



REVISIÓN

Diaphragmatic muscle dysfunction associated with artificial mechanical ventilation: a narrative review of the literature

Disfunción muscular diafragmática asociada a la ventilación mecánica artificial: una revisión narrativa de la literatura

Arian Jesús Cuba Naranjo¹  , Ariel Sosa Remón^{2*}  , Jhossmar Cristians Auza-Santivañez³  , Ana Esperanza Jeréz Alvarez²  , Yudiel Pérez Yero⁴  , Héctor Regino Díaz Águila⁵  , Osman Arteaga Iriarte⁶  

¹Universidad de Ciencias Médicas de Granma. Hospital Militar “Carlos Arvelo”. República Bolivariana de Venezuela.

²Universidad de Ciencias Médicas de la Habana. Instituto Nacional de Oncología y Radiobiología. La Habana, Cuba.

³Ministerio de Salud y Deportes. Instituto Académico Científico Quispe-Cornejo. La Paz, Bolivia.

⁴Hospital Provincial Clínico-Quirúrgico Docente “Celia Sánchez Manduley”. Granma, Cuba.

⁵Universidad de Ciencias Médicas de Villa Clara. Cuba.

⁶Hospital Universitario Japonés. Unidad de Terapia Intensiva. Santa Cruz, Bolivia.

Citar como: Cuba Naranjo AJ, Sosa Remón A, Auza-Santivañez JC, Jeréz Alvarez AE, Pérez Yero Y, Díaz Águila HR, Arteaga Iriarte O.

Diaphragmatic muscle dysfunction associated with artificial mechanical ventilation: a narrative review of the literature. *Salud, Ciencia y Tecnología* .2024; 4:1362. <https://doi.org/10.56294/saludcyt20241362>

Enviado: 10-03-2024

Revisado: 01-06-2024

Aceptado: 04-08-2024

Publicado: 05-08-2024

Editor: Dr. William Castillo-González 

*Autor para la correspondencia: Ariel Sosa Remón 

ABSTRACT

Mechanical ventilation is a respiratory support therapy that can cause diaphragm muscle injury and induce dysfunction, which is associated with prolonged ventilation, weaning failure and mortality. Protecting the diaphragm during ventilation requires the use of tools to monitor diaphragmatic effort. The aim of this review was to address current and relevant elements about the pathophysiology of diaphragmatic function in ventilated patients. For this purpose, a narrative review of the literature available in Google Scholar, Pumed/Medline, regional SciELO, and academic Google was carried out under the terms: diaphragmatic function-diaphragmatic function in ventilated patients/diaphragmatic ultrasound in ventilated patients pathophysiology/ diaphragmatic function and others. Fundamental theoretical contents on the clinic of diaphragmatic muscle dysfunction, its relationship with artificial ventilation and related structures, such as the lung, are addressed. It is concluded that the diaphragm represents the main muscle involved in respiration and diaphragmatic muscle dysfunction represents a frequent complication in critically ill patients. Diaphragmatic ultrasound is a tool that aids decision making on artificial ventilation, potentially reduces the duration of respiratory support and associated complications.

Keywords: Artificial Mechanical Ventilation; Diaphragm; Diaphragmatic Ultrasound; Diaphragmatic Muscle Dysfunction; Mortality.

RESUMEN

La ventilación mecánica es una terapia de soporte respiratorio que puede provocar lesión del músculo del diafragma e inducir disfunción, esto se asocia a ventilación prolongada, fallas en el destete y mortalidad. Proteger el diafragma durante la ventilación requiere el uso de herramientas para monitorizar el esfuerzo diafragmático. El objetivo de esta revisión fue abordar elementos actuales y de relevancia sobre la fisiopatología y las manifestaciones clínicas de la disfunción diafragmática en pacientes ventilados. Para ello, se realizó una revisión narrativa de la literatura disponible en Google Scholar, Pumed/Medline, SciELO regional, y Google académico bajo los términos: función-disfunción diafragmática en pacientes ventilados/ecografía diafragmática en pacientes ventilados fisiopatología/disfunción diafragmática entre otras. Se

abordan contenidos teóricos fundamentales sobre la clínica de la disfunción muscular diafragmática, su relación con la ventilación artificial y estructuras relacionadas, como el pulmón. Se concluye que el diafragma representa el principal músculo implicado en la respiración y la disfunción muscular diafragmática constituye una complicación frecuente en pacientes críticamente enfermos. La ecografía diafragmática es una herramienta que ayuda a la toma de decisiones sobre la ventilación artificial, reduce potencialmente la duración del soporte respiratorio y las complicaciones asociadas.

Palabras clave: Ventilación Mecánica Artificial; Diafragma; Ecografía Diafragmática; Disfunción Muscular Diafragmática; Mortalidad.

