

## Evaluación ultrasonográfica del diafragma en el enfermo grave

Raúl Carrillo Esper,\* Yazmín Galván Talamantes‡

### RESUMEN

El uso de ultrasonografía (USG) es práctica cotidiana en las unidades de cuidados intensivos (ICU). La USG es de gran utilidad para evaluar la anatomía y cinética diafragmática. El ultrasonido es un método simple, no invasivo, y a la cabecera del enfermo que evalúa los movimientos diafragmáticos normales y sus principales alteraciones en el enfermo grave. Además de evaluar el movimiento normal el ultrasonido permite visualizar patrones especiales de movimiento y cambios en el grosor diafragmático durante la respiración. Estos patrones proporcionan información en el abordaje de diferentes escenarios como en la sincronización paciente-ventilador y el retiro de la ventilación mecánica. El objetivo de este trabajo es revisar la fisiología del diafragma, su evaluación ultrasonográfica y la aplicación de esta técnica en el enfermo grave.

**Palabras clave:** Diafragma, ultrasonido.

### SUMMARY

*The use of ultrasonography (USG) is a daily practice in the intensive care unit (ICU). USG Has been used in the assessment of diaphragm anatomy and kinetics. Ultrasound provides a simple, non-invasive method of quantifying diaphragmatic movement in a variety of normal and pathological conditions in the critically ill. USG can assess the characteristics of diaphragmatic movement, special patterns of motion and changes in diaphragmatic thickness during respiration. This parameters can provide information in the assessment and follow-up of different scenarios like patient-ventilator interactions and weaning. The aim of this paper is to review the physiology of the diaphragm, its ultrasonographic evaluation and the application of this technique in the critically ill.*

**Key words:** Diaphragm, ultrasound.

### INTRODUCCIÓN

La ultrasonografía (USG) se ha convertido en una herramienta indispensable en el manejo de los pacientes críticamente enfermos, especialmente en situaciones de emergencia donde no es factible el traslado de los pacientes inestables. La USG es una técnica no invasiva, costo-efectiva, segura, fácil de realizar a la cabecera del paciente,

superando muchas de las limitaciones técnicas de procedimientos de imágenes convencionales. El diafragma es el principal músculo respiratorio, su disfunción predispone a complicaciones respiratorias, prolongando la duración de la ventilación mecánica.<sup>1</sup> La evaluación diafragmática ha tomado popularidad en unidades de cuidados intensivos principalmente en pacientes con lesión en nervio frénico, enfermedades neuromusculares, trauma de tórax, en el seguimiento posterior a cirugías de abdomen, cardíacas y en pacientes críticamente enfermos bajo ventilación mecánica; la observación de la cinética del diafragma en estas condiciones clínicas es esencial; la determinación de la excursión diafragmática, espesor diafragmático, velocidad de contracción diafragmática, tiempo inspiratorio y duración del ciclo respiratorio pueden ser medibles, diagnosticando de manera temprana y oportuna parálisis diafragmática, disfunción diafragmática postoperatoria y determinar el momento ideal para retiro de ventilación mecánica exitosa.

\* Academia Nacional de Medicina. Academia Mexicana de Cirugía. Jefe de la Unidad de Terapia Intensiva.

‡ Alumna del Curso de Ultrasonografía Integral Avanzada en el Enfermo Grave.

Fundación Clínica Médica Sur.

Fecha de recepción: 30 de abril 2014

Fecha de aceptación: 09 de mayo 2014

Este artículo puede ser consultado en versión completa en <http://www.medigraphic.com/medicinacritica>

El objetivo de esta revisión es dar a conocer los mecanismos de disfunción diafragmática, técnica y aplicaciones clínicas de la USG diafragmática en el enfermo grave.

### FUNCIÓN Y DISFUNCIÓN DIAFRAGMÁTICA

El diafragma es el principal músculo de la respiración, es responsable de la ejecución de 30-90% del trabajo respiratorio. Los músculos respiratorios son elementos contráctiles que permiten generar el flujo de aire necesario para el intercambio gaseoso; poseen dos características funcionales fundamentales: fuerza y resistencia; la fuerza está relacionada principalmente con el número de elementos contráctiles, se evalúa con presiones inspiratorias máximas y la resistencia es la capacidad del músculo de sostener una fuerza contráctil, está relacionada con el flujo sanguíneo muscular, densidad mitocondrial y capacidad oxidativa. Su contracción hace ascender las costillas inferiores y desplaza con sentido caudal el contenido abdominal. Esto hace disminuir la presión intratorácica lo que favorece a que se establezca un flujo aéreo inspiratorio.<sup>2,3</sup>

