

# Medición del grosor diafragmático como parámetro predictivo para retiro de ventilación mecánica invasiva en pacientes de terapia intensiva

Andrés Tanaka Montoya,\* Ana del Carmen Amador Martínez,\* Lucía Yunnuen Delgado Mercado,\* Juvenal Franco Granillo,\* Janet Aguirre Sánchez,\* Gilberto Camarena Alejo\*

## RESUMEN

**Introducción:** La medición del engrosamiento diafragmático y el cambio de grosor en espiración e inspiración del mismo pueden utilizarse para predecir el éxito o fracaso en la extubación. Se evaluó la fracción de grosor diafragmático (FGD) por ultrasonido en pacientes de terapia intensiva y se comparó con índice de ventilación rápida superficial (VRS).

**Métodos:** Los 65 pacientes con ventilación mecánica invasiva fueron reclutados prospectivamente en el Departamento de Medicina Crítica del Centro Médico ABC en un período de nueve meses, de agosto de 2015 a abril de 2016. La FGD se midió en la zona de aposición del diafragma al tórax en ambos hemitórax, utilizando un transductor de ultrasonido 4 MHz y el médico radiólogo realizó el procedimiento en todos los pacientes sin conocimiento de patologías. Los pacientes reclutados fueron sometidos a una prueba de respiración espontánea (PRE) cuando se reunieron los siguientes criterios:  $\text{FiO}_2 < 50\%$ , la PEEP  $\leq 5 \text{ cm de H}_2\text{O}$ ,  $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 > 200$ , frecuencia respiratoria  $< 30$  por minuto, ausencia de fiebre, neurológicamente alerta y sin el apoyo hemodinámico de vasopresores. Se calculó el porcentaje de cambio en FGD, siendo el final de la inspiración y el final de la espiración entre el final de la espiración en pacientes con ventilación mecánica invasiva en modalidad de ventilación presión soporte con progresión ventilatoria con fines de extubación. El éxito en la extubación se definió como respiración espontánea  $> 48$  horas sin soporte ventilatorio después del retiro del tubo endotraqueal.

**Resultados:** De los 65 pacientes reclutados, 23 (35.4%) fueron mujeres y 42 (64.6%) hombres, índice de masa corporal (IMC), de 25.83 (DE  $\pm 4.19$ ) todos fueron extubados en modalidad de ventilación presión soporte. La frecuencia de falla en la extubación fue de 21.5% y la mortalidad de 24.6%. Las variables asociadas a fracaso fueron valores de corte de FGD derecho 25.9%, FGD 23.1% izquierdo. Tiempo de ventilación mecánica en días con mediana de 4 (RIQ 3-6) versus 8.5 (RIQ 7-11),  $p < 0.001$  y VRS con  $68.2 \pm 9.6$  versus  $53.9 \pm 11.1$ ,  $p < 0.001$ . Las variables obtenidas a partir de las mediciones USG fueron las siguientes: grosor diafragmático derecho al final de la espiración (RTEEx)  $0.28 \pm 0.05$  cm, grosor diafragmático derecho al final de la inspiración (RTEI)  $0.21 \pm 0.05$  cm, índice de grosor diafragmático derecho (RDTi)  $0.76 \pm 0.11$  cm, índice de fracción diafragmática derecha (RDFi)  $23.1 \pm 10.7\%$ . El valor predictivo positivo y el valor predictivo negativo fueron de 92 y 64%, respectivamente. El área bajo la curva ROC fue de 0.79 para FGD.

**Conclusiones:** Las mediciones de grosor diafragmático por ultrasonido tanto VRS como de tiempo de ventilación mecánica son un parámetro útil para predecir el éxito o el fracaso de la extubación. Índice de ventilación rápida superficial (VRS) con una media de  $57.0 \pm 12.3$  puntos. Este estudio demuestra que no hay relación entre falla a la extubación con EPOC, IMC y edad. La extubación es un procedimiento conjunto y entre más parámetros para extubación menor riesgo de presentar falla.

**Palabras clave:** Diáfragma, falla a la extubación, ultrasonido.

## SUMMARY

**Introduction:** By measuring diaphragmatic thickening and thickness change in expiration and inspiration, it can be used as a measure to predict the success or failure of extubation. The fraction of diaphragmatic thickness (FDT) was assessed by ultrasound in intensive care patients.

**Methods:** 65 patients with invasive mechanical ventilation were recruited prospectively at the Department of Critical Care Medicine ABC Medical Center. The FDT was measured in the area of apposition of the diaphragm to the chest in both hemithorax, using an ultrasound transducer of 4 MHz. Patients underwent a spontaneous breathing trial (SBT) when they met all the following criteria are:  $\text{FiO}_2 < 50\%$ ,  $\text{PEEP} \leq 5 \text{ cmH}_2\text{O}$ ,  $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 > 200$ , respiratory rate  $< 30$  per minute, absence of fever, neurologically alert and without hemodynamic vasopressor support. The percentage change in FDT was calculated between the end of expiration and end of inspiration in patients with invasive mechanical ventilation with pressure support ventilation mode, all patients with ventilatory

progression purposes extubation. A successful extubation was defined as spontaneous breathing  $> 48$  hours without ventilatory support after removal of the endotracheal tube.

**Results:** We included data obtained from 65 patients, 23 (35.4%) women and 42 (64.6%) men, mean Body Mass Index (BMI) of 25.83 ( $SD \pm 4.19$ ). The frequency of extubation failure was 21.5%, and mortality 24.6%. The variables associated with failure were cut-off values of DTF right 25.9%, DTF 23.1% left. Time of mechanical ventilation in days with a median of 4 (RIQ 3-6) versus 8.5 (RIQ 7-11),  $p < 0.001$  and RSBi with  $68.2 \pm 9.6$  versus  $53.9 \pm 11.1$ ,  $p < 0.001$ . The variables obtained from USG measurements were as follows: right thickness at end expiration (RTEEx)  $0.28 \pm .05$  cm, right thickness at end inspiration (RTEI)  $0.21 \pm .05$  cm, right diaphragmal thickness (RDTi)  $0.76 \pm 0.11$  cm, right diaphragmatic fraction index (RDFi)  $23.1 \pm 10.7\%$ .

The positive predictive values and negative predictive values were 92 and 64%, respectively. The area under the ROC curve was 0.79 for DTF.

**Conclusions:** Diaphragmatic thickness measurements by ultrasound can be a useful parameter to predict the success or failure of extubation during ventilatory progression in patients with invasive mechanical ventilation. Rapid shallow breathing index (RSBi) with a mean of  $57.0 \pm 12.3$  points. This study demonstrates that there is no relation between failure to extubation with COPD, BMI and age. Extubation is a joint procedure and the more parameters for extubation, the lower the risk of failure.

**Key words:** Diaphragm, extubation failure, ultrasound.

## RESUMO

**Introdução:** Ao medir o espessamento do diafragma e a mudança da espessura na exalação e inalação da mesma, pode ser usado como uma medida para prever o sucesso ou a falha da extubação. Avaliou-se a fração de espessamento do diafragma (FED) por meio de ultra-som em doentes na terapia intensiva e se comparou com o índice de respiração superficial e rápida (IRRS).

**Métodos:** Os 65 pacientes com ventilação mecânica invasiva foram recrutados no departamento de medicina crítica do Centro Médico ABC em um período de 9 meses, agosto de 2015 abril de 2016. A FED foi medida na zona de aposição do diafragma ao tórax, em ambos hemitórax, usando um transdutor de ultra-som de 4 MHz e realizou-se por um radiologista em todos os doentes, sem saber as patologias do paciente. Os pacientes recrutados foram submetidos a teste de respiração espontânea (TRE) quando os seguintes critérios foram reunidos:  $\text{FiO}_2 < 50\%$ ,  $\text{PEEP} \leq 5 \text{ cmH}_2\text{O}$ ,  $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 > 200$ , frequência respiratória  $< 30$  por minuto, afebril, neurológicamente alerta e sem suporte hemodinâmico de vasopressores. Calculou-se a percentagem de alteração na FED, sendo o final da inspiração e o final da expiração entre o final da expiração, em pacientes com ventilação mecânica invasiva em modo ventilação de pressão suporte com progressão ventilatória com fins de extubação. A extubação bem sucedida foi definida como espontâneos de respiração  $> 48$  horas sem suporte ventilatório após a remoção do tubo endotraqueal.

**Resultados:** Dos 65 pacientes recrutados, 23 (35.4%) mulheres e 42 (64.6%) homens, índice de massa corporal (IMC) de 25.83 ( $\pm SD 4.19$ ) todos foram extubados no modo ventilação de pressão suporte. A frequência de falha na extubação foi de 21.5% e mortalidade de 24.6%. As variáveis associadas ao fracasso foram valores de corte da FED direito 25.9%, FED 23.1% esquerdo. Tempo de ventilação mecânica em dias com uma mediana de 4 (IQR 3-6) vs. 8.5 (IQR 7-11),  $p < 0.001$  e VRS com  $68.2 \pm 9.6$  vs  $53.9 \pm 11.1$ ,  $p < 0.001$ .

**Conclusões:** As medições da espessura diafragmática por ultra-som tanto de RSV como o tempo de ventilação mecânica é um parâmetro útil para prever o sucesso ou a falha da extubação. Este estudo demonstra que não há relação entre pacientes com EPOC, IMC, idade e falha na extubação. A extubação é um procedimento conjunto e entre mais parâmetros para extubação menor o risco de apresentar falha.

**Palavras-chave:** Diafragma, falha de extubação, ultra-som.

## INTRODUCCIÓN

Aproximadamente 40% de los pacientes en terapia intensiva (UCI) requieren ventilación mecánica (VM) y de

\* Hospital Centro Médico ABC.

Recepción: 15/09/2016. Aceptación: 28/06/2017

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

20 a 25% presentarán dificultades en descontinuar la VM.<sup>1</sup> Múltiples estudios han sugerido que la VM tiene un efecto en los músculos respiratorios que conduce a la disfunción y atrofia diafragmática.<sup>2</sup>

Mientras el paciente es asistido por el ventilador, el diafragma está relajado, lo que puede causar un trastorno específico denominado disfunción diafragmática inducida por la ventilación mecánica (DDIV).<sup>3</sup>

La función diafragmática rara vez se estudia en el paciente de terapia intensiva al cual va a retirarse la ventilación mecánica invasiva. Después de sólo seis horas de ventilación mecánica se presenta la disfunción diafragmática, con reducción de la síntesis de proteínas hasta en 30% y la síntesis de cadenas pesadas de miosina se reduce hasta 65%.<sup>4</sup>

La disfunción diafragmática es una causa infradiagnosticada de la disnea y siempre debe considerarse en el diagnóstico diferencial de la disnea inexplicable.<sup>5-9</sup> Varía de la pérdida parcial de la capacidad de generar presión (debilidad) a la pérdida total de la función diafragmática (parálisis). La debilidad y/o parálisis diafragmática puede implicar uno o ambos hemidiafragmas y puede observarse en el contexto de trastornos metabólicos, inflamatorios después de un trauma o cirugía, durante la ventilación mecánica y con tumores mediastínicos, miopatías, neuropatías e hiperinflación pulmonar.<sup>6-9</sup>

El propósito de este estudio es evaluar la función diafragmática por medio de la fracción del grosor diafragmático para la extubación del paciente aunado a otros parámetros para retiro de ventilación.

Muchos autores han llegado a la conclusión de que la disfunción diafragmática inducida por el ventilador puede aumentar el tiempo de retiro de ventilación y se asocia al aumento de mortalidad hospitalaria en la UCI.<sup>10-12</sup>

El retiro de ventilación mecánica debe evaluarse diariamente por el médico hasta que el paciente esté listo para éste, ya que la prolongación de la intubación conlleva riesgos, incrementa el tiempo de estancia y costos para el paciente. Por otro lado, un retiro de ventilación mal valorado o hecho inadecuadamente propiciará mayor porcentaje de falla en la extubación, requiriendo reintubación en horas posteriores y con esto un aumento en la mortalidad del paciente.

El momento para determinar si un paciente puede ser extubado con éxito es crucial. La suspensión prematura de la ventilación mecánica puede ocasionar aumento de estrés cardiovascular, respiratorio, retención de CO<sub>2</sub> e hipoxemia hasta de 25% en pacientes que requieren restablecimiento de apoyo.

Las complicaciones como la neumonía asociada a ventilación mecánica y la atrofia diafragmática inducida por la ventilación pueden observarse en cortos períodos de ventilación mecánica y con ello prolongar la necesidad de la misma.<sup>12</sup>

Son limitadas las herramientas disponibles para determinar el momento óptimo de la extubación. Las decisiones subjetivas a menudo son mal valoradas. Stroetz y Hubmayr revelaron que la predicción clínica del éxito o fracaso de la extubación con frecuencia era incorrecta en la decisión de retirar la intubación. Medidas como la frecuencia respiratoria, volumen minuto y la fuerza inspiratoria negativa en poco han ayudado a mejorar el tiempo de extubación. Un parámetro más reciente, el índice de ventilación rápida superficial (VRS) proporciona una guía para medir el tiempo de extubación con respiración espontánea (RS), pero su valor es limitado cuando se utiliza para predecir la extubación exitosa en apoyo de presión soporte (PS).

Muchos son los factores que pueden influir en el retiro de la ventilación mecánica y a raíz de esto se han buscado diversos criterios objetivos para realizar este procedimiento con éxito. Actualmente hay más de 50 pruebas para el retiro de ventilación mecánica.

La medición del engrosamiento diafragmático y el cambio de grosor en espiración e inspiración del mismo pueden igualmente utilizarse como medición para predecir el éxito o fracaso en la extubación. Se evaluó la fracción del grosor diafragmático (FGD) por ultrasonido en pacientes de terapia intensiva y se multiplicó por el índice de ventilación rápida superficial (VRS).

## Antecedentes generales

Los procedimientos de retiro de ventilación o destete se inician sólo después de que el proceso de la enfermedad subyacente que requirió ventilación mecánica ha mejorado significativamente o está resuelto. El paciente también debe tener un intercambio gaseoso apropiado (la mayoría de los estudios definen esta condición como una relación de la presión arterial de oxígeno/fracción inspirada de oxígeno superior a 200), estado neurológico y muscular adecuado y función cardiovascular estable.

El retiro de VM en pacientes con debilidad muscular relacionada con paciente crítico puede ser difícil y el estudio de la disfunción diafragmática en estos pacientes es de relevancia. Hasta la fecha son escasos los estudios que han explorado la relación entre la disfunción del diafragma, debilidad muscular, ventilación mecánica y pruebas de retiro de ventilación como presión inspiratoria máxima o electromiografía.<sup>13,14</sup>

La elevación de ambos hemidiafragmas, como se observa comúnmente en pacientes que son dependientes del ventilador, puede interpretarse como un «débil esfuerzo inspiratorio» o «volúmenes pulmonares bajos» y tiene baja especificidad para el diagnóstico de la disfunción diafragmática.<sup>15</sup> Aunque la radiografía de tórax es una herramienta bastante sensible para detectar la parálisis diafragmática unilateral (90%), su especificidad es inaceptablemente baja (44%).

Las medidas directas de la función diafragmática se clasifican como invasiva (por ejemplo, la presión transdiafragmática [Ptdi]) o no invasiva (por ejemplo, la ultrasonografía). Estas pruebas no están disponibles en todas las instituciones hospitalarias, pero pueden ser necesarias cuando el diagnóstico es incierto.

La medición de la Ptdi requiere la colocación de catéteres de balón transnasal en la parte inferior del esófago y el estómago. Ptdi se calcula como la diferencia entre la presión gástrica y la presión esofágica.<sup>16</sup> Una medición de presión transdiafragmática mayor de 10 cmH<sub>2</sub>O con la estimulación del nervio frénico unilateral o superior a 20 cmH<sub>2</sub>O con la estimulación del nervio frénico bilateral descarta disfunción diafragmática.<sup>17</sup>

Aunque la medición de Ptdi generalmente se considera el estándar de oro para establecer el diagnóstico de parálisis diafragmática bilateral, las pruebas son invasivas e incómodas con múltiples contraindicaciones.<sup>18-20</sup>

### Antecedentes específicos

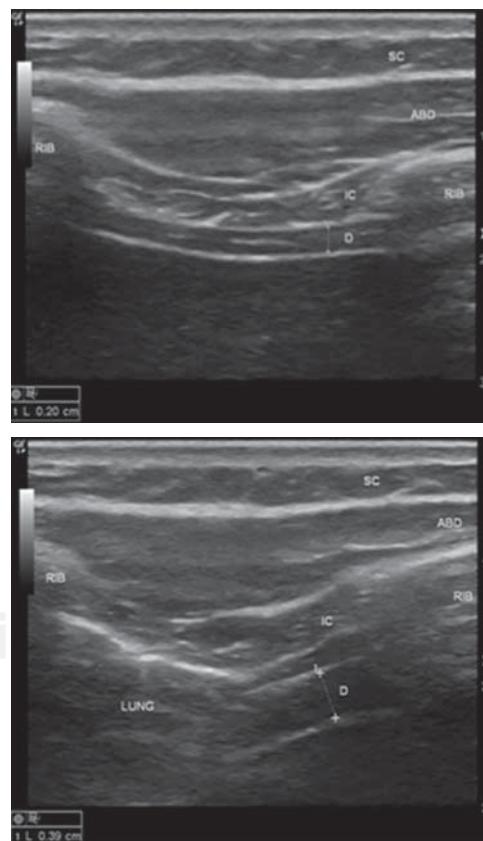
Las ventajas del ultrasonido sobre otras modalidades de imagen incluyen el traslado del equipo de imagen, que es particularmente ventajoso en la UCI, costo relativamente bajo y ausencia de contraindicaciones. En comparación con otros métodos de evaluación de la función del diafragma, la ecografía tiene ventajas sobre la radiografía de tórax y videofluoroscopia, las cuales tienen altas tasas de resultados falsos positivos y falsos negativos. La medición de la presión transdiafragmática es invasiva, incómoda y sólo es útil en parálisis diafragmática.<sup>21</sup> La electromiografía (EMG) diafragmática con aguja puede ser muy útil, pero está relativamente contraindicada en pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), debido a la preocupación por la hiperinsuflación pulmonar y a un posible riesgo mayor de neumotórax.

Las medidas directas de la función del diafragma como predictores de éxito o fracaso de la extubación no se han evaluado ampliamente. El movimiento de la cúpula del diafragma se ha evaluado mediante el modo B de ultrasonido y se ha descubierto que es útil en la predicción de resultados de extubación. Sin embargo, las imágenes de la cúpula no se visualizan directamente y factores como tamaño, tipo de respiración, impedancia de estructuras vecinas, movimiento abdominal, caja torácica o actividad muscular abdominal, músculo del diafragma y ascitis afectarán el movimiento del diafragma. Puede evitarse este inconveniente por ultrasonografía del diafragma en la zona de aposición (ZAP), pues este enfoque permite la visualización directa del músculo diafragma evaluando su engrosamiento y acortamiento.

El diafragma durante la inspiración refleja el acortamiento del mismo y es análogo a una fracción de eyeción del corazón (Figura 1).<sup>22</sup>

Levine et al. demostraron que los pacientes en las primeras 18-69 horas con ventilación mecánica controlada presentaban reducción de más de 50% en la sección transversal, la zona de tipo I y II de las fibras diafragmáticas.<sup>23</sup> Ante la atrofia diafragmática se producen cambios en su ultraestructura y la contractilidad se reduce, resultando en pérdida de la fuerza máxima de contracción.<sup>23-25</sup> En varios estudios se muestra activación de las vías proteolíticas en el diafragma de los pacientes, sobre todo si presentan EPOC.<sup>26,27</sup> Durante la atrofia, la mayor parte de la degradación de las proteínas miofibrilares se produce a través de la vía del proteasoma ubiquitina.<sup>28,29</sup> La proteólisis por esta vía es altamente selectiva y regulada con precisión.

Baria et al. han estudiado mediante ecografía en modo B el grosor del diafragma (GD) y la relación del engrosamiento en pacientes con EPOC y observaron,矛盾oramente a lo que se creía, atrofia diafragmática en relación con el estrés oxidativo y proteólisis antes mencionada sin diferencia significativa en el grosor diafragmático en pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica y pacientes sanos.<sup>22</sup>



**Figura 1.** Imagen superior con diafragma (D) al final de la inspiración, imagen inferior con diafragma (D) al final de la espiración ABD = Músculo abdominal, D = Diafragma, IC = Intercostal, SC = Tejido subcutáneo. Chest.<sup>22</sup>

Gottesman y McCool descubrieron que el GD solo es incapaz de distinguir entre un diafragma con parálisis crónica atrófica y un diafragma que funciona en pacientes con atrofia muscular generalizada o en individuos pequeños.<sup>30</sup>

El cambio en el espesor durante la inspiración o la fracción de grosor diafragmático (FGD) calculado como  $FGD = (\text{grosor en la inspiración máxima o capacidad pulmonar total-grosor al final de la espiración o capacidad residual funcional}) / \text{grosor al final de la espiración}$  demostró ser una medición más estricta.<sup>31</sup> Con esta forma de evaluación diafragmática se midió la estructura y la función diafragmática en pacientes con EPOC como medio para facilitar el uso de la ecografía en modo B, como herramienta de diagnóstico en la evaluación de la insuficiencia respiratoria neuromuscular en pacientes con EPOC y en la identificación de pacientes de alto riesgo antes de la anestesia general, la ventilación mecánica o procedimientos invasivos.<sup>22</sup>

Ventilación rápida superficial (VRS): esta medición o índice para extubación de Yang y Tobin es el producto entre la frecuencia respiratoria y el volumen corriente (en litros). Se estableció como corte un resultado de 105 respiraciones min/L con sensibilidad de 97% y especificidad de 95% con área bajo la curva de 89%.<sup>32</sup> El único inconveniente de este índice son los falsos positivos que llega a presentar.

El propósito de este estudio es evaluar si para predecir los resultados de extubación puede utilizarse el cambio en la fracción de grosor diafragmática medido por ultrasonido modo B multiplicado por VRS durante un juicio de destete o retiro de ventilación mecánica.

**Planteamiento del problema:** Deben tenerse parámetros y métodos bien establecidos para la extubación, ya que una prolongación en la intubación conlleva riesgos, incrementa el tiempo de estancia y costos para el paciente. Por otro lado, un retiro de ventilación mal valorado o hecho inadecuadamente propiciará porcentajes más altos de falla en la extubación, requerirá reintubación en horas posteriores y con ello aumentará la mortalidad del paciente.

**Pregunta de investigación:** ¿Es el producto de fracción de grosor diafragmático un parámetro adecuado de retiro de ventilación mecánica invasiva?

**Justificación:** La medición del engrosamiento diafragmático y el cambio de grosor en espiración e inspiración del mismo pueden utilizarse como parámetro para predecir el éxito o fracaso en la extubación. Se evalúo la fracción de grosor diafragmático (FGD) multiplicado por VRS con ultrasonido en pacientes de terapia intensiva y se comparó con índice de ventilación rápida superficial con el fin de encontrar una medición o un parámetro más fiable para el retiro de ventilación mecánica.

Por todo lo mencionado es posible realizar y reproducir este estudio en nuestro centro médico, pues

contamos con los recursos humanos y materiales, así como con la población que va a evaluarse y las autorizaciones correspondientes por el jefe de servicio y el comité de ética de nuestro hospital.

No existe ningún estudio hasta el momento que haya evaluado estos parámetros para extubación mecánica, por lo que este trabajo demuestra su originalidad con base en los antecedentes previamente expuestos.

**Objetivo general:** Los parámetros de retiro de ventilación mecánica por lo regular son deficientes para diferenciar el éxito del destete, por ello se buscan nuevas mediciones más confiables y sobre todo menos fallas en la extubación, ya que confiere morbilidad.

**Objetivos específicos:** Para predecir los resultados de extubación puede utilizarse  $FGD = (\text{grosor en la inspiración máxima o la capacidad pulmonar total-grosor al final de la espiración o capacidad residual funcional}) / \text{grosor al final de la espiración}$  multiplicado por VRS durante un juicio de destete o retiro de ventilación mecánica.

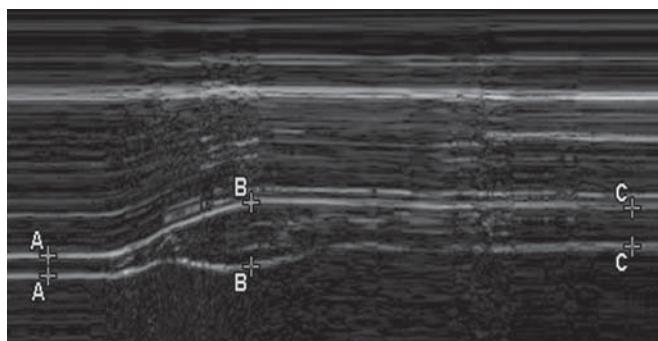
**Hipótesis:** En pacientes con ventilación mecánica invasiva la medición de fracción de grosor diafragmático es un adecuado parámetro de extubación.

**Metodología:** Tipo de estudio. Se realizó una investigación longitudinal, observacional y prospectiva. **Tamaño de la muestra y grupos.** El tamaño de muestra fue de 65 pacientes con ventilación mecánica invasiva, los cuales fueron reclutados prospectivamente en el Departamento de Medicina Crítica de Centro Médico ABC en un periodo de nueve meses de agosto de 2015 a abril de 2016. Se incluyó a todo paciente con requerimiento de ventilación mecánica invasiva desde el primer día de intubación sin antecedentes de enfermedad neuromuscular.

El estudio de ultrasonido diafragmático se realizó con un equipo de ultrasonido portátil GE (General Electric) modelo p5, con transductor convexo 4 MHz en escala de grises o modo B. El sitio de la ventana fue en el hemicuerpo derecho por debajo del reborde hepático a nivel medio clavicular, así como del lado izquierdo en el borde inferior costal y a nivel medio clavicular.

El músculo diafragmático fue observado en un corte longitudinal con la aplicación de *zoom*, medido en su grosor (*Figura 2*) y reportado en la pantalla del ultrasonido en centímetros. En la totalidad de los pacientes evaluados el transductor convexo fue suficiente para valorar este músculo sin necesidad de utilizar el transductor lineal en ninguno de los pacientes.

El médico radiólogo efectuó todas las mediciones del diafragma en todos los pacientes sin conocimiento de patologías y otro médico radiólogo hizo una segunda revisión sólo para interpretar las imágenes. Los pacientes fueron reclutados de seis a 24 horas antes de la primera prueba de destete. El médico radiólogo fue notificado de la decisión del intensivista para comenzar



**Figura 2.** Ultrasonido diafragmático con medición en A inspiración máxima = 0.15 cm, B inicio espiración = 0.50 cm, C final de espiración = 0.31 cm.

la progresión de retiro de ventilación mecánica. No se requirió ningún proceso de enfermedad específica para la inclusión en el estudio aparte de la presencia de insuficiencia respiratoria.

Técnicamente hubo mayor dificultad para lograr la ventana adecuada para observar el diafragma; sin embargo, en todos los pacientes se obtuvieron imágenes de manera bilateral, tanto en inspiración como en espiración.

Los pacientes reclutados fueron sometidos a una prueba de respiración espontánea (PRE) mediante presión soporte de 7 cmH<sub>2</sub>O y CPAP de 0 cmH<sub>2</sub>O por una hora cuando se reunieron los siguientes criterios: FiO<sub>2</sub> < 50%, la PEEP ≤ 5 cm de H<sub>2</sub>O, PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> > 200, frecuencia respiratoria < 30 por minuto, ausencia de fiebre, neurológicamente alerta y con apoyo mínimo o nulo de vasopresores. Se calculó el porcentaje de cambio en FGD, siendo el final de la inspiración menos el final de la espiración entre el final de la espiración:

Grosor diafragmático: **GD**

GD al final de la espiración: **GDFEs**

GD a la inspiración máxima: **CGIMx**

Radio a cambio de grosor diafragmático = **RGD** = **GDIMx-GDFEs**

Fracción de grosor diafragmático = **FGD** = **RGD/GDFEs**

Se realizaron tres mediciones diafragmáticas en distintos días:

**El día uno** de medición diafragmática el paciente está bajo ventilación mecánica invasiva en modalidad asisto-controlada. **La segunda medición** se realizó previo a la extubación o retiro de la ventilación mecánica invasiva. Y la última medición diafragmática se efectuó dos días después de la extubación y se registró si el paciente presentaba falla o necesidad de ventilación mecánica no invasiva (VMNI).

El éxito en la extubación se definió como respiración espontánea > 48 horas sin soporte ventilatorio después del retiro de tubo endotraqueal y la falla en la extubación lo contrario a esta definición.

Los criterios de exclusión fueron mujeres embarazadas, edad < 18 años, traqueotomía, pacientes postrados o con alteraciones neuromusculares previamente diagnosticadas y vendajes quirúrgicos en tórax que impidieran la obtención de ultrasonido diafragmático.

**Población del estudio:** La población en estudio fue en pacientes con ventilación mecánica invasiva, atendidos en el Centro Médico ABC Campus Observatorio. Deberían contar con estudios intrahospitalarios así como de imagen. Este último con ultrasonido diafragmático.

**Criterios de inclusión:** Todo paciente con requerimiento de ventilación mecánica invasiva. Todas las variables obtenidas se conjuntaron en hoja de recolección de datos (*Cuadro I*).

**Criterios de exclusión:** Mujeres embarazadas, edad < 18 años, pacientes con traqueostomía, pacientes postrados o con alteraciones neuromusculares previamente diagnosticadas, vendajes quirúrgicos en tórax que impidieran la realización de ultrasonido diafragmático, trastornos neuromusculares preexistentes, lesión de columna cervical, lesiones bihemisféricas o de tronco cerebral e imposibilidad de evaluar la fuerza muscular por inmovilización.

**Criterios de eliminación:** Pacientes que fallecieron a quienes no se les realizó control o seguimiento de medición diafragmática.

**Materiales e instrumentos:** 1. Recursos humanos: personal médico del departamento de imagen. 2. Sistema de archivo digital PACS. 3. *Carestream* del hospital ABC. 4. Reportes y notas médicas de TIMSA. 5. Características de los equipos utilizados: equipo de ultrasonido portátil GE (General Electric) modelo p5, con transductor convexo 4 MHz.

**Consideraciones éticas:** Según el reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud, el cual aplica en todas las entidades federativas en México; y de acuerdo con lo descrito en el artículo 17 de dicho reglamento se protegerá la privacidad del individuo sujeto de investigación, sólo se tomará como identidad el número de folio en nuestra base de datos, nunca así utilizando o revelando nombres, los cuales son del conocimiento sólo del investigador principal.

Con base en lo estipulado en dicho artículo, este trabajo está clasificado *sin riesgo*, ya que no se someterá a los sujetos a experimentación con fines de estudio. Se someterán a estudio en el que recibirán dosis de radiación, pero sólo en caso de indicación médica y no con fines de estudio experimental.

Este protocolo ha sido aprobado por el Comité de Investigación y por el Comité de Ética en Investigación

del Centro Médico ABC y según lo expuesto no requiere consentimiento informado.

## RESULTADOS

Se incluyeron los datos obtenidos de 65 pacientes, 23 (35.4%) mujeres y 42 (64.6%) hombres, con una media del índice de masa corporal (IMC) de 25.83 (DE  $\pm$  4.19), la frecuencia de fracaso de la extubación fue de 21.5% y la mortalidad de 24.6%, VRS con una media de 57.0  $\pm$  12.3 puntos. Se valoraron pacientes con falla en la extubación incluso con VRS menor de 105 y se comparó con FGD derecho (*Figura 3*).

Mediciones USG fueron: grosor diafragmático derecho al final de la espiración (GDDFes)  $0.28 \pm 0.05$  cm, grosor diafragmático derecho al final de la inspiración

**Cuadro I. Operalización de variables obtenidas y hoja de recolección de datos.**

Medición diafragmática	CPT o GDFEs	CRF o GDIMx	RGD	FG o $\Delta$ GD	VMI o VMNI
Di derecho día 1 con VMI					
Di izquierdo día 1 con VMI					
Di derecho día previo a extubación					
Di izquierdo día previo a extubación					
Di derecho día 2 después de extubación					
Di izquierdo día 2 después de extubación					

Índice diafragmático para retiro de VMI

Hoja de recolección de datos

Nombre de paciente:

Fecha: DEIH: 1 - 3 - 5

Edad:

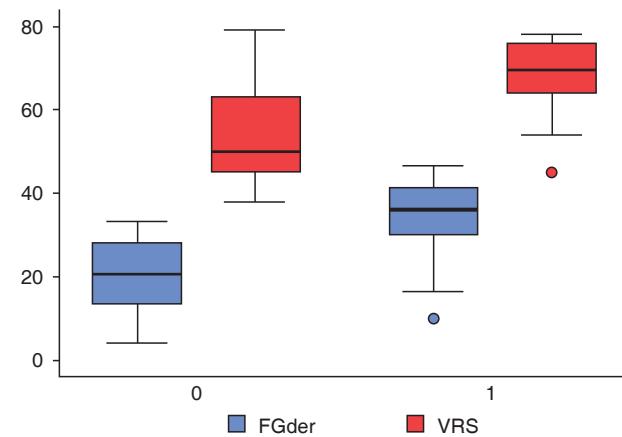
Talla: Peso:

VMNI: Sí No Días: Parámetros:  
VMI: Sí No Días: Parámetros:  
Gasometría: A V PH:  $\text{PCO}_2$ :  $\text{PO}_2$ :  $\text{HCO}_3$ : BE:  
Grosor diafragmático: GD Modo B,  
GD al final de espiración: GDFEs  
GD a la Inspiración máxima: GDIMx  
Radio o cambio de grosor diafragmático = RGD = GDIMx-GDFEs  
Fracción de grosor diafragmático = FGD = RGD/GDFEs  
 $\Delta$ GD o FG = GDIMx o CPT-GDFEs o CRF/GDFEs o CRF

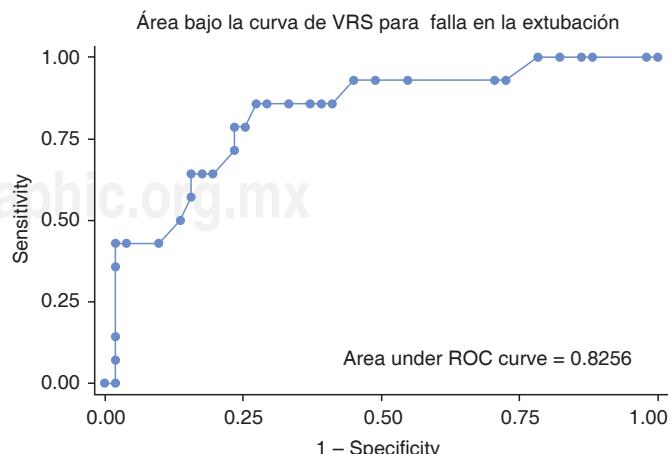
(GDDFIs)  $0.21 \pm 0.05$  cm, fracción grosor diafragmático derecho (FGDD)  $23.1 \pm 10.7\%$ . La frecuencia de falla a la extubación fue de 21.5% y mortalidad de 24.6%. Las variables asociadas a fracaso fueron valores de corte de FGD derecho 25.9%, FGD 23.1% izquierdo. Tiempo de ventilación mecánica en días con mediana de 4 (RIQ 3-6) vs 8.5 (RIQ 7 – 11),  $p < 0.001$  y VRS con  $68.2 \pm 9.6$  vs  $53.9 \pm 11.1$ ,  $p < 0.001$ .

Las variables capaces de discriminar falla en la extubación y su rendimiento predictivo fueron los siguientes: VRS con ROC = 0.82 (IC de 95% desde 0.70 hasta 0.94) (*Figura 4*) con un punto de corte de  $\geq 68$ , la sensibilidad 0.64, especificidad 0.84 cociente de probabilidad positivo (LR +) = 4.09, cociente probabilidad negativo (LR-) = 0.4; FGD con ROC = 0.85 (IC del 95% 0.71 a 0.99) con corte de  $\geq 31$ , sensibilidad 0.71 y especificidad 0.92 LR + = 9.1, LR- = 0.31 (*Figura 5*).

**Análisis estadístico:** Se utilizaron pruebas de  $\chi^2$  para evaluar las diferencias en las variables categóri-



**Figura 3.** Comparación entre fracción de grosor (FG) diafragmático derecho y VRS para falla en la extubación.



**Figura 4.** Curva ROC de ventilación rápida superficial (VRS) para falla en la extubación.

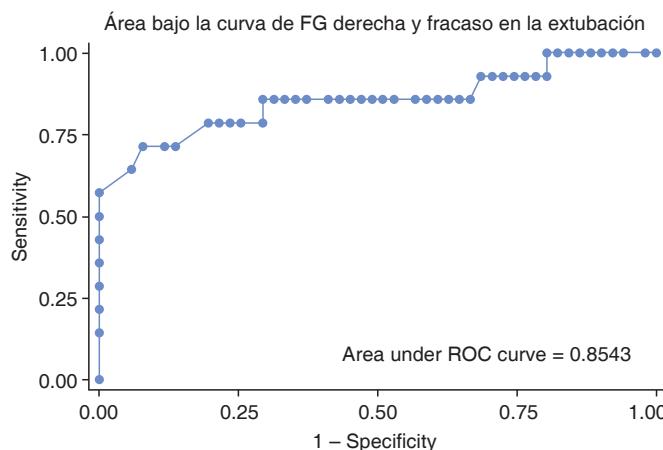


Figura 5. Curva ROC fracción de grosor (FG) diafragmático derecho.

cas en los grupos. La sensibilidad, especificidad, valor predictivo positivo (VPP) y valor predictivo negativo (VPN) se calcularon por las mediciones de ultrasonido derivadas de tdi en los grupos de prueba PS, RS y por VRS en el grupo de prueba de ventilación espontánea en el éxito de la extubación. Se utilizaron curvas (ROC) para evaluar la eficacia de las medidas de ultrasonido derivadas de FGD, GD final de la inspiración-GD al final de la inspiración/GD al final de la inspiración X VRS para predecir el éxito o el fracaso de la extubación.

Se utilizó prueba de Wilcoxon para comparar días de ventilación entre PS y los grupos del ensayo en ventilación espontánea. Se consideró valor de  $p < 0.05$  estadísticamente significativo.

## DISCUSIÓN

Las enfermedades críticas y el uso de ventilación mecánica causan atrofia y disfunción diafragmática inducida por el ventilador, las cuales se definen como la pérdida de fuerza diafragmática relacionada con el uso de ventilación mecánica.

Últimamente el ultrasonido se ha usado para evaluar la presencia de disfunción diafragmática postquirúrgica<sup>33</sup> y el movimiento del diafragma durante los ensayos de retiro de VM en ventilación espontánea.<sup>34,35</sup>

Previos estudios indican que el ultrasonido diafragmático en modo B puede utilizarse para predecir resultados de extubación durante PS y ventilación espontánea.<sup>30,36</sup>

El grosor diafragmático medido al final de la inspiración y en la inspiración máxima, calculando la fracción de grosor diafragmático FGD multiplicado por VRS es un buen parámetro para el retiro de ventilación mecánica.

La VRS conlleva el trabajo y la capacidad respiratoria muscular inspiratoria. Refleja la función de todos los músculos inspiratorios incluyendo el diafragma, escalenos, intercostales paraesternales y los músculos accesorios de inspiración (esternocleidomastoideos e

intercostales externos). Si el diafragma está fallando, los músculos inspiratorios compensarán esta disfunción diafragmática para preservar el volumen tidal (VT) y la presencia de debilidad diafragmática puede ser «enmascarada» por el aumento de la contribución de estos músculos inspiratorios.

El VRS tiene un resultado corte en 105 respiraciones min/L, siendo valores menores satisfactorios con sensibilidad de 97% y especificidad de 95% con área bajo la curva de 89%.<sup>32</sup> El único inconveniente en este índice son los falsos positivos que llega a presentar si se toma sólo este valor.

En consecuencia, el fracaso de la extubación puede ocurrir a pesar de VT y VRS inicialmente aceptable. En esta condición las medidas directas de la función diafragmática con el modo B predicen mejor el fracaso de la extubación con FGD < 30% y si se requiere reintubación.

Las mediciones ultrasonográficas se iniciaron desde el primer día de intubación, justo antes de la extubación y después de la misma. Una posible limitación en este estudio sería la variabilidad del volumen pulmonar al final de la inspiración.

En el transcurso de este estudio se realizaron mediciones del hemidiafragma derecho debido a una difícil visualización en el hemidiafragma izquierdo al momento de la medición. Se optó por evaluar sólo el hemidiafragma derecho porque la ventana acústica proporcionada por el hígado lo hace más fácil.

## CONCLUSIONES

Llegamos a la conclusión de que las medidas de ultrasonido del engrosamiento del músculo del diafragma, específicamente el grosor de fracción puede predecir el éxito o el fracaso de la extubación, siendo todavía más relevante si se multiplica por VRS. Esta maniobra y mediciones deben realizarse al progresar al paciente pensando en el retiro de la VM, siendo especialmente útil para reducir el número de fallas en la extubación. Estas mediciones de la función diafragmática pueden efectuarse en todo momento al lado del paciente sin ningún esfuerzo especial por parte del mismo. Antes de la extubación o toma de decisiones debe hacerse siempre una evaluación completa del paciente.

Este estudio demuestra que no hay relación entre paciente con EPOC, IMC, edad y falla en la extubación. Lo que confiere alteración diafragmática es el ventilador, por lo tanto a mayor tiempo de intubación mayor atrofia y disfunción diafragmática.

La extubación es un procedimiento conjunto y cuanto más parámetros para extubación se sumen, menor riesgo de presentar falla.

El acortamiento del diafragma contribuye a la mayor parte del cambio de volumen durante la inspiración y

este acortamiento puede medirse. Para un determinado grado de acortamiento del diafragma, un diafragma «eficiente» dará lugar a mayor volumen de ventilación pulmonar y a menor frecuencia respiratoria que un diafragma con disfunción.

Las mediciones del grosor diafragmático por ultrasonido pueden ser un parámetro útil para pronosticar el éxito o el fracaso de la extubación durante la progresión ventilatoria en el paciente con ventilación mecánica invasiva.

#### BIBLIOGRAFÍA

1. Esteban A, Anzueto A, Alía I, Gordo F, Apezteguía C, Pálizas F, et al. How is mechanical ventilation employed in the intensive care unit? An international utilization review. *Am J Respir Crit Care Med.* 2000;161(5):1450-1458.
2. Esteban A, Alía I, Ibañez J, Benito S, Tobin MJ. Modes of mechanical ventilation and weaning. A national survey of Spanish hospitals. *Chest.* 1994;106(4):1188-1193.
3. Vassilakopoulos T, Petrof BJ. Ventilator-induced diaphragmatic dysfunction. *Am J Respir Crit Care Med.* 2004;169(3):336-341.
4. Shanely RA, Van Gammeren D, Deruisseau KC, Zergeroglu AM, McKenzie MJ, Yarasheski KE, et al. Mechanical ventilation depresses protein synthesis in the rat diaphragm. *Am J Respir Crit Care Med.* 2004;170(9):994-999.
5. Wilcox PG, Pardy RL. Diaphragmatic weakness and paralysis. *Lung.* 1989;167:323-341.
6. Davison A, Mulvey D. Idiopathic diaphragmatic weakness. *BMJ.* 1992;304:492-494.
7. McCool FD, Mead J. Dyspnea on immersion: mechanisms in patients with bilateral diaphragm paralysis. *Am Rev Respir Dis.* 1989;139:275-276.
8. Mier AK, Brophy C, Green M. Out of depth, out of breath. *Br Med J (Clin Res Ed).* 1986;292:1495-1496.
9. Mier-Jedrzejowicz A, Brophy C, Mox-Ham J, Green M. Assessment of diaphragm weakness. *Am Rev Respir Dis.* 1988;137:877-883.
10. Hermans G, Agten A, Testelmans D, Decramer M, Gayan-Ramirez G. Increased duration of mechanical ventilation is associated with decreased diaphragmatic force: A prospective observational study. *Crit Care.* 2010;14(4):R127.
11. Demoule A, Jung B, Prodanovic H, Molinari N, Chanques G, Coirault C, et al. Diaphragm dysfunction on admission to the intensive care unit. Prevalence, risk factors, and prognostic impact-a prospective study. *Am J Respir Crit Care Med.* 2013;188(2):213-219.
12. Supinski GS, Callahan LA. Diaphragm weakness in mechanically ventilated critically ill patients. *Crit Care.* 2013;17(3):R120.
13. American Thoracic Society/European Respiratory Society (2002) ATS/ERS statement on respiratory muscle testing. *Am J Respir Crit Care Med* 166:518-624.
14. Santos PD, Teixeira C, Savi A, Maccari JG, Neres FS, Machado AS, et al. The critical illness polyneuropathy in septic patients with prolonged weaning from mechanical ventilation: Is the diaphragm also affected? A pilot study. *Respir Care.* 2012;57:1594-1601.
15. Chetta A, Rehman AK, Moxham J, Carr DH, Polkey MI. Chest radiography cannot predict diaphragm function. *Respir Med.* 2005;99:39-44.
16. Polkey MI, Green M, Moxham J. Measurement of respiratory muscle strength. *Thorax.* 1995;50:1131-1135.
17. Steier J, Kaul S, Seymour J, Jolley C, Rafferty G, Man W, et al. The value of multiple tests of respiratory muscle strength. *Thorax.* 2007;62:975-980.
18. Laroche CM, Mier AK, Moxham J, Green M. Diaphragm strength in patients with recent hemidiaphragm paralysis. *Thorax.* 1988;43:170-174. [Erratum, Thorax 1988;43:583.]
19. Davis J, Goldman M, Loh L, Casson M. Diaphragm function and alveolar hypoventilation. *Q J Med.* 1976;45:87-100.
20. Mier A, Brophy C, Moxham J, Green M. Twitch pressures in the assessment of diaphragm weakness. *Thorax.* 1989;44:990-996.
21. Sarwal A, Walker FO, Cartwright MS. Neuromuscular ultrasound for evaluation of the diaphragm. *Muscle Nerve.* 2013;47(3):319-329.
22. Baria MR, Shahgholi L, Sorenson EJ, Harper CJ, Lim KG, Strommen JA, et al. B-mode ultrasound assessment of diaphragm structure and function in patients with COPD. *Chest.* 2014;146(3):680-685.
23. Levine S, Nguyen T, Taylor N, Friscia ME, Budak MT, Rothenberg P, et al. Rapid disuse atrophy of diaphragm fibers in mechanically ventilated humans. *N Engl J Med.* 2008;358(13):1327-1335.
24. 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(3):364-371.
25. Powers SK, Kavazis AN, Levine S. Prolonged mechanical ventilation alters diaphragmatic structure and function. *Crit Care Med.* 2009;37(10 suppl):S347-353.
26. Ottenheijm CA, Heunks LM, Sieck GC, Zhan WZ, Jansen SM, Degens H, et al. Diaphragm dysfunction in chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med.* 2005;172:200-205.
27. Ottenheijm CA, Heunks LM, Li YP, Jin B, Minnaard R, van Hees HW, et al. Activation of ubiquitin-proteasome pathway in the diaphragm in chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med.* 2006;174:997-1002.
28. Mitch WE, Goldberg AL. Mechanisms of muscle wasting: the role of the ubiquitin-proteasome pathway. *N Engl J Med.* 1996;335:1897-1905.
29. McKinnell IW, Rudnicki MA. Molecular mechanisms of muscle atrophy. *Cell.* 2004;119:907-910.
30. Gottesman E, McCool FD. Ultrasound evaluation of the paralyzed diaphragm. *Am J Respir Crit Care Med.* 1997;155(5):1570-1574.
31. Wait JL, Nahormek PA, Yost WT, Rochester DP. Diaphragmatic thickness-lung volume relationship *in vivo*. *J Appl Physiol (1985).* 1989;67(4):1560-1568.
32. Yang KL, Tobin MJ. A prospective study of indexes predicting the outcome of trials of weaning from mechanical ventilation. *N Engl J Med.* 1991;324:1445-1450.
33. Kim SH, Na S, Choi JS, Na SH, Shin S, Koh SO. An evaluation of diaphragmatic movement by M-mode sonography as a predictor of pulmonary dysfunction after upper abdominal surgery. *Anesth Analg.* 2010;110:1349-1354.
34. Grosu HB, Lee YI, Lee J, Eden E, Eikermann M, Rose KM. Diaphragm muscle thinning in patients who are mechanically ventilated. *Chest.* 2012;142:1455-1460.
35. 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.
36. Cohn D, Benditt JO, Eveloff S, McCool FD. Diaphragm thickening during inspiration. *J Appl Physiol (1985).* 1997;83:291-296.

#### Correspondencia:

Andrés Tanaka Montoya  
Dináres 7, Colonia Simón Bolívar,  
15410, CDMX.  
Celular 5519040322  
E-mail: andrestanakam@gmail.com