

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE MEDICINA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL  
CENTRO MÉDICO NACIONAL LA RAZA  
UMAE HOSPITAL DE ESPECIALIDADES  
“DR. ANTONIO FRAGA MOURET”

UTILIDAD DE LA EXCURSIÓN DIAFRAGMÁTICA MEDIDA POR  
ULTRASONIDO COMO PREDICTOR DE FRACASO EN EL RETIRO DE  
LA VENTILACIÓN MECÁNICA INVASIVA EN PACIENTES SÉPTICOS

T E S I S

PARA OBTENER EL GRADO DE ESPECIALISTA EN  
MEDICINA CRÍTICA

PRESENTA

Dra. Dalia Amaranta García Ibarra

ASESORES

Dra. Saira Sanjuana Gómez Flores

Dr. Israel Moreno López



CD.MX.

ENERO DE 2018



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

---

Dr. Jesús Arenas Osuna  
Jefe de la División de Educación en Salud  
UMAЕ Hospital de Especialidades “Dr. Antonio Fraga Mouret”  
Centro Médico Nacional La Raza  
Instituto Mexicano del Seguro Social

---

Dr. José Ángel Baltazar Torres  
Profesor Titular del Curso de Especialización en Medicina Crítica  
Unidad de Cuidados Intensivos  
UMAЕ Hospital de Especialidades “Dr. Antonio Fraga Mouret”  
Centro Médico Nacional La Raza  
Instituto Mexicano del Seguro Social

---

Dra. Dalia Amaranta García Ibarra  
Residente del Curso de Especialización en Medicina Crítica  
Unidad de Cuidados Intensivos  
UMAЕ Hospital de Especialidades “Dr. Antonio Fraga Mouret”  
Centro Médico Nacional La Raza  
Instituto Mexicano del Seguro Social

Número de registro: R-2017-3501-109

# INDICE

	Página
Resumen	4
Abstract	5
Antecedentes científicos	6
Pacientes y métodos	9
Resultados	12
Discusión	22
Conclusiones	25
Bibliografía	26

## RESUMEN

### Título:

Utilidad de la excursión diafragmática medida por ultrasonido como predictor de fracaso en el retiro de la ventilación mecánica invasiva en pacientes sépticos.

### Objetivo:

Demostrar que la excursión diafragmática (ED) es predictor de fracaso en el retiro de la ventilación mecánica (RVMI).

### Pacientes y métodos:

Estudio prospectivo en pacientes sépticos con VMI >48 horas. Recabamos variables demográficas y clínicas. Medimos ED por ultrasonido al final de la prueba de ventilación espontánea. Determinamos la utilidad de la ED para predecir fracaso en el RVMI mediante curva ROC, sensibilidad (S), especificidad (E) y valores predictivo positivo (VPP) y negativo (VPN).  $p < 0.05$  se consideró estadísticamente significativa.

### Resultados:

Analizamos 63 pacientes, edad promedio 54.2 años, 55.6% mujeres. El sitio más frecuente de infección fue pulmonar (46%). El 23.8% fracasaron al RVMI. La principal causa de fracaso fue respiratoria (46%). La ED fue significativamente menor en los pacientes que fracasaron. La ED promedio tuvo área bajo la curva ROC de 0.925. La ED promedio de 16 mm tuvo S de 87.5%, E de 80%, VPP de 42% y VPN de 98% para predecir fracaso en el RVMI.

### Conclusiones:

La disfunción diafragmática es una causa frecuente de fracaso en el RVMI. Los pacientes que fracasan al RVMI tienen ED significativamente menor en comparación con los pacientes con retiro exitoso. La ED medida por USG es útil como predictor de fracaso en el RVMI en pacientes sépticos.

### Palabras clave:

Ventilación mecánica, fracaso en el retiro de la ventilación mecánica, excursión diafragmática, ultrasonido.

## ABSTRACT

### Title:

Usefulness of diaphragmatic excursion measured by ultrasound as a predictor of failure in weaning from invasive mechanical ventilation in septic patients.

### Objective:

Demonstrate that diaphragmatic excursion (DE) is a predictor of failure in weaning from invasive mechanical ventilation (WIMV).

### Patients and methods:

Prospective study in septic patients with IMV >48 hours. We collected demographic and clinical variables. We measured DE by ultrasound at the end of the spontaneous ventilation trial. We determined the usefulness of DE to predict failure in the WIMV using the ROC curve, sensitivity (S), specificity (E), and positive (PPV) and negative (NPV) predictive values.  $p < 0.05$  was considered statistically significant.