El efecto de la enfermedad crítica sobre la función de los músculos respiratorios es a menudo un fenómeno generalizado conocido como «debilidad adquirida en unidad de cuidados intensivos». Factores tales como la inflamación sistémica, efectos farmacológicos y la inmovilidad han sido identificados en la patogénesis de esta entidad;<sup>4</sup> la relevancia clínica radica en el tiempo de apoyo bajo ventilación mecánica asociada considerablemente a disfunción

diafragmática inducida por ventilación, neumonía y aumento de la morbilidad y mortalidad. En un estudio reciente publicado por Jaber y colaboradores<sup>5</sup> se reportó una afección del nervio frénico en 30% de su grupo de estudio, en los primeros 5-6 días con ventilación mecánica invasiva, lo que indica un rápido desarrollo de debilidad diafragmática. En la última década la comprensión de los mecanismos celulares y moleculares que afectan la dinámica muscular ha sido ampliamente estudiada, entendiéndose que existe un desequilibrio entre la proteólisis y la síntesis de proteínas resultando en pérdida de proteínas contráctiles;<sup>6</sup> además la función proteica muscular se ve afectada por la oxidación y desfosforilación. La inflamación y estrés oxidativo son los principales impulsores de esta disfunción<sup>7</sup> (Figura 1).

### Mecanismos celulares asociados a disfunción diafragmática inducida por ventilación mecánica

Se ha documentado en estudios de animales atrofia de músculos respiratorios a las 18 horas posteriores al inicio de la ventilación mecánica;<sup>8</sup> la evidencia en seres humanos se ha demostrado en reportes histopatológicos con atrofia difusa de fibras diafragmáticas en ventilación mecánica invasiva en modo controlado.<sup>9</sup> La atrofia puede resultar de la disminución de la síntesis de proteínas o incremento de la degradación de proteínas; existen tres sistemas de proteasas de degradación intracelular de proteínas: proteasas lisosomales, calpaínas y sistema de ubiquitin-proteasoma que se consideran importantes para la proteólisis durante la atrofia muscular degra-

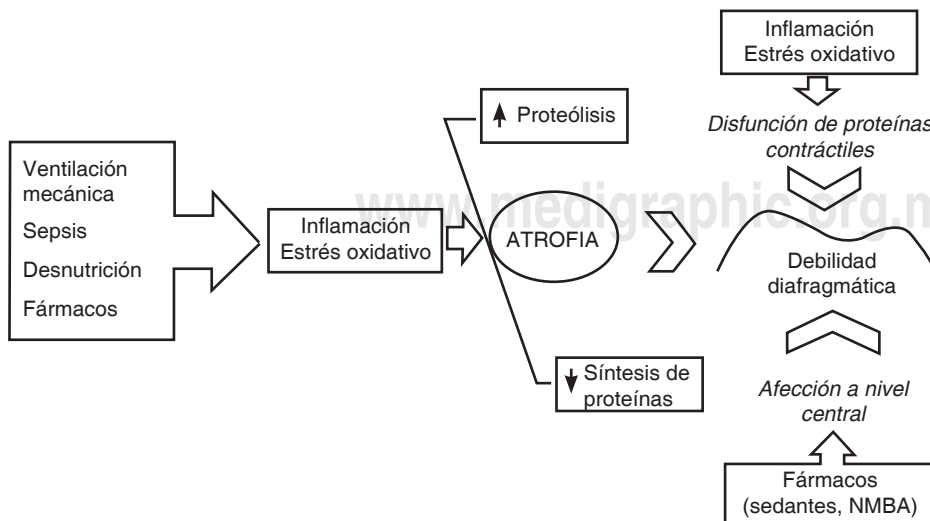


Figura 1.

Representación gráfica de condiciones y vías que contribuyen a la debilidad adquirida del diafragma en pacientes en estado crítico. NMBA = Agentes bloqueadores neuromusculares.