INTRODUCCIÓN

Los pacientes críticamente enfermos que acuden al departamento de urgencias (DE) a menudo requieren asistencia respiratoria. La ventilación mecánica artificial (VMA) es una terapia de soporte vital y se ha consolidado como una herramienta imprescindible en el manejo de la falla respiratoria, alrededor del 40 % de los pacientes requieren VMA durante la internación en la unidad de cuidados intensivos (UCI) y entre un 10 % al 15 % la requerirán de manera prolongada. A pesar de los beneficios de la VMA, se han reconocido diferentes complicaciones asociadas como: riesgo de infecciones, atrofia diafragmática, lesión de las fibras musculares, neuromiopatía, descondicionamiento e incluso daño pulmonar directo secundario coloquialmente llamada lesión pulmonar inducida por el ventilador (LPIV) esta última relacionada a insuficiencia multiorgánica y elevada mortalidad. La intubación tardía se asocia con una alta mortalidad. Por lo tanto, es esencial una estrecha monitorización de los signos vitales y los parámetros respiratorios.^(1,2,3,4,5)

El diafragma es el principal músculo de la ventilación, por lo que su correcto funcionamiento tiene un gran impacto en el destete de la VMA, la disfunción muscular diafragmática (DMD) es común en pacientes críticamente enfermos. Se asocia con peores resultados, incluida la necesidad de VMA y un mayor riesgo de mortalidad.^(6,7) Disfunción muscular diafragmática asociada a la ventilación mecánica artificial es una entidad de reciente definición y de interés creciente, que se caracteriza por la atrofia y la disfunción contráctil del diafragma. El interés sobre esta patología recae en la asociación con resultados clínicos negativos como mayor duración de la VMA, falla en el destete y un aumento de la mortalidad.

MÉTODO

Se realizó una revisión narrativa de la literatura mediante una búsqueda sin restricciones en idiomas español e inglés. El período de búsqueda incluyó los recientes 10 años. Se realizó una pesquisa en las bases de datos de Scielo, Pubmed/ Medline, Google académico, en los idiomas en español e inglés. Se utilizaron como descriptores los consignados en las palabras clave del artículo.

Los criterios de inclusión fueron: artículos de acceso libre, originales, revisiones narrativas y sistemáticas (con/sin meta-análisis), ensayos clínicos, editoriales, casos clínicos, cartas al editor/director y documentos de consenso. Se excluyeron para la presente revisión, artículos resúmenes y aquellos que describen el tema en la población pediátrica. El manuscrito presente corresponde a los aspectos teóricos fundamentales de fisiopatología de la DMD, su relación con la VMA y estructuras relacionadas, como el pulmón. Para esta parte se seleccionaron 32 referencias que cumplieron con los criterios de selección. De ellas, el 87,5 % corresponde a los recientes 5 años.

RESULTADOS

A raíz de la recién finalizada pandemia por el SARS-CoV-2, las dificultades de movilización, alto riesgo de difusión del microorganismo durante el traslado y la desinfección posterior de las salas de radiología, definieron que la ecografía pulmonar (EP) florezca como una alternativa diagnóstica válida que permite evaluar el grado de afectación pulmonar mediante el análisis de patrones ecográficos específicos. Esta constituye una herramienta muy útil, debido a que permite obtener imágenes en tiempo real, a pie de cama y puede repetirse cuantas veces sea necesario. Valora de forma bilateral diversas patologías pulmonares, su morfología y función diafragmática en tiempo real, además de permitir el seguimiento sin exposición a la radiación, siendo un método rápido, asequible, no invasivo y preciso que se utiliza para los exámenes de cabecera de los trastornos respiratorios agudo.^(8,9,10) (figura 1A- 1B-1C-1D-1F)

La valoración a la cabecera del paciente mediante la ecografía diafragmática (ED) ha surgido como una herramienta que cada vez toma más fuerza en la UCI al ser un procedimiento que evalúa de manera cualitativa y cuantitativa la morfología por medio de la visualización directa del músculo del diafragma, la función, actividad y el seguimiento en el tiempo mediante diferentes parámetros como: el engrosamiento diafragmático (EgD), fracción de engrosamiento diafragmático (FED), la excursión diafragmática (ExD), velocidad de contracción diafragmática (VCD), entre otras.⁽¹¹⁾ (figura 2A-2B)