### Results:

We analyzed 63 patients, mean age 54.2 years, 55.6% women. The most frequent site of infection was pulmonary (46%). The 23.8% failed the WIMV. The main cause of failure was respiratory (46%). DE was significantly lower in patients who failed to WIMV. The mean DE had an area under the ROC curve of 0.925. Mean DE of 16 mm had S of 87.5%, E of 80%, VPP of 42% and NPV of 98% to predict failure in the WIMV.

### Conclusions:

Diaphragmatic dysfunction is a frequent cause of failure in WIMV. Patients who fail in WIMV have significantly lower DE compared to patients with successful weaning. DE measured by ultrasound is useful as a predictor of failure in WIMV in septic patients.

### Keywords:

Mechanical ventilation, failure in weaning from invasive mechanical ventilation, diaphragmatic excursion, ultrasound.

## ANTECEDENTES CIENTÍFICOS

La ventilación mecánica invasiva (VMI) es un sistema de apoyo artificial, que se emplea en aquellos pacientes en los cuales por alguna condición patológica no puede llevarse a cabo la ventilación normal.<sup>1</sup>

Todo paciente que ha requerido VMI y que tiene controlada o erradicada la condición patológica que motivó su uso, debe ser retirado del ventilador lo más pronto posible. Aunque constituyen dos eventos diferentes, generalmente el retiro del ventilador se entiende como la desconexión del ventilador y el retiro de la cánula endotraqueal. Este momento es muy importante para el pronóstico del enfermo, ya que tanto el retiro prematuro como el retiro tardío de la VMI, incrementan la morbilidad y la mortalidad.<sup>2</sup>

En determinadas circunstancias, el retiro de la VMI suele ser un proceso lento que llega a consumir hasta el 50% de la duración total del soporte ventilatorio.<sup>2,3</sup> Además, uno de cada tres pacientes puede fracasar al retiro de la VMI, requiriendo reintubación dentro de las primeras 48 horas posteriores a la desconexión del ventilador.<sup>4,5</sup> El fracaso en el retiro de la VMI se asocia a mayor estancia hospitalaria, mayor riesgo de desarrollar neumonía y mayor mortalidad.<sup>4</sup> Por lo tanto, la identificación del momento oportuno para retirar el soporte ventilatorio es un reto para el clínico.

Se ha demostrado que la evaluación subjetiva para identificar el momento adecuado para retirar la VMI con frecuencia conduce a decisiones erróneas.<sup>5</sup> Esto ha motivado que se hayan analizado más de 50 variables fisiológicas como herramientas para predecir el éxito en el retiro de la VMI.<sup>6</sup> Sólo 5 de ellas han demostrado significancia clínica como predictores de éxito o fracaso, destacando la medición de la presión inspiratoria máxima (PIM) y el cálculo de la relación entre la frecuencia respiratoria (F) y el volumen tidal (Vt), también conocida como índice f/Vt.<sup>2,3,7,8</sup>

La medición de la PIM no ha demostrado disminuir la tasa de reintubaciones ni mejorar la supervivencia.<sup>3,9</sup> Por su parte, el índice f/Vt tiene sensibilidad de hasta 100% pero especificidad de sólo 64% para predecir éxito en el retiro de la VMI en pacientes con menos de 8 días de soporte ventilatorio. Además, los puntos de corte del índice f/Vt pueden ser diferentes en poblaciones específicas de pacientes y su utilidad disminuye en pacientes con más de una semana de soporte ventilatorio.<sup>7,10</sup>

El fracaso en el retiro de la VMI tiene múltiples causas. Puede deberse a factores intrínsecos de la vía aérea, a problemas cardíacos y más frecuentemente a disfunción de los músculos respiratorios.<sup>4,6,11</sup> Debido a esto último, se ha propuesto evaluar la función del diafragma, considerado el principal músculo respiratorio, para predecir éxito en el retiro de la VMI. Sin embargo, la evaluación de la función diafragmática se ha realizado mediante electromiografía, fluoroscopia o tomografía computada, lo que la hace compleja y poco práctica para realizarse en pacientes críticos.<sup>12</sup>

Recientemente se ha propuesto que el ultrasonido (USG) puede ser un método rápido, no invasivo y confiable, que permite la evaluación de la función del diafragma a la cabecera del enfermo.<sup>7,12</sup> Dos diferentes parámetros pueden ser medidos por USG para evaluar la función del diafragma: la excursión diafragmática (ED) y la fracción de engrosamiento del diafragma (FED).<sup>13</sup>

Diferentes estudios han evaluado la exactitud y reproducibilidad de los parámetros de función diafragmática obtenidos por USG y han reportado sensibilidad y especificidad superiores al 70% para predecir éxito en el retiro de la VMI.<sup>12,14-19</sup> La medición de la FED, que se realiza en modo B, ha reportado un mejor rendimiento para estimar la fuerza muscular y predecir la falla a la extubación. Sin embargo, no siempre es fácil de medir, se requiere un transductor de alta frecuencia y presenta más dificultades técnicas en algunos pacientes como los obesos.