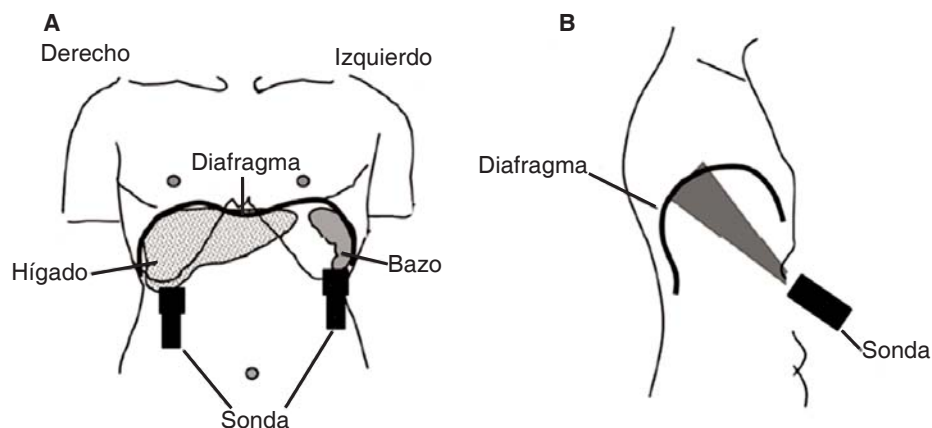
dando las proteínas del citoesqueleto en el músculo. A nivel de las fibras musculares existen modificaciones de miosina, en estudios experimentales en ratas bajo ventilación mecánica se produce una disminución considerable de células tipo II, dando lugar a disminución de la fuerza diafragmática.<sup>10</sup> La presencia de modificaciones oxidativas en el diafragma de ratas sometidas a ventilación mecánica es rápida aproximadamente de seis horas. Se ha identificado en estudios experimentales alteración considerable en la actividad biológica de enzimas antioxidantes como glutatión, superóxido dismutasa, catalasa y la oxigenasa-1 hem durante el proceso de lesión diafragmática; además se limita la actividad oxidativa de los complejos de factor 1 de crecimiento parecido a la insulina (IFG-1) fosfoinositida-3 (PI3K)-Akt o la expresión de ligasas de ubiquitina.<sup>11</sup> Las anomalías estructurales en diferentes componentes subcelulares de fibras diafragmáticas bajo ventilación mecánica incluyen: disfunción, atrofia de miofibrillas, inflamación a nivel mitocondrial, lipídico y vacuolar.<sup>7</sup>

### Evaluación ultrasonográfica del diafragma

La ultrasonografía se realiza con transductor de 3.5-5 MHz, éste se posiciona inmediatamente de-

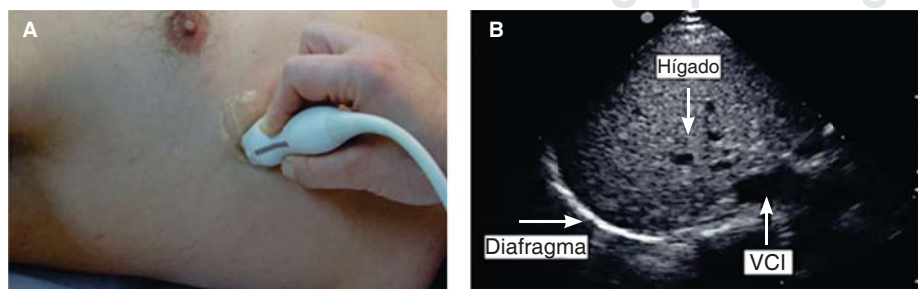
bajo del reborde costal derecho e izquierdo a la altura de la línea media clavicular o axilar anterior, dirigido en sentido craneal, medial y dorsal, por lo que el haz ultrasonográfico alcanza perpendicularmente el tercio posterior del hemidiafragma (*Figuras 2 A y B*). Se realiza un escaneo en eje largo de los espacios intercostales, con el lóbulo derecho del hígado como ventana acústica en el hemidiafragma derecho y el bazo al lado izquierdo. Igualmente se recomienda evaluar todas las vistas diafragmáticas que incluyen: vista intercostal, vista anterior subcostal, vista posterior subcostal y subxifoidea. El movimiento normal diafragmático durante la inspiración es caudal, ya que el diafragma se acerca a la sonda y durante la espiración el diafragma se aleja del transductor<sup>1</sup> (*Figura 3 A*).

