized Controlled Trial. *Int J Environ Res Public Health*. 22 de marzo de 2021;18(6):3267.
29. Illi SK, Held U, Frank I, Spengler CM. Effect of respiratory muscle training on exercise performance in healthy individuals: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med Auckl NZ*. 1 de agosto de 2012;42(8):707-24.
30. Figueiredo RIN, Azambuja AM, Cureau FV, Sbruzzi G. Inspiratory Muscle Training in COPD. *Respir Care*. 1 de agosto de 2020;65(8):1189-201.
31. Vázquez-Gandullo E, Hidalgo-Molina A, Montoro-Ballesteros F, Morales-González M, Muñoz-Ramírez I, Arnedillo-Muñoz A. Inspiratory Muscle Training in Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD) as Part of a Respiratory Rehabilitation Program Implementation of Mechanical Devices: A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health*. 3 de mayo de 2022;19(9):5564.
32. Kendall F, Oliveira J, Peleteiro B, Pinho P, Bastos PT. Inspiratory muscle training is effective to reduce postoperative pulmonary complications and length of hospital stay: a systematic review and meta-analysis. *Disabil Rehabil*. 10 de abril de 2018;40(8):864-82.
33. Bissett BM, Leditschke IA, Neeman T, Boots R, Paratz J. Inspiratory muscle training to enhance recovery from mechanical ventilation: a randomised trial. *Thorax*. septiembre de 2016;71(9):812-9.
34. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Rev Esp Cardiol*. septiembre de 2021;74(9):790-9.
35. Cochrane C. Centro Cochrane Iberoamericano, traductores. *Manual Cochrane de Revisiones Sistemáticas de Intervenciones*, versión 5.1. 0. 2011;(March): 1–639.[citado 21 Marzo 2019].
36. Cader SA, Vale RG de S, 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.
37. 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.

38. 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.* 1 de junio de 2013;59(2):101-7.
39. Dixit A, Prakash S. EFFECTS OF THRESHOLD INSPIRATORY MUSCLE TRAINING VERSUS CONVENTIONAL PHYSIOTHERAPY ON THE WEANING PERIOD OF MECHANICALLY VENTILATED PATIENTS: A COMPARATIVE STUDY. . ISSN.
40. Sandoval Moreno LM, Casas Quiroga IC, Wilches Luna EC, García AF. Efficacy of respiratory muscle training in weaning of mechanical ventilation in patients with mechanical ventilation for 48hours or more: A Randomized Controlled Clinical Trial. *Med Intensiva.* marzo de 2019;43(2):79-89.
41. 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.* 1 de julio de 2023;36(4):613-21.
42. Khodabandloo F, Froutan R, Yazdi AP, Shakeri MT, Mazlom SR, Moghaddam AB. The effect of threshold inspiratory muscle training on the duration of weaning in intensive care unit-admitted patients: A randomized clinical trial. *J Res Med Sci Off J Isfahan Univ Med Sci.* 29 de mayo de 2023;28:44.
43. Tonella RM, Ratti LDSR, 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;929-34.
44. Bissett B, Leditschke IA, Green M. Specific inspiratory muscle training is safe in selected patients who are ventilator-dependent: A case series. *Intensive Crit Care Nurs.* 1 de abril de 2012;28(2):98-104.
45. Nickels M, Erwin K, McMurray G, Talbot R, Strong M, Krishnan A, et al. Feasibility, safety, and patient acceptability of electronic inspiratory muscle training in patients who require prolonged mechanical ventilation in the intensive care unit: A dual-centre observational study. *Aust Crit Care.* 1 de mayo de 2024;37(3):448-54.
46. Shimizu JM, Manzano RM, Quitério RJ, Alegria VT da C, Junqueira TT, El-Fakhouri S, et al. Determinant factors for mortality of patients receiving mechanical ventilation and effects of a protocol muscle training in weaning. *Man Ther Posturology Rehabil J.* 2 de junio de 2014;1-7.