Además, las mediciones pueden variar en milímetros, lo que puede influir en los resultados.<sup>20</sup> La medición de la ED, que se realiza en modo M, es más fácil de realizar y ha mostrado mejor reproducibilidad. Sin embargo, hay controversia sobre su rendimiento para evaluar la contracción diafragmática.<sup>21</sup> Además, los valores de punto de corte, técnicas utilizadas y poblaciones estudiadas han sido variadas. Nosotros proponemos evaluar la utilidad de la ED para medir la contracción del diafragma y buscar un punto de corte para predecir fracaso en el retiro de la VMI en pacientes sépticos con retiro ventilatorio prolongado, estandarizar la prueba y adaptarla a las condiciones generales de las Unidades de Cuidados Intensivos (UCI) en nuestro entorno.

## PACIENTES Y MÉTODOS

Se realizó un estudio prospectivo, longitudinal, observacional y analítico en la UCI de un hospital de enseñanza del tercer nivel de atención. Se incluyeron pacientes sépticos que ingresaron a la UCI entre el 1 de junio y el 31 de diciembre de 2017, de ambos sexos, mayores de 16 años, que requirieron VMI por al menos 48 horas y que firmaron el consentimiento informado por escrito para participar en el estudio. El diagnóstico de sepsis se realizó de acuerdo a las definiciones de Sepsis-3.<sup>22</sup> Se excluyeron aquellos con uso de relajantes musculares 48 horas previas al ingreso al estudio, uso de esteroides en forma crónica, embarazo, enfermedades neuromusculares (miastenia gravis, síndrome de Guillain-Barré), imposibilidad para colocar al paciente en semifowler (entre 30 y 45°) durante la prueba de ventilación espontánea (PVE), uso de BIPAP previo a la hospitalización, insuficiencia cardiaca clase II de la New York Heart Association, mala ventana ultrasonográfica, decanulación fortuita y/o defunción antes del retiro de la VMI.

Una vez ingresado un paciente al estudio se registraron las siguientes variables demográficas y clínicas: sexo, edad, índice de masa corporal (IMC), diagnóstico de ingreso a la UCI, involucro del diafragma, gravedad de la enfermedad evaluada mediante la escala APACHE II,<sup>23</sup> presencia de disfunción orgánica evaluada mediante la escala SOFA<sup>24</sup> y duración de la VMI previo a la realización de la PVE. Una vez que se decidió iniciar el protocolo de retiro de la VMI, se realizó una PVE con pieza en T o en modo CPAP + PS (continuous positive airway pressure plus pressure support, por sus siglas en inglés), con PS máxima de 10 cmH<sub>2</sub>O y CPAP máxima de 5 cmH<sub>2</sub>O. La decisión de iniciar el protocolo de retiro de la VMI y la elección de la modalidad de la PVE se dejaron a criterio del médico tratante del paciente. Se registró la calificación SOFA del día en que se realizó la PVE. Se midió la ED a los 30 minutos de iniciada la PVE. Para ello, se colocó al paciente en posición semifowler con la cabecera entre 30 y 45°.