De acuerdo a las modalidades de escaneo, la ultrasonografía nos permite realizar evaluaciones anatómicas y funcionales del diafragma, usando modo bidimensional o (2D), o modo movimiento (M) respectivamente. Los pacientes son examinados en respiración espontánea, en pacientes que están bajo ventilación mecánica se requiere desconectar brevemente del ventilador para visualizar mejor los esfuerzos respiratorios espontáneos. Cabe mencionar que en los pacientes críticos pue-



**Figura 2.**

*Ventanas de insonación. A. Hemidiafragma derecho e izquierdo, ventanas acústicas hígado y bazo. B. El transductor se dirige cranealmente para que el haz del ultrasonido alcance perpendicularmente la parte posterior del diafragma.*



**Figura 3.**

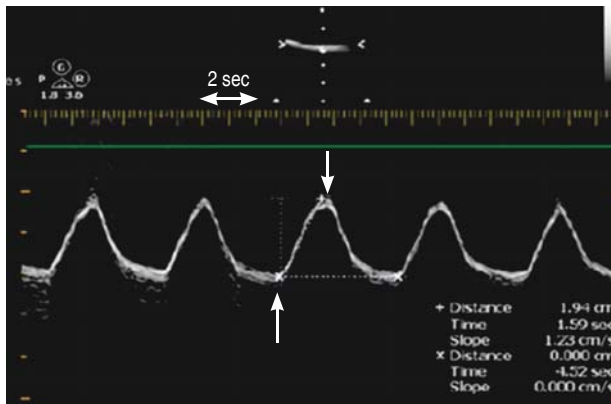
*Ultrasonido diafragmático. A. Imagen en la que se observa la colocación del transductor para la insonación diafragmática. B. Modo 2D en donde se observa el diafragma como una línea hiperecótica (brillante).*

den evaluarse derrames pleurales, consolidaciones, atelectasias que al contrario de lo que cabría esperar, permite más fácilmente la identificación de los hemidiafragmas.

**Modo bidimensional o (2D):** es usado para el estudio anatómico del diafragma permitiendo evaluar la continuidad de las fibras. Las cúpulas del diafragma actúan como un reflejo especular de ondas de ultrasonido, por lo que se ven como una gruesa línea ecogénica (Figura 3 B).

**Modo movimiento (M):** usado para evaluar la excursión diafragmática (desplazamiento en cm), la velocidad de contracción diafragmática (pendiente, cm/seg), tiempo de inspiración (T<sub>insp</sub>, seg), duración del ciclo (T<sub>tot</sub>, seg) y grosor diafragmático (mm).

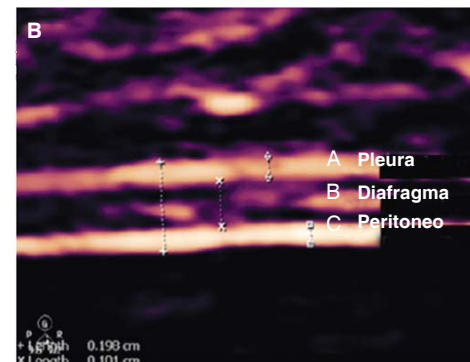
La excursión diafragmática se puede evaluar en la vista anterior, posterior o subxifoidea, en individuos



**Figura 4.** Imagen ultrasonográfica en modo M, las flechas indican el comienzo y el fin de la contracción diafragmática, la distancia entre las flechas indica la excursión diafragmática (desplazamiento) en este ejemplo se muestra un valor de excursión de 1.9 cm.

**Figura 5.**

Evaluación ultrasonográfica del diámetro diafragmático con transductor de 10 MHz. **A.** Área de insonación y colocación de transductor. **B.** Imagen en la que se observa el grosor diafragmático de acuerdo a la distancia entre A y C en cm. Componentes del emparedado diafragmático, imagen ecogénica (pleura A), imagen central no ecogénica (diafragma B) y capa subdiafragmática ecogénica (peritoneo C).



sanos se ha reportado como valor medio de 4.7 a 1.8 ± 0.3 cm para hombres y para mujeres de 3.7 a 1.6 ± 0.3 cm;<sup>12</sup> los valores de excursión se identificaron por Kim y colaboradores (> 1.8 cm) en pacientes ventilados en maniobras de retiro de ventilación con éxito; en varios estudios no se han identificado diferencias significativas en ambos hemidiafragmas<sup>13</sup> (Figura 4).

La velocidad de contracción diafragmática (pendiente cm/seg) ha sido evaluada en personas sanas, no se han documentado diferencias significativas entre hombres o mujeres, estas mediciones han dado como media en sus resultados de 1.3 ± 0.4 cm/seg la velocidad de contracción diafragmática se obtiene dividiendo la excursión diafragmática entre el tiempo inspiratorio (T<sub>ins</sub>).