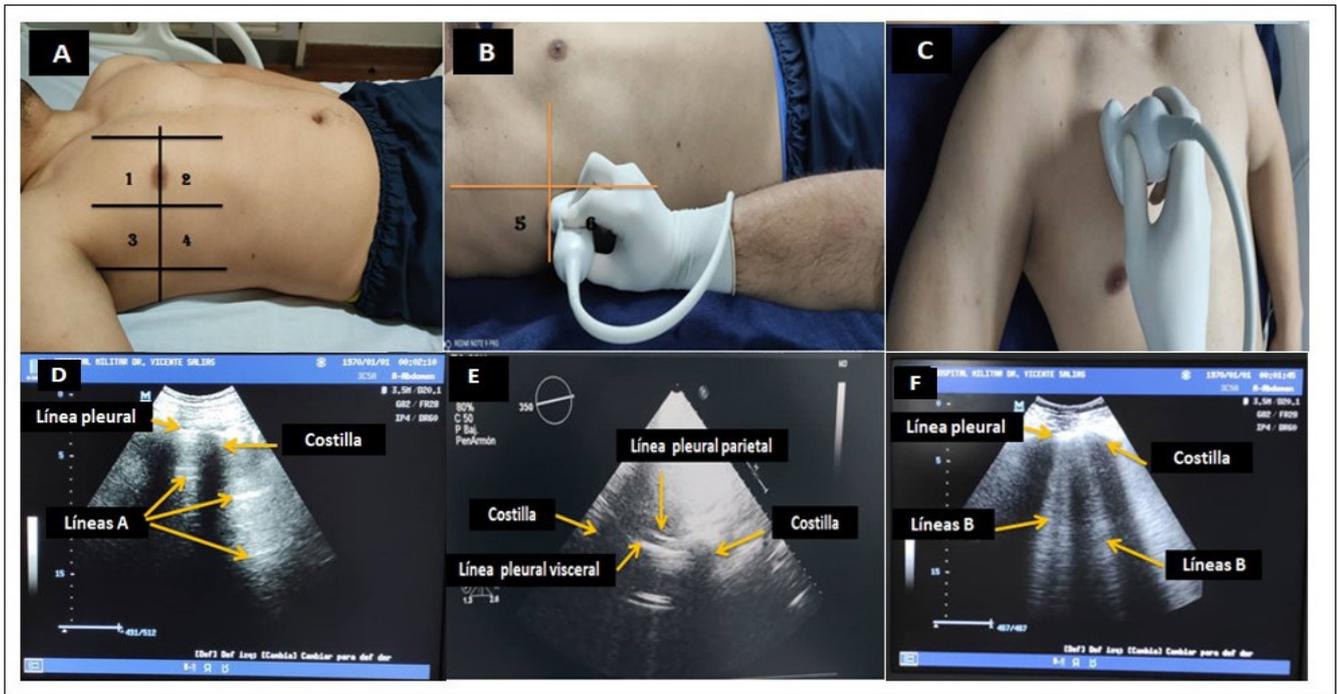


Figura 1. A-B: Ecografía Pulmonar por regiones. C: posición del transductor perpendicular a las costillas. D: Corte longitudinal, patrón típico de aireación pulmonar normal, línea pleural, costilla superior inferior, línea A (flechas), modo B. E: Estructuras anatómicas en la EP: línea pleural parietal, visceral y costillas (flechas), modo B. F: líneas B pulmonares, (flechas).

Fuente: Adaptado de Cuba et al.⁽¹⁰⁾

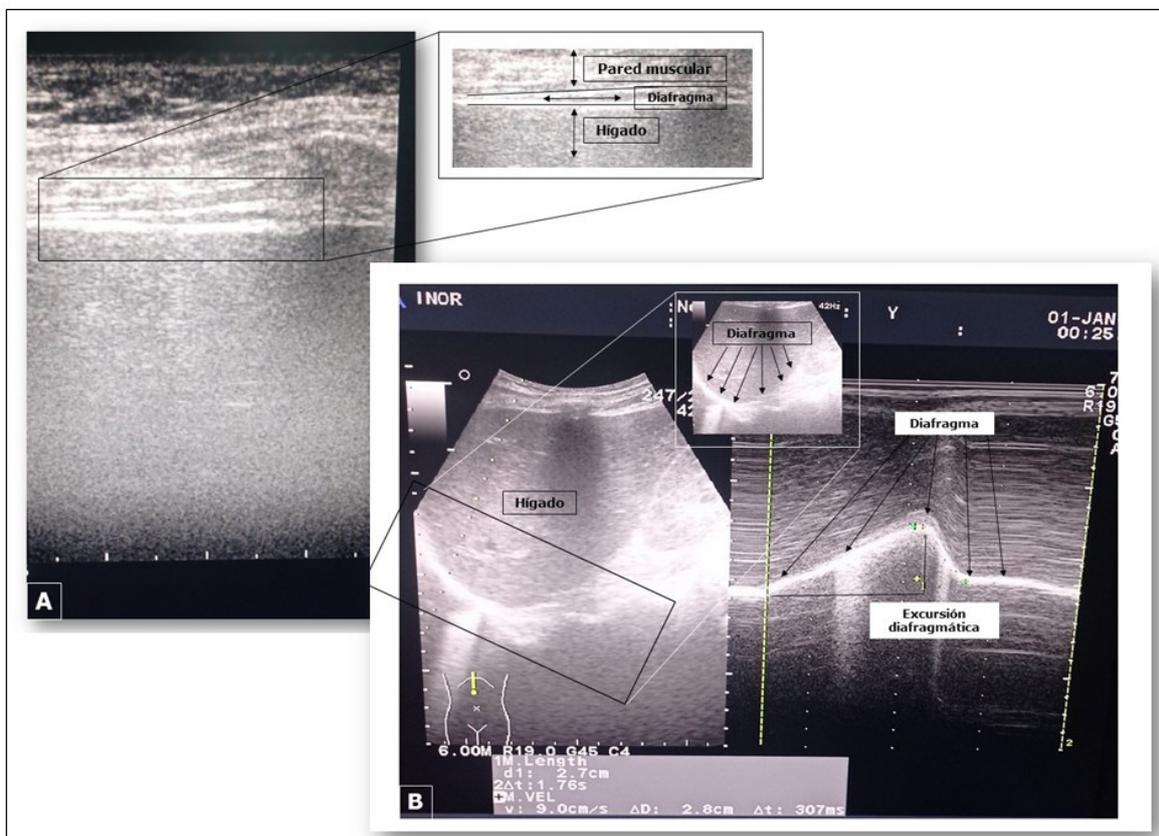


Figura 2. Vista ecográfica del diafragma. A: Engrosamiento diafragmático en modo B. B: Vista subcostal anterior, a la izquierda visualización del diafragma en modo B, a la derecha medición de la ExD en modo M.