Se visualizó el diafragma mediante USG modo M a nivel de la línea axilar anterior y se eligió el punto donde se observó la mejor aposición entre el parénquima pulmonar y hepático para el lado derecho y el parénquima pulmonar y el bazo para el izquierdo. Se utilizó un transductor lineal de 3.5 - 7 mHz y un equipo de USG marca Esaote, modelo MyLab 40. Se midió la ED de cada hemidiafragma en 3 ciclos respiratorios consecutivos, obteniendo la distancia en milímetros entre la posición del diafragma al final de la espiración y al final de la inspiración y se calculó el promedio de las 3 mediciones. Durante la medición de la ED se evitó la inspiración y espiración forzadas. Las mediciones de la ED se realizaron por dos médicos intensivistas con entrenamiento formal en USG en el paciente crítico. La decisión del resultado de la PVE (éxito o fracaso) y del retiro de la VMI se dejaron a criterio del médico tratante. Una vez retirada la VMI, se vigiló al paciente durante 48 horas y se consideró fracaso en el retiro de la VMI si el paciente requirió soporte ventilatorio mecánico durante ese lapso. Finalmente, se registraron las causas de fracaso al retiro de la VMI, el tiempo entre la extubación y el reinicio del apoyo ventilatorio mecánico, el tipo de VM utilizada posterior al fracaso (invasiva o no invasiva), la duración del apoyo ventilatorio mecánico posterior al fracaso, la duración total de la VMI, el tiempo de estancia en la UCI y la defunción durante la estancia en la UCI. Para fines de comparación se formaron dos grupos: uno con pacientes que fracasaron al retiro de la VMI y otro con pacientes con retiro exitoso.

Análisis estadístico: Se utilizó estadística descriptiva para la presentación de los datos. Las variables numéricas con distribución normal se expresan como promedio  $\pm$  desviación estándar y aquellas con distribución libre se expresan como mediana con rango intercuartil (RIC). La distribución de los datos se determinó mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Las variables nominales se expresan como porcentaje. Para comparar las variables cuantitativas se empleó la prueba T de Student o la prueba U de Mann-Whitney, dependiendo

de su distribución. Las variables nominales se compararon con la prueba Chi<sup>2</sup> o la prueba de la probabilidad exacta de Fisher, según fue el caso. La utilidad de la medición ultrasonográfica de la ED se evaluó mediante el cálculo de la sensibilidad (S) y especificidad (E) de la prueba, utilizando el método de tablas de contingencia. Así mismo, se realizó la estimación de los valores predictivos positivo (VPP) y negativo (VPN) y de las razones de verosimilitud positiva (RVP) y negativa (RVN). La identificación del punto de corte del valor de la ED para predecir fracaso en el retiro de la VMI se realizó mediante análisis de la curva ROC (receiver operating characteristics curve, por sus siglas en inglés), eligiendo el punto de corte con el mayor valor de índice de Youden. Se realizó comparación de la ED entre pacientes con sepsis de origen pulmonar y extrapulmonar, hombres y mujeres, con o sin involucro del diafragma y entre pacientes con índice de masa corporal  $\leq 30$  y  $> 30$ . En todos los casos, un valor de  $P < 0.05$  se consideró estadísticamente significativo. El análisis de los datos se realizó utilizando el Statistical Package for Social Science versión 20.0 para Windows (IBM SPSS Statistics 20.0 para Windows, Armonk, NY).

## RESULTADOS

Durante el periodo de estudio, 347 pacientes ingresaron a la UCI. De ellos, 86 (24.8%) ingresaron por sepsis. De los 86 pacientes sépticos, 75 (87.2%) requirieron VMI y de estos 63 (84%) tuvieron VMI por más de 48 horas y cumplieron con los criterios de inclusión al estudio. Treinta y cinco (55.6%) pacientes fueron del sexo femenino, la edad promedio fue de  $54.2 \pm 17.8$  años y el IMC fue en promedio de  $28.6 \pm 5$  kg/m<sup>2</sup> (Tabla 1).

Las comorbilidades más frecuentes se muestran en la Tabla 2, destacan hipertensión arterial sistémica (57.1%), dislipidemia (55.6%), inmunosupresión (46%) y diabetes mellitus tipo 2 (38.1%).

Los sitios de infección más frecuentes fueron pulmones (46%) y cavidad peritoneal (25.4%). En el 17.5% de los casos el proceso patológico involucró el diafragma. El promedio de la calificación APACHE II fue de  $21.1 \pm 5.5$  y la mediana de la calificación SOFA al ingreso a la UCI fue de 8 (RIC 7 - 10). La duración promedio de la VMI previo a la realización de la PVE fue de  $7.3 \pm 3.9$  días. Dieciocho pacientes (28.6%) presentaron disminución de la ED, que se catalogó como disfunción del diafragma. El 23.8% de los pacientes fracasaron al retiro de la VMI y la principal causa de fracaso fue respiratoria (46.7%), seguida de cardiológica (33.3%). La duración total de la VMI fue en promedio de  $8.1 \pm 4.7$  días, la estancia en la UCI fue en promedio de  $7.9 \pm 4.5$  días y la mortalidad fue del 18.7%. El resto de las variables demográficas y clínicas se muestran en la Tabla 1.