El ultrasonido se ha utilizado para evaluar el grosor o espesor diafragmático (TDI mm) en la zona de aposición del diafragma que se evalúa en la ventana intercostal, ésta es la zona donde el contenido abdominal alcanza la caja torácica inferior; de esta manera se aprecian tres capas distintas: una capa central no ecogénica (diafragma) rodeada de dos capas ecogénicas (peritoneo y pleura), para esta evaluación se requiere cambiar el transductor por uno de alta frecuencia (10-12 MHz). Los valores normales del grosor diafragmático en condiciones normales oscilan entre 1.8-3 mm<sup>14</sup> (Figuras 5 a y b).

Las mediciones del grosor diafragmático se obtienen al final de la inspiración (T<sub>Ei</sub>), como al final de la espiración (T<sub>Ee</sub>), posteriormente con estos valores se aplica la siguiente fórmula para el cálculo del grosor diafragmático (TF), TF= (T<sub>Ei</sub>-T<sub>Ee</sub>)/T<sub>Ee</sub>, con un valor normal de 2.6.<sup>15</sup>

### Limitaciones de la técnica

Una limitación importante en la USG diafragmática especialmente en paciente en unidades de



cuidados intensivos es la mala ventana acústica con una aparición entre 2 y 10%,<sup>16</sup> se recomienda medir la excursión diafrágica lo más perpendicular a la línea diafrágica de lo contrario la exactitud de mediciones pueden verse seriamente afectadas.

### ESCENARIOS CLÍNICOS

Se han descrito diferentes escenarios clínicos en los que el USG diafrágico es de gran utilidad en el entorno de la medicina intensiva.

#### Disfunción diafrágica postoperatoria

La disfunción diafrágica contribuye a complicaciones pulmonares postoperatorias en cirugías torácicas y abdominales, lo que genera un retraso en la extubación, estancia prolongada en unidad de cuidados intensivos, neumonías y atelectasias. Kim y colaboradores<sup>13</sup> demostraron que la amplitud de inspiración diafrágica predice cambios en la capacidad vital a lo largo de siete días del postoperatorio en pacientes sometidos a lobectomía hepática, sus valores de corte se estimaron entre 36 y 24 mm, generando una disminución de la capacidad vital de 30 y 50%. Lerolle y colaboradores<sup>17</sup> evaluaron la excursión diafrágica en pacientes sometidos a cirugía cardiotorácica, encontrando como media de corte valores <25 mm con predictor de disfunción diafrágica severa. Índice de Gilbert <0 (indica movimiento paradójico del diafragma) durante la medición de la presión transdiafrágica y una excursión diafrágica máxima <25 mm predice complicaciones severas y aumento en los días de ventilación mecánica.<sup>18</sup> Con estos estudios se evidencian las ventajas de esta técnica no invasiva, disponible cada vez más en unidades de pacientes críticos, logrando prevenir y reducir complicaciones en el postquirúrgico.

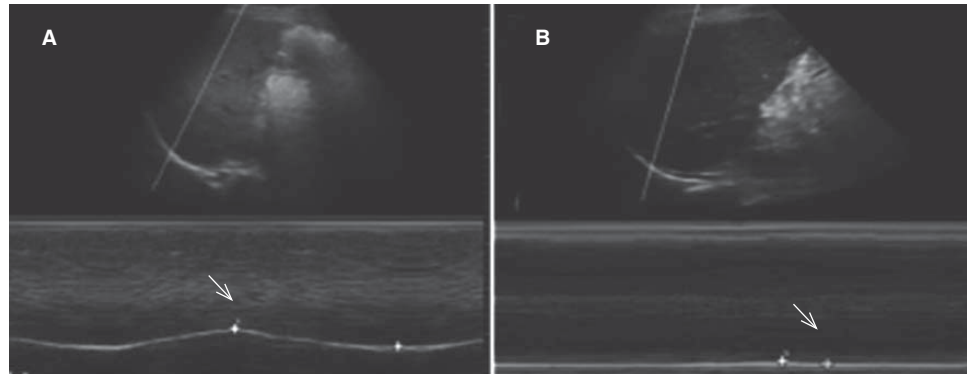
#### Retiro de la ventilación mecánica

Pacientes en unidades de cuidado intensivo con apoyo de ventilación mecánica se documenta un fallo en la extubación entre 20 a 25%, generando mayores complicaciones como neumonía, retraso en la reintubación, traqueostomía, obstrucción de la vía aérea, broncoaspiración, entre otras. En estos pacientes está bien documentada la disfunción diafrágica asociada a la ventilación mecánica,