Ante la necesidad de establecer estrategias de protección pulmonar que mejoren la sobrevida en pacientes con insuficiencia respiratoria aguda grave (IRA), se realiza esta revisión narrativa, la cual se sustenta en lo descrito sobre el tema a la luz de la medicina basada en la evidencia.

DISCUSIÓN

Anatomía y fisiología del diafragma

El diafragma es un músculo delgado, de un grosor promedio de sólo 1,7 a 2 mm cuando se mide en la zona de aposición (ZOA) en sujetos sanos, y puede adelgazarse aún más durante la VMA. Anatómicamente, tiene forma de cúpula y se divide en dos partes: el tendón central y la porción muscular periférica. Funcionalmente, la porción muscular se divide en: la porción crural, que es medial y surge de las vértebras lumbares (L2-L4) y los ligamentos asociados; y la porción costal mayor, que es lateral y está en aposición a la cara interna de las seis costillas inferiores, constituyendo la región de aposición a la caja torácica, conocida como ZOA.^(12,13)

Durante la respiración tranquila, la contracción diafragmática tiene varios efectos: la cúpula central desciende debido a la contracción de las fibras musculares de la zona de aposición, lo que provoca una disminución de la presión pleural; el descenso de la cúpula central aumenta la presión abdominal, lo que provoca el movimiento hacia afuera de la pared abdominal anterior; y las fibras musculares de la parte costal del diafragma levantan la caja torácica inferior (fuerza de inserción) provocando movimientos hacia adelante (mango de bomba) y hacia afuera (mango de cubo). Como resultado, durante la contracción el diafragma se mueve caudalmente, aumentando la dimensión cráneo-caudal de la cavidad torácica, generando así una presión intratorácica negativa que permite inflar los pulmones.⁽¹³⁾

El diafragma separa la cavidad torácica de la cavidad abdominal, es el principal músculo respiratorio y está inervado por los nervios frénicos que surgen de las raíces nerviosas C3-C5, siendo su contracción vital para la ventilación. Las enfermedades que interfieren con la inervación diafragmática, las propiedades de los músculos contráctiles o el acoplamiento mecánico a la pared torácica pueden causar DMD, además de atrofia, la cual prolonga la duración de VMA. El diafragma tiene un ciclo de trabajo elevado; en comparación con otros músculos, se contrae alrededor de 25-30 % del tiempo, lo que en parte explica su vulnerabilidad y la razón por la que ya muestra signos de disfunción mitocondrial de 6 a 12 horas luego del inicio de la VMA.^(14,15)

Disfunción muscular diafragmática

La DMD es una dificultad relevante en pacientes admitidos en las UCI, siendo la terapia de soporte ventilatorio mecánico una de sus principales causas. La prevalencia oscila entre un 29 % y 80 %, debido a la variabilidad de los métodos diagnósticos y al momento de evaluación. La DMD ha sido asociada a mayor tiempo de VMA por destete dificultoso, así como incremento de la mortalidad. Un monitoreo continuo al pie de la cama del paciente a través de evaluación de variables ecográficas diafragmáticas, permite la adecuación de tratamientos dirigidos a optimizar la función muscular del diafragma (FMD), prevenir su disfunción y complicaciones posteriores, así como reorientar el destete para mejorar la posibilidad de lograr la ventilación espontánea en el paciente.^(16,17)

El término DMD incluye eventración, debilidad y parálisis diafragmática. La eventración es una elevación permanente de todo o parte del hemidiafragma causada por adelgazamiento. La debilidad diafragmática sería la pérdida parcial de la fuerza muscular para generar la presión necesaria para una ventilación adecuada, mientras que la parálisis significa la ausencia total de esta capacidad. Este trastorno, dependiendo de la causa, puede ser unilateral o bilateral, temporal o permanente.⁽¹⁴⁾

VMA y su repercusión sobre la función diafragmática

La VMA, independientemente del criterio de su indicación, representa una terapia de apoyo que puede salvar vidas, sin dejar de mencionar que una vez que se intuba al paciente hipoxémico, la forma en que se ventila impacta significativamente en el curso hospitalario y el resultado.⁽¹⁸⁾

Se han demostrado que la VMA también puede lesionar el diafragma, el principal músculo de la inspiración, y podría ser la responsable de al menos el 50 % de los fallos en la extubación. Dentro de los múltiples mecanismos que afectan la FMD en un paciente en estado crítico están: la duración prolongada de la conexión al ventilador, edad avanzada, sepsis, liberación de citoquinas, el deterioro mitocondrial desnutrición, modos ventilatorios controlados, medicamentos como los glucocorticoides, relajantes musculares, configurando una nueva entidad reconocida como disfunción muscular diafragmática inducida por el ventilador (DMDIV), definida como la pérdida de la capacidad de generación de fuerza diafragmática, específicamente relacionada con el uso de VMA, y descrita en la década de 1980.^(17,18,19,20,21)