En la gran mayoría de los pacientes (98.4%) la PVE se realizó con pieza en T y la mediana de la duración de la PVE fue de 60 (RIC 34 - 100) minutos. Al final de la PVE el índice f/Vt promedio fue de  $55.3 \pm 17.8$  respiraciones por minuto/mL, la PIM promedio fue de  $-29 \pm 8.6$  cmH<sub>2</sub>O y la relación PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> promedio fue de  $234.7 \pm 60$ . El promedio de la EDD fue de  $18.5 \pm 3.9$  mm, de la EDI fue de  $17.9 \pm 3.5$  mm, y de la EDP fue de  $18.3 \pm 3.4$  mm (Tabla 3).

En la Tabla 4 se muestra la comparación de las variables demográficas y clínicas entre los pacientes con éxito o fracaso en el retiro de la VMI. No hubo diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, a excepción de la duración total de la VMI, la cual fue mayor en los pacientes con fracaso en el retiro de la VMI en comparación con los pacientes que se retiraron exitosamente ( $12.3 \pm 5$  vs  $6.9 \pm 3.9$  días, respectivamente,  $p = 0.001$ ).

La Tabla 5 muestra la comparación de las variables ventilatorias entre los grupos. No hubo diferencias estadísticamente significativas en el tipo y duración de la PVE, PIM y relación  $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$  entre los grupos. El índice  $f/V_t$ , aunque estuvo dentro de valores normales en ambos grupos, fue significativamente menor en los pacientes con retiro exitoso en comparación con los pacientes que fracasaron ( $52.3 \pm 14.1$  vs  $65.1 \pm 24.4$  respiraciones por minuto/mL, respectivamente,  $p = 0.013$ ). Por otro lado, tanto la EDD como la EDI y la ED promedio fueron significativamente menores en los pacientes que fracasaron, en comparación con los pacientes con retiro exitoso de la VMI (EDD  $14.7 \pm 1.9$  vs  $19.7 \pm 3.6$  mm, respectivamente,  $p = 0.001$ ; EDI  $14.3 \pm 1.8$  vs  $19.1 \pm 3.2$  mm, respectivamente,  $p = 0.001$ ; ED promedio  $14.9 \pm 1.6$  vs  $19.4 \pm 3.1$  mm, respectivamente,  $p = 0.001$ ).

La ED promedio tuvo buena capacidad discriminativa para identificar a los pacientes con fracaso en el retiro de la VMI, con un área bajo la curva ROC de 0.925 (IC95% 0.858 - 0.992). Mediante el análisis de la curva ROC y utilizando el índice de Youden, se identificó un punto de corte de 16 mm en la ED (Figura 1). Este valor de ED tuvo S de 87.5%, E de 80%, VPP de 42% y VPN de 98% para predecir fracaso en el retiro de la VMI. La RVP fue de 4.4 (IC95% 2.3 - 7.9) y la RVN fue de 0.2 (IC96% 0.1 - 0.5).

Para identificar posibles factores (sexo, obesidad, infección pulmonar o involucro del diafragma) que pudieran interferir con la ED y por lo tanto con la posibilidad de éxito o fracaso en el retiro de la VMI, se compararon las variables ventilatorias y la ED entre hombres y

mujeres, obesos y no obesos, pacientes con y sin neumonía y pacientes con y sin involucro del diafragma como parte de su patología. En ninguno de los casos y en ninguna de las variables analizadas se encontraron diferencias estadísticamente significativas (Tabla 6).

Tabla 1. Características demográficas y clínicas de la población estudiada

n	63
Sexo femenino, n (%)	35 (55.6)
Edad (años)	54.2 ± 17.8
Índice de masa corporal (kg/m <sup>2</sup> )	28.6 ± 5
Diagnóstico de ingreso a la UCI, n (%)	
Neumonía	29 (46)
Peritonitis	16 (25.4)
Infección de vías urinarias	8 (12.7)
Infección de tejidos blandos	6 (9.5)
Mediastinitis	4 (6.3)
Involucro del diafragma, n (%)	11 (17.5)
Calificación APACHE II	21.1 ± 5.5
Calificación SOFA al ingreso a la UCI *	8 (7 - 10)
Días de VM previo a la PVE	7.3 ± 3.9
Calificación SOFA al inicio de la PVE *	4 (3 - 6)
Fracaso en el retiro de la VM, n (%)	15 (23.8)
Causas de fracaso, n (%)	
Respiratoria	7 (46.7)
Cardiológica	5 (33.3)
Neurológica	3 (20)
Tiempo de reinicio de la VM (horas)	30.3 ± 21.9
Tipo de VM utilizada posterior al fracaso, n (%)	
Invasiva	12 (80)
No invasiva	3 (20)
Duración de la VMI posterior al fracaso (días)	4.2 ± 3.7
Duración de la VMNI posterior al fracaso (horas)	19.3 ± 9.9
Duración total de la VM (días)	8.1 ± 4.7
Días de estancia en la UCI	7.9 ± 4.5
Defunción en la UCI, n (%)	3 (18.7)