la cual se define como la pérdida de la capacidad para generar una contracción adecuada secundaria a debilidad y atrofia que se asocia a la ventilación, en este entorno la ecografía es de gran importancia para valorar el momento ideal de liberación exitosa de ventilación mecánica. Jiang y colaboradores<sup>16</sup> realizaron un estudio prospectivo observacional, su objetivo fue demostrar si los movimientos del hígado o bazo identificados por ultrasonografía son un predictor adecuado para el éxito de la extubación, su valor de corte fue de 1.1 cm de desplazamiento de ambos órganos, la sensibilidad y especificidad para predecir extubación exitosa fue de 88.4 y 82.6% respectivamente superando parámetros tradicionales como índice de respiración superficial y presión inspiratoria máxima (Pi max). Kim y colaboradores<sup>13</sup> evaluaron la excursión diafrágica en 88 pacientes en cuidados intensivos se diagnosticó la disfunción diafrágica por ecografía en modo M, documentando una prevalencia ultrasonográfica de disfunción diafrágica de 29%, este grupo identificado había presentado fracasos durante pruebas convencionales, sus resultados sugieren que la ecografía diafrágica puede ser útil en la identificación de pacientes con alto riesgo de fracaso de extubación. Igualmente se ha identificado en múltiples estudios que los pacientes en ventilación espontánea con volúmenes corriente óptimos pero pobre excursión diafrágica tienen más probabilidad de fallar una prueba de extubación en comparación con pacientes con adecuados volúmenes corriente y excursión diafrágica adecuada; ya que la excursión diafrágica representa el resultado final de la fuerza diafrágica combinada con presiones intratorácicas e intraabdominales adecuadas.<sup>16</sup>

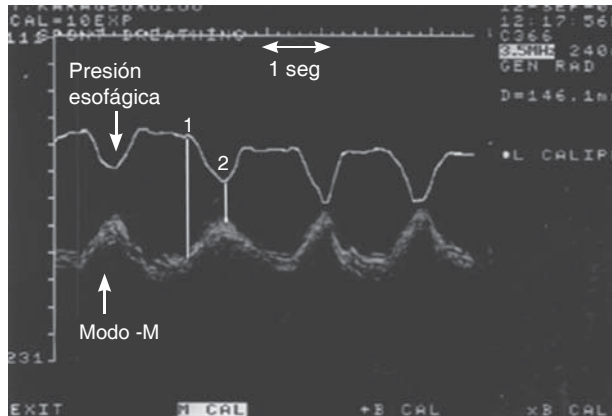
#### Parálisis diafrágica

Parálisis y disfunción diafrágica pueden ser observados en muchas circunstancias clínicas como cirugía abdominal, torácica, lesión medular, polineuropatía del enfermo grave, lesión directa al nervio frénico o polirradiculoneuritis; anteriormente los métodos para diagnosticar debilidad y parálisis diafrágica a través de estimación de presiones torácicas (presión transdiafrágica Pdi), abdominales, fluoroscopia, radiografía de tórax, resonancia magnética y pruebas de función pulmonar son poco sensibles, ineficaces, pueden generar resultados falsos negativos y generan el inconveniente



**Figura 6.**

Ultrasonido diafragmático en el que se observa. **A.** Mala excursión diafragmática. **B.** Parálisis diafragmática.



**Figura 7.** Evaluación simultánea de la presión esofágica y ultrasonido diafragmático en la que se muestra la correlación y sincronización del comienzo de la contracción diafragmática y presión esofágica línea vertical 1. La segunda línea vertical 2 indica el final de la inspiración y la caída de presión máxima esofágica.

de traslado de pacientes inestables, intubados bajo ventilación mecánica que en muchos escenarios no son aplicables en pacientes en unidades de cuidados intensivos.<sup>21</sup>

Houston y colaboradores<sup>22</sup> diagnosticaron anomalías en el movimiento diafragmático en 22 pacientes, de los cuales sólo siete fueron identificados con disfunción del movimiento diafragmático por fluoroscopia. Durante la evaluación inspiratoria diafragmática en modo de escaneo en movimiento, pacientes con debilidad diafragmática pueden ser diagnosticados apreciándose un movimiento diafragmático caudal reducido y en pacientes con parálisis diafragmática se visualiza un movimiento paradójico.<sup>12</sup> De esta manera se puede realizar un seguimiento de la evolución de la parálisis; en estas entidades la excursión

diafragmática del hemidiafragma afectado se cuantifica inferior a 4 mm y diferencia de más de 50% de las excursiones de los hemidiafragmas (Figuras 6 A y B).