Referencias experimentales y clínicas han evidenciado la DMDIV hasta en 53 % de los pacientes con VMA en las 24 horas siguientes a la intubación y 26 % la desarrolla durante su estancia en la UCI, las variaciones en la incidencia se fundamentan en la herramienta diagnóstica utilizada.⁽²²⁾

La DMDIV constituye una reserva fisiológica limitada ante nuevas agresiones pulmonares, lo que se traduce en peor pronóstico al prolongar la duración de la VMA, aumentar el riesgo de fracaso en la extubación, prolongar la estancia en la UCI, propiciar las complicaciones postoperatorias, incrementar la mortalidad, además de

asociarse con el reingreso a la UCI. Es un marcador de gravedad de la enfermedad y de mal pronóstico que en etapa temprana de la enfermedad crítica es análoga a cualquier otra forma de disfunción orgánica.⁽²³⁾

Recientemente se ha hecho énfasis en minimizar el riesgo asociado con la VMA, especialmente una entidad denominada LPIV mediada principalmente por el estrés mecánico y la tensión causada por el ventilador. Así como por la lesión pulmonar auto-infligida por el paciente (P-SILI, por sus siglas en inglés) (tabla 1). Adicionalmente, se ha observado que la VMA afecta el músculo diafragmático por diversas vías de interacción.^(5, 24)

Tabla 1. Conceptos básicos y mecanismos de LPIV y P-SILI

LPIV	Excesivo estrés y <i>strain</i> regional/global aplicado al pulmón con distress respiratorio (“ <i>baby lung</i> ”)
Volutrauma	Lesión pulmonar por sobre distensión alveolar, ocasionada por volumen tidal excesivo
Barotrauma	Lesión pulmonar causada por una alta presión transpulmonar que fragmenta las estructuras alveolares
Atelectrauma	Lesión pulmonar ocasionada por la apertura y cierre cíclico de unidades alveolares
Biotrauma	Lesión pulmonar ocasionada por mediadores inflamatorios, que además de lesión local pueden ocasionar inflamación sistémica y falla orgánica múltiple
Mecanotrauma	Lesión pulmonar ocasionada por sobredistensión alveolar a repetición y reclutamiento/desreclutamiento cíclico.
Ergotrauma	Lesión pulmonar inducida por exceso de poder mecánico aplicado sobre una superficie pulmonar heterogénea
P-SILI	Condiciones en las que el mantenimiento de la respiración espontánea en pacientes con pulmones dañados y un estímulo respiratorio elevado provoca cambios en la presión/volumen global y regional. Desarrollado en respuesta a la exigencia de un <i>drive</i> respiratorio hiperactivo con necesidad de satisfacer las demandas de oxigenación.

Fuente: Adaptado de Cuba et al.^(5,25)

La creciente comprensión en los mecanismos de miotrauma diafragmático, LPIV y P-SILI permite un enfoque de VMA que integre medidas de protección pulmonar y diafragmática, con el objeto de favorecer la liberación de la VMA, prevenir la discapacidad a largo plazo y aumentar la supervivencia.^(26,27)

En este sentido, la implementación de estrategias ventilatorias que incluyan la protección muscular diafragmática, mientras se mantiene la protección pulmonar, representa el gran desafío actual. Recientemente se han propuesto distintos objetivos durante la programación de la VMA que pretenden contribuir a una ventilación protectora pulmonar y diafragmática (tabla 2).^(16,24,26,27)

Tabla 2. Parámetros potenciales de seguridad para una protección pulmo-diafragmático durante la VMA

Objetivos	Parámetros
Prevenir miotrauma por sobre asistencia	$P_{mus} \geq 3-5 \text{ cmH}_2\text{O}$ $P_{tdi} \geq 3-5 \text{ cmH}_2\text{O}$ $P_{es} \leq -3 \text{ cmH}_2\text{O}$ $P_{0,1} > 1-1,5 \text{ cmH}_2\text{O}$ $FED \geq 15 \%$ $A_{Edi} \geq 5 \mu\text{V}$ o > al valor objetivo basado en los parámetros precedentes
Prevenir miotrauma por baja asistencia o sobrecarga	$P_{mus} \leq 10-15 \text{ cmH}_2\text{O}$ $P_{tdi} \leq 10-15 \text{ cmH}_2\text{O}$ $P_{es} \geq -12/-8 \text{ cm H}_2\text{O}$ $P_{0,1} < 3,5 - 5 \text{ cmH}_2\text{O}$ $P_{oe} \geq -20/-15 \text{ cmH}_2\text{O}$ $FED \leq 30-40 \%$ $A_{Edi} \leq$ valor límite basado en los otros parámetros de presión precedentes
Prevenir miotrauma excéntrico	Evitar las siguientes asincronías paciente ventilador: Esfuerzos infectivos Trigger reverso Ciclado prematuro
Leyenda: P _{mus} : presión muscular respiratoria; P _{tdi} : presión transdiafragmática; P _{es} : Presión esofágica; P _{0,1} : Presión de oclusión en la vía aérea durante los primeros 100 milisegundos; P _{oe} : Presión de oclusión espiratoria; FED: Fracción de engrosamiento diafragmático; A _{Edi} : Actividad eléctrica del diafragma.	

Considerando la relevancia de la DMD en pacientes críticos, la literatura actual se ha comprometido a priorizar la atención de los pacientes bajo VMA para monitorizar la FMD en la UCI y prevenir el desarrollo de DMDIV.⁽²⁸⁾

Ecografía clínica y diafragmática

El *point of care ultrasound* (POCUS) en países de habla inglesa, ha experimentado un vertiginoso desarrollo en los últimos años. Su uso se ha extendido a la mayoría de las especialidades médicas y ha dejado de ser un examen complementario para integrarse al método clínico. Resultado de la práctica clínica cotidiana y a la cabecera del enfermo se ha posicionado como una excelente herramienta en diferentes escenarios de la medicina intensiva, la anestesiología y la emergentología. Resulta una herramienta de menor costo, aplicable a la cabecera del enfermo, no emite radiaciones, evita el traslado del enfermo crítico hacia otras instalaciones, y la curva de aprendizaje es fácil y aplicable a diferentes entornos clínicos. No obstante, es destacable comentar que su auge en Latinoamérica ha sido más lento y sus principales indicaciones en la actualidad se centran en la guía visual para accesos venosos y ecocardiogramas.^(10,29,30)

Actualmente se han evaluado la precisión diagnóstica de la ED a pie de cama para predecir el éxito en la retirada de la VMA, con resultados prometedores. Al evaluar la función del diafragma, la ED puede ayudar a los médicos a tomar decisiones informadas sobre el momento y el método de destete, reduciendo potencialmente la duración de la VMA y las complicaciones asociadas. Ofrece información sobre la presencia de atrofia del diafragma y de la magnitud del esfuerzo de este músculo; mientras que la movilidad o ExD informa sobre la actividad muscular. Las mediciones más empleadas en diversos estudios son la ExD y la medición FED.^(31,32)

CONCLUSIONES

El diafragma es el principal músculo implicado en la respiración y la disfunción muscular diafragmática representa una complicación frecuente en pacientes críticamente enfermos. Se ha descrito el valor pronóstico negativo en enfermos que cursan con dicha entidad además de presentar mayor necesidad de ventilación mecánica artificial y estadía hospitalaria prolongada. En este contexto, la ecografía diafragmática es una herramienta que ayuda a la toma de decisiones sobre el momento y el método de destete, reduce potencialmente la duración del soporte respiratorio y las complicaciones asociadas.

REFERENCIAS

1. Ferreyro BL, Angriman F, Munshi L, Del Sorbo L, Ferguson ND, Rochweg B et al. Association of Noninvasive Oxygenation Strategies With All-Cause Mortality in Adults With Acute Hypoxemic Respiratory Failure: A Systematic Review and Meta-analysis. *JAMA* [internet]. 2020 [consultado 01/03/2024];324(1):57-67. Disponible en: <https://doi.org/10.1001/jama.2020.9524>
2. Zisk-Rony RY, Weissman C, Weiss YG. Mechanical ventilation patterns and trends over 20years in an Israeli hospital system: policy ramifications. *Isr J Health Policy Res* [internet]. 2019 [consultado 01/03/2024];8(1):20. doi: 10.1186/s13584-019-0291-y
3. Ricard JD, Roca O, Lemiale V, Corley A, Braunlich J, Jones P et al. Use of nasal high flow oxygen during acute respiratory failure. *Intensive Care Med* [internet]. 2020 [consultado 01/03/2024];46(12):2238-2247. Disponible en: doi: 10.1007/s00134-020-06228-7.
4. Oczkowski S, Ergan B, Bos L, Chatwin M, Ferrer M, Gregoretti C et al. ERS clinical practice guidelines: high-flow nasal cannula in acute respiratory failure. *Eur Respir J* [internet]. 2022 [consultado 01/03/2024];59(4):2101574. Disponible en: doi: 10.1183/13993003.01574-2021
5. Cuba-Naranjo AJ, Sosa-Remón A, Jeréz-Alvarez AE. Poder mecánico, variable relacionada a la lesión pulmonar inducida por la ventilación y la mortalidad. *Revista Chilena de Anestesia* [internet]. 2023 [consultado: 01/03/2024];52(1):89-94. Disponible en: DOI: 10.25237/revchilanestv5209111522
6. Marchioni A, Tonelli R, Fantini R, Tabbi L, Castaniere I, Livrieri F et al. Respiratory Mechanics and Diaphragmatic Dysfunction in COPD Patients Who Failed Non-Invasive Mechanical Ventilation. *Int J Chronic Obstr Pulm Dis* [internet]. 2019 [consultado: 01/03/2024];14:2575-85. <https://doi.org/10.2147/COPD.S219125>.
7. Fantini R, Tonelli R, Castaniere I, Tabbi L, Pellegrino MR, Cerri S et al. Serial ultrasound assessment of diaphragmatic function and clinical outcome in patients with amyotrophic lateral sclerosis [internet]. 2019 [consultado: 01/03/2024];19(1):160. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s12890-019-0924-5>.
8. Sayas Catalán J, Hernández-Voth A, Villena Garrido MV. Ultrasonido diafragmático: una

herramienta innovadora se ha convertido en una rutina. Arch Bronconeumol [internet]. 2020 [consultado: 01/03/2024];56(4):201-203. Disponible en: doi: 10.1016/j.arbres.2019.06.020

9. Rocca E, Zanza C, Longhitano Y, Piccolella F, Romenskaya T, Racca F et al. Lung Ultrasound in Critical Care and Emergency Medicine: Clinical Review. Adv Respir Med [internet]. 2023 [consultado: 01/03/2024];91(3):203-223. Disponible en: doi: 10.3390/arm91030017

10. Cuba-Naranjo AJ, Sosa-Remón A, Cabrales-Barbán A. Ecografía pulmonar en el diagnóstico de lesiones graves producidas por el virus SARS-CoV-2. Rev Cuban Med Mil [internet]. 2023 [consultado: 01/03/2024];52(1) e02302252. Disponible en: <https://revmedmilitar.sld.cu/index/php/mil/article/vie/2252>

11. Farghaly S, Hasan AA. Diaphragm ultrasound as a new method to predict extubation outcome in mechanically ventilated patients. Aust Crit Care [internet]. 2017 [consultado: 01/03/2024];30(1):37-43. Disponible en: doi: 10.1016/j.aucc.2016.03.004

12. Supinski GS, Morris PE, Dhar S, Callahan LA. Diaphragm Dysfunction in Critical Illness. Chest [internet]. 2018 [consultado: 01/03/2024];153(4):1040-1051. Disponible en: doi: 10.1016/j.chest.2017.08.1157

13. Ricoy J, Rodríguez-Núñez N, Álvarez-Dobaño JM, Toubes ME, Riveiro V, Valdés L. Diaphragmatic dysfunction. Pulmonology [internet]. 2019 [consultado: 01/03/2024];25(4):223-235. Disponible en: doi: 10.1016/j.pulmoe.2018.10.008

14. Scarlata S, Mancini D, Laudisio A, Raffaele AI. Reproducibility of diaphragmatic thickness measured by M-mode ultrasonography in healthy volunteers. Respir Physiol Neurobiol [internet]. 2019 [consultado: 01/03/2024];260:58-62. Disponible en: doi: 10.1016/j.resp.2018.12.004

15. Schepens T, Dianti J. Diaphragm protection: what should we target? Curr Opin Crit Care [internet]. 2020 [consultado: 01/03/2024];26(1):35-40. Disponible en: doi: 10.1097/MCC.0000000000000683.

16. Damiani LF, Jalil Y, Dubo S. Disfunción Diafragmática en Ventilación Mecánica: Evaluación e Implicancias Clínicas. Kinesiología [internet]. 2020 [acceso: 01/07/2022];39(2):8-18. Disponible en: <http://centros.bvsalud.org/?search=CL112.9&prefix=search&lang=pt>

17. Tocalini P, Vicente A, Carballo JM, Garegnani LI. Disfunción diafragmática asociada a la ventilación mecánica invasiva en pacientes adultos críticamente enfermos. Rev Fac Cien Med Univ Nac Cordoba [internet]. 2021 [consultado: 01/03/2024];78(2):197-206. DOI: <http://dx.doi.org/10.31053/1853.0605.v78.n2.28458>

18. Kapil S, Wilson JG. Mechanical ventilation in hypoxemic respiratory failure. Emerg Med Clin North Am [internet]. 2019 [consultado: 01/03/2024];37(3):431- 444. Disponible en: doi: 10.1016/j.emc.2019.04.005.

19. Schepens T, Dres M, Heunks L, Goligher EC. Diaphragm-protective mechanical ventilation. Curr Opin Crit Care [internet]. 2019 [consultado: 01/03/2024];25(1):77-85. Disponible en: doi: 10.1097/MCC.0000000000000578.

20. Duan H, Bai H. Is Mitochondrial Oxidative Stress the Key Contributor to Diaphragm Atrophy and Dysfunction in Critically Ill Patients? Crit Care Res Pract [internet]. 2020 [consultado: 01/03/2024];2020:8672939. Disponible en: doi: 10.1155/2020/8672939.

21. Berger D, Bloechlinger S, von-Haehling S, Doehner W, Takala J, Z'Graggen WJ et al. Dysfunction of respiratory muscles in critically ill patients on the intensive care unit. J Cachexia Sarcopenia Muscle [internet]. 2016 [consultado: 01/03/2024];7(4):403-412. Disponible en: doi: 10.1002/ jcsm.12108

22. Peñuelas O, Keough E, López-Rodríguez L, Carriedo D, Goncalves E, Barreiro E et al. Ventilator-induced diaphragm dysfunction: translational mechanisms lead to therapeutical alternatives in the critically ill. Intensive Care Med Exp [internet]. 2019 [consultado: 01/03/2024];7(1):48. Disponible en: doi: 10.1186/s40635-019-0259

23. Dres M, Demoule A. Monitoring diaphragm function in the ICU. Curr Opin Crit Care [internet]. 2020 [consultado: 01/03/2024];26(1):18-25. Disponible en: doi: 10.1097/ MCC.0000000000000682

24. Goligher EC, Dres M, Patel BK, Sahetya SK, Beitler JR, Telias I et al. Lung- and Diaphragm-Protective

Ventilation. Am J Respir Crit Care Med [internet]. 2020 [consultado: 01/03/2024];202(7):950-961. Disponible en: doi: 10.1164/rccm.202003-0655CP

25. Cuba-Naranjo AJ, Sosa-Remón A, Núñez-Verdecia, I. Presión de distensión alveolar: su asociación a la mortalidad y protección pulmonar en pacientes ventilados. Rev Cubana Anestesiol Reanim [Internet]. 2022 [consultado: 01/03/2024];21(2). Disponible en: <http://revanestesia.sld.cu/index.php/anestRean/article/view/810>

26. Schepens T, Goligher EC. Lung- and Diaphragm-protective Ventilation in Acute Respiratory Distress Syndrome: Rationale and Challenges. Anesthesiology [internet]. 2019 [consultado: 01/03/2024];130(4):620-633. Disponible en: doi: 10.1097/ALN.0000000000002605

27. Fiedler MO, Deutsch BL, Simeliunas E, Diktanaite D, Harms A, Brune M et al. Effect of moderate elevated intra-abdominal pressure on lung mechanics and histological lung injury at different positive end-expiratory pressures. PLoS One [internet]. 2020 [consultado: 01/03/2024];15(4):e0230830. Disponible en: doi: 10.1371/journal.pone.0230830

28. Heunks L, Ottenheim C. Diaphragm-Protective Mechanical Ventilation to Improve Outcomes in ICU Patients? Am J Respir Crit Care Med [internet]. 2018 [consultado: 01/03/2024];197(2):150-152. Disponible en: doi: 10.1164/rccm.201710-2002ED.

29. Sosa-Remón A, Jerez-Álvarez A, Remón-Chávez C. Ultrasonografía del diámetro de la vaina del nervio óptico en el monitoreo de la presión intracraneal. Rev Cubana Anestesiol Reanim [Internet]. 2022 [consultado: 01/03/2024];20(3). Disponible en: <http://revanestesia.sld.cu/index.php/anestRean/article/view/710>

30. Sosa-Remón A, Boch-Rodríguez W, Jerez-Álvarez AE, Remón-Chávez CE, Jerez-Álvarez GA. Ultrasonografía del diámetro de la vaina del nervio óptico en paciente con meningoencefalitis complicada. Rev Méd Electrónica [Internet]. 2022 [consultado: 01/03/2024];44(4). Disponible en: <http://www.revmedicaelectronica.sld.cu/index.php/rme/article/view/4585/5491>

31. Parada-Gereda HM, Tibaduiza AL, Rico-Mendoza A, Molano-Franco D, Nieto VH, Arias-Ortiz WA, Perez-Terán P, Masclans JR. Effectiveness of diaphragmatic ultrasound as a predictor of successful weaning from mechanical ventilation: a systematic review and meta-analysis. Crit Care [Internet]. 2023 [consultado: 01/03/2024];27(1):174. Disponible en: doi: 10.1186/s13054-023-04430-9

32. Varón-Vega F, Hernández Á, López M, Cáceres E, Giraldo-Cadavid LF, Uribe-Hernandez AM, Crevoisier S. Usefulness of diaphragmatic ultrasound in predicting extubation success. Med Intensiva [Internet]. 2021 [consultado: 01/03/2024];45(4):226-233. English, Spanish. Disponible en: doi: 10.1016/j.medin.2019.10.007

FINANCIACIÓN

Los autores no recibieron financiación para la aplicación del presente estudio.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Conceptualización: Arian Jesús Cuba Naranjo, Ariel Sosa Remón.

Curación de datos: Arian Jesús Cuba Naranjo, Ariel Sosa Remón, Yudiel Pérez Yero, Ana Esperanza Jerez Álvarez.

Análisis formal: Arian Jesús Cuba Naranjo, Osman Arteaga Iriarte.

Investigación: Arian Jesús Cuba Naranjo- Ariel Sosa Remón, Yudiel Pérez Yero, Ana Esperanza Jerez Álvarez.

Metodología: Arian Jesús Cuba Naranjo- Ariel Sosa Remón y Jhossmar Cristians Auza-Santivañez.

Administración del proyecto: Arian Jesús Cuba Naranjo.

Visualización: Ariel Sosa Remón y Ana Esperanza Jerez Álvarez.

Supervisión: Arian Jesús Cuba Naranjo, Ariel Sosa Remón.

Validación: Arian Jesús Cuba Naranjo, Ariel Sosa Remón.

Redacción del borrador original: Arian Jesús Cuba Naranjo, Ariel Sosa Remón, Yudiel Pérez Yero, Jhossmar Cristians Auza-Santivañez, Héctor Regino Díaz Águila, Osman Arteaga Iriarte.

Redacción-revisión y edición: Arian Jesús Cuba Naranjo, Ariel Sosa Remón, Yudiel Pérez Yero, Jhossmar Cristians Auza-Santivañez, Héctor Regino Díaz Águila, Osman Arteaga Iriarte.