UCI = unidad de cuidados intensivos, APACHE = acute physiologic and chronic health evaluation, SOFA = sequential organ failure assessment, VM = ventilación mecánica, VMI = ventilación mecánica invasiva, VMNI = ventilación mecánica no invasiva

\* Mediana (rango intercuartilar)

Tabla 2. Frecuencia de comorbilidades en la población estudiada

	n	%
Hipertensión arterial sistémica	36	57.1
Dislipidemia	35	55.6
Inmunosupresión	29	46
Diabetes mellitus tipo 2	24	38.1
Complicaciones de diabetes mellitus tipo 2	22	34.9
Cardiopatía isquémica	18	28.6
Insuficiencia cardíaca congestiva	17	27
Enfermedad arterial periférica	13	20.6
Insuficiencia renal crónica	12	19
RCP previo a ingreso a UCI	6	9.5
Hipotiroidismo	3	4.8
Lupus eritematoso sistémico	3	4.8
Enfermedad del tejido conectivo	2	3.2
Otras	23	36.5

RCP = reanimación cardiopulmonar, UCI = unidad de cuidados intensivos

Tabla 3. Variables ventilatorias en la población estudiada

PVE con pieza en T, n (%)	62 (98.4)
Duración de la PVE (minutos) *	60 (34 - 100)
f/Vt (resp x min/mL)	55.3 ± 17.8
PIM (cmH <sub>2</sub> O)	-29 ± 8.6
Relación PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub>	234.7 ± 60
EDD (mm)	18.5 ± 3.9
EDI (mm)	17.9 ± 3.5
EDP (mm)	18.3 ± 3.4

PVE = prueba de ventilación espontánea, f/Vt = relación entre la frecuencia respiratoria y el volumen corriente, PIM = presión inspiratoria máxima, PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> = relación entre la presión arterial de oxígeno y la fracción inspirada de oxígeno, EDD = excursión diafragmática derecha, EDI = excursión diafragmática izquierda, EDP = excursión diafragmática promedio

\* Mediana (rango intercuartilar)

Tabla 4. Comparación de las características demográficas y clínicas entre los pacientes con éxito o fracaso en el retiro de la ventilación mecánica

	Éxito	Fracaso	p
n (%)	48 (76.2)	15 (23.8)	
Sexo femenino, n (%)	29 (60.4)	6(40)	0.165
Edad (años)	54.4 ± 17.7	53.6 ± 18.6	0.887
Índice de masa corporal (kg/m <sup>2</sup> )	28.4 ± 4.7	29.2 ± 5.9	0.631
Diagnóstico de ingreso a la UCI, n (%)			
Neumonía	19 (39.6)	10 (66.7)	
Peritonitis	13 (27.1)	3 (20)	0.402
Infección de vías urinarias	7 (14.6)	1 (6.7)	
Infección de tejidos blandos	5 (10.4)	1 (6.7)	
Mediastinitis	4 (8.3)	0	
Involucro del diafragma, n (%)	9 (18.8)	2 (13.3)	0.482
Calificación APACHE II	20.7 ± 5.3	22.7 ± 5.8	0.199
Calificación SOFA al ingreso a la UCI	8 (7 - 10)	8 (7 - 10)	0.852 *
Días de VM	6.8 ± 3.9	8.7 ± 3.8	0.107
Calificación SOFA al inicio de la PVE	4 (2.3 - 5)	4 (3 - 7)	0.632 *
Duración total de la VM (días)	6.9 ± 3.9	12.3 ± 5	0.001
Días de estancia en la UCI	7.8 ± 4.5	8.5 ± 4.7	0.604
Defunción en la UCI, n (%)	1 (2.1)	2 (13.3)	0.074

UCI = unidad de cuidados intensivos, APACHE = acute physiologic and chronic health evaluation, SOFA = sequential organ failure assessment, VM = ventilación mecánica

\* U de Mann-Whitney

Tabla 5. Comparación de las variables ventilatorias entre los pacientes con éxito o fracaso en el retiro de la ventilación mecánica

	Éxito	Fracaso	p
n (%)	48 (76.2)	15 (23.8)	
PVE con pieza en T, n (%)	48 (100)	14 (93.3)	0.238
Duración de la PVE (minutos)	47 (33.2 - 92.3)	95 (41 - 138)	0.163 *
f/Vt (resp x min/Vt)	52.3 ± 14.1	65.1 ± 24.4	0.013
PIM (cmH <sub>2</sub> O)	-29.8 ± 8.7	-25.7 ± 8.1	0.299
Relación PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub>	233.6 ± 61.6	238.4 ± 56.3	0.788
EDD (mm)	19.7 ± 3.6	14.7 ± 1.9	0.001
EDI (mm)	19.1 ± 3.2	14.3 ± 1.8	0.001
EDP (mm)	19.4 ± 3.1	14.9 ± 1.6	0.001

PVE = prueba de ventilación espontánea, f/Vt = relación entre la frecuencia respiratoria y el volumen corriente, PIM = presión inspiratoria máxima, PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> = relación entre la presión arterial de oxígeno y la fracción inspirada de oxígeno, EDD = excursión diafragmática derecha, EDI = excursión diafragmática izquierda, EDP = excursión diafragmática promedio

\* U de Mann-Whitney

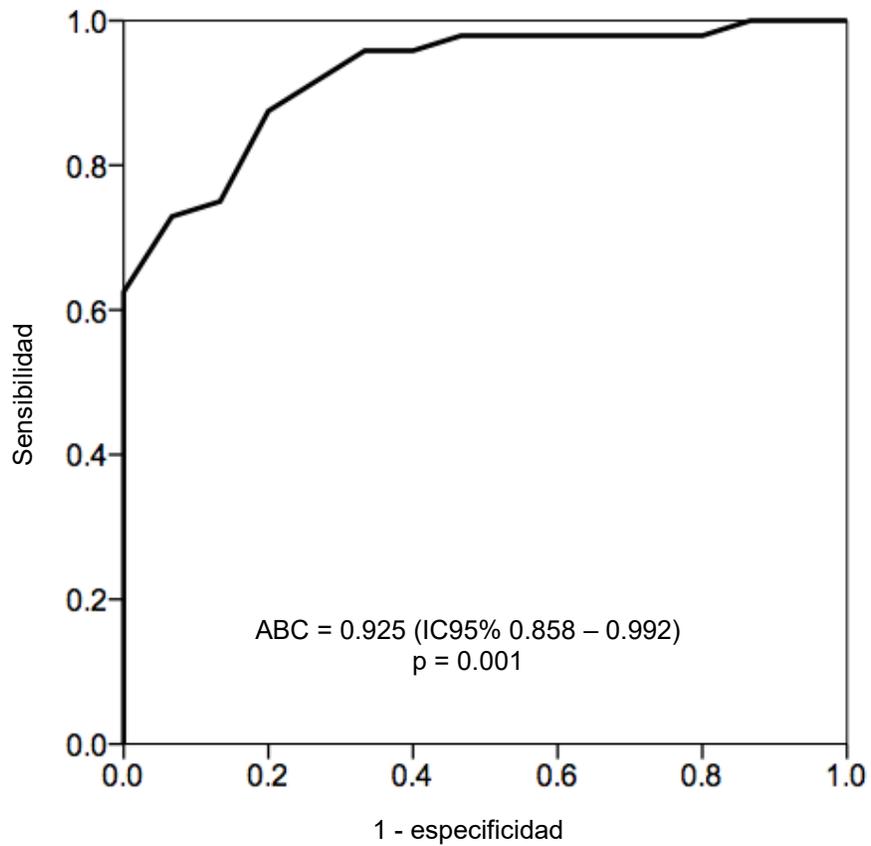


Fig. 1. Área bajo la curva ROC de la excusión diafragmática promedio para predecir éxito en el retiro de la ventilación mecánica

AUC = área bajo la curva ROC, IC95% = intervalo de confianza del 95%

Tabla 6. Comparación de la excursión diafragmática de acuerdo a diferentes variables confusoras