### Debilidad diafragmática

En enfermedades neuromusculares, la USG puede emplearse para evaluar el movimiento de la cúpula diafragmática (velocidad de contracción y movimiento) y grosor diafragmático en la zona de aposición. En la evaluación ultrasonográfica de los pacientes con esta entidad se observa ausencia de excursión diafragmática sin evidencia de diferencia en el grosor durante inspiración normal y la inspiración máxima lo que sugiere un deterioro severo de la función contráctil del diafragma, documentado en revisiones ecocardiográficas en pacientes con esclerosis lateral amiotrófica.<sup>23</sup> Por lo tanto de acuerdo a la evidencia documentada es de gran utilidad el uso de USG diafragmática en pacientes con enfermedades neuromusculares identificando pacientes que requieran de apoyo mecánico ventilatorio de manera oportuna.

### Evaluación en pacientes con soporte ventilatorio parcial

Estudios en voluntarios sanos y pacientes con ventilación mecánica asistida confirman que en el modo en movimiento de escaneo diafragmático ultrasonográfico, proporciona una imagen de espejo en relación a los cambios de presión esofágica, durante la inspiración, como el diafragma se contrae y la cúpula diafragmática desciende, la presión esofágica progresivamente coincide con movimientos diafragmáticos en modo M, duran-

te la espiración, el esófago aumenta de presión, mientras que el trazo ecocardiográfico desciende (Figura 7). Por lo tanto, el ultrasonido puede proporcionar una modalidad de demostración de iniciación y terminación del esfuerzo inspiratorio en tiempo real en pacientes durante soporte ventilatorio parcial, eliminando el uso invasivo de inserción de catéteres de balón esofágico.<sup>1</sup> Con base en lo anterior la USG diafragmática es de gran utilidad para evaluar las interacciones en tiempo real paciente-ventilador visualizando en cada paciente el esfuerzo inspiratorio, con el fin de documentar casos de asincronía paciente-ventilador; la USG diafragmática podría incluso permitir un correcto ajuste de los parámetros ventilatorios con el fin de optimizar la sincronía del esfuerzo inspiratorio con la ventilación mecánica asistida.

### CONCLUSIÓN

La USG es una excelente herramienta para la evaluación de la estructura y función dinámica diafragmática, es precisa, reproducible, sin radiación ionizante, fácil de realizar a la cabecera del paciente y costo efectiva en pacientes críticamente enfermos. Las investigaciones futuras sobre la evaluación diafragmática son alentadoras y se prevé evaluar la relación entre espesor diafragmático y desplazamiento como predicción de extubación, evaluación ultrasonográfica del diafragma y su relación con la sincronía-asincronía del paciente ventilado, atrofia en pacientes con enfermedades que afectan la musculatura, seguimiento del paciente para liberación exitosa de ventilación mecánica, estrategias terapéuticas, su relación con biomarcadores así como la medición de la relajación diafragmática que se ha identificado como un marcador de deterioro del rendimiento contráctil.<sup>19</sup> La USG diafragmática proporciona información cualitativa y cuantitativa sobre la función diafragmática, como parte de una evaluación global en pacientes en unidades de cuidados intensivos, altamente útil en la identificación de una subpoblación con alto riesgo de complicaciones respiratorias. Por lo anterior recomendamos implementar la evaluación USG de la función diafragmática que presenta el enfermo grave.

### BIBLIOGRAFÍA

1. Matamis D, Soilemezi E, Tsagourias M, Akoumianaki E, Dimassi S, Boroli F, et al. Sonographic evaluation of the

- diaphragm in critically ill patients. Technique and clinical applications. *Intensive Care Med.* 2013;39:801-810.
2. Epstein SK. An overview on respiratory muscle function. *Clin Chest Med.* 1995;155:619-639.
3. Grassino A, Clanton T. Respiratory muscle fatigue. *Semin Respir Med.* 1991;12:305-321.
4. Schweickert WD, Hall J. ICU-acquired weakness. *Chest.* 2007;131:1541-1549.
5. Jaber S, Petrof BJ, Jung B, Chanques G, Berthet JP, Rabuel C, et al. Rapidly progressive diaphragmatic weakness and injury during mechanical ventilation in humans. *Am J Respir Crit Care Med.* 2011;183:364-371.
6. Levine S, Nguyen T, Taylor N, Friscia ME, Budak MT, Rothenberg P. Rapid disuse atrophy of diaphragm fibers in mechanically ventilated humans. *N Engl J Med.* 2008;358:1327-1335.
7. Shanely RA, Zergeroglu MA, Lennon SL, Sugiura T, Yimlamai T, Enns D, et al. Mechanical ventilation-induced diaphragmatic atrophy is associated with oxidative injury and increased proteolytic activity. *Am J Respir Crit Care Med.* 2002;166:1369-1374.
8. Hussain SN, Vassilakopoulos T. Ventilator-induced cachexia. *Am J Respir Crit Care Med.* 2006;166:1307-1308.
9. Knisely AS, Leal SM, Singer DB. Abnormalities of diaphragmatic muscle in neonates with ventilated lungs. *J Pediatric.* 1988;113:1074-1077.
10. Geiger PC, Cody MJ, Macken RL, Sieck GC. Maximum specific force depends on myosin heavy chain content in rat diaphragm muscle fibers. *J Appl Physiol.* 2000;89:695-703.
11. Petrof BJ, Jaber S, Matecki S. Ventilator-induced diaphragmatic dysfunction. *Curr Opin Crit Care.* 2010;16:19-25.
12. Boussuges A, Gole Y, Blanc P. Diaphragmatic motion studied by m-mode ultrasonography: methods, reproducibility, and normal values. *Chest.* 2009;135:391-400.
13. Kim WY, Suh HJ, Hong SB, Koh Y, Lim CM. Diaphragm dysfunction assessed by ultrasonography: influence on weaning from mechanical ventilation. *Crit Care Med.* 2011;39:2627-2630.
14. Vivier E, Mekontso DA, Dimassi S, Vargas F, Lyazidi A, Thille AW, et al. Diaphragm ultrasonography to estimate the work of breathing during non-invasive ventilation. *Intensive Care Med.* 2012;38:796-803.
15. Cohn D, Benditt JO, Eveloff S, McCool FD. Diaphragm thickening during inspiration. *J Appl Physiol.* 1997;83:291-296.
16. Jiang JR, Tsai TH, Jerng JS, Yu CJ, Wu HD, Yang PC. Ultrasonographic evaluation of liver/spleen movements and extubation outcome. *Chest.* 2004;126:179-185.
17. Lerolle N, Guerot E, Dimassi S, Zegdi R, Faisy C, Fagon JY, et al. Ultrasonographic diagnostic criterion for severe diaphragmatic dysfunction after cardiac surgery. *Chest.* 2009;135:401-407.
18. Gilbert R, Auchincloss JH Jr, Peppi D. Relationship of rib cage and abdomen motion to diaphragm function during quiet breathing. *Chest.* 1981;80:607-612.
19. Coirault CCD, Lecarpentier Y. Relaxation of diaphragm muscle. *J Appl Physiol.* 1999;87:1243-1252.
20. Scillia P, Cappello M, De Troyer A. Determinants of diaphragm motion in unilateral diaphragmatic paralysis. *J Appl Physiol.* 2004;96:96-100.
21. Kolar P, Sulc J, Kyncl M, Sanda J, Neuwirth J, Bokarius AV. Stabilizing function of the diaphragm: dynamic MRI

- and synchronized spirometric assessment. *J Appl Physiol.* 2010;109:1064-1071.
22. Houston JG, Fleet M, Cowan MD, McMillan NC. Comparison of ultrasound with fluoroscopy in the assessment of suspected hemidiaphragmatic movement abnormality. *Clin Radiol.* 1995;50:95-98.
23. Yoshioka Y, Ohwada A, Sekiya M, Takahashi F, Ueki J, Fukuchi Y. Ultrasonographic evaluation of the diaphragm

in patients with amyotrophic lateral sclerosis. *Respirology.* 2007;12:304-307.

*Correspondencia:*

Dr. Raúl Carrillo Esper  
Unidad de Terapia Intensiva  
Fundación Clínica Médica Sur.  
E-mail: revistacma95@yahoo.com.mx