	Sexo			IMC		
	Masculino	Femenino	p	≤30	>30	p
n (%)	28 (44.4)	35 (55.6)		41 (65.1)	22 (34.9)	
f/Vt (resp x min/Vt)	59.1 ± 17.9	52.3 ± 17.3	0.133	57.2 ± 19.8	51.8 ± 12.7	0.196
PIM (cmH <sub>2</sub> O)	-28.1 ± 6.9	-29.8 ± 10	0.588	-27.7 ± 9.1	-32 ± 6.8	0.216
Relación PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub>	231 ± 58	237.7 ± 62.2	0.664	241.5 ± 63.8	222.1 ± 51.2	0.226
EDD (mm)	17.9 ± 3.3	18.9 ± 4.3	0.29	18.7 ± 3.5	18.1 ± 4.5	0.580
EDI (mm)	17.4 ± 3.3	18.4 ± 3.7	0.265	17.7 ± 3.4	18.5 ± 3.9	0.373
EDP (mm)	17.8 ± 2.9	18.7 ± 3.9	0.334	18.3 ± 3.2	18.4 ± 3.8	0.867

IMC = índice de masa corporal, f/Vt = relación entre la frecuencia respiratoria y el volumen corriente, PIM = presión inspiratoria máxima, PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> = relación entre la presión arterial de oxígeno y la fracción inspirada de oxígeno, EDD = excursión diafragmática derecha, EDI = excursión diafragmática izquierda, EDP = excursión diafragmática promedio

Tabla 6 (continuación). Comparación de la excursión diafragmática de acuerdo a diferentes variables confusoras

	Neumonía			Involucro del diafragma		
	Si	No	p	Si	No	p
n (%)	34 (54)	29 (46)		52 (82.5)	11 (17.5)	
f/Vt (resp x min/Vt)	58.1 ± 20.1	53 ± 15.4	0.27	56.6 ± 17.9	55 ± 17.9	0.789
PIM (cmH <sub>2</sub> O)	-31.7 ± 12	-27.2 ± 4.9	0.244	-26.3 ± 7.4	-29.4 ± 8.8	0.501
Relación PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub>	233.8 ± 65.4	235.5 ± 56	0.913	231.4 ± 54	235.4 ± 61.7	0.84
EDD (mm)	18.5 ± 4.2	18.5 ± 3.6	0.986	17.6 ± 3.7	18.7 ± 3.9	0.359
EDI (mm)	17.8 ± 3.9	18.1 ± 3.3	0.798	17.6 ± 3	18 ± 3.7	0.747
EDP (mm)	18.3 ± 3.8	18.3 ± 3.1	0.943	17.8 ± 2.4	18.4 ± 3.6	0.571

f/Vt = relación entre la frecuencia respiratoria y el volumen corriente, PIM = presión inspiratoria máxima, PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> = relación entre la presión arterial de oxígeno y la fracción inspirada de oxígeno, EDD = excursión diafragmática derecha, EDI = excursión diafragmática izquierda, EDP = excursión diafragmática promedio

## DISCUSIÓN

La VMI es un sistema de apoyo para la función respiratoria de uso frecuente en los pacientes que ingresan a la UCI.<sup>25</sup> En nuestro estudio, el 59.5% de los pacientes sépticos que ingresaron a la UCI requirieron VMI en algún momento de su estancia en la misma y el 46.6% requirieron apoyo ventilatorio por más de 48 horas.

El uso de VMI se asocia con complicaciones como infección pulmonar, lesión de la vía aérea y disfunción diafragmática.<sup>26</sup> Por ello, la VMI debe retirarse lo más pronto posible. El retiro prematuro de la VMI también conlleva riesgos como hipoxemia, acidosis respiratoria y muerte.<sup>6</sup> Bajo este escenario, la identificación del momento oportuno para retirar la VMI sigue siendo un reto para los clínicos.

En los pacientes con apoyo ventilatorio prolongado, el retiro de la VMI es un proceso lento y difícil que puede consumir hasta el 40% del tiempo total de duración de la VMI.<sup>18</sup> Además, 1 de cada 3 pacientes (30%) fracasan al retiro del ventilador aun cuando hayan pasado una PVE. En nuestro estudio, los pacientes fueron retirados del ventilador posterior a pasar una PVE y el 23.8% de ellos fracasaron al retiro, lo cual está de acuerdo con lo reportado en la literatura. Una de las principales causas de fracaso en el retiro del ventilador es la disfunción diafragmática.<sup>19</sup> El diafragma es el principal músculo respiratorio y contribuye a generar hasta el 70% del volumen corriente en cada ventilación,<sup>17</sup> de tal manera que la disfunción de este músculo contribuye de manera relevante a la imposibilidad para lograr la desconexión del ventilador. Por esta razón, recientemente se ha puesto énfasis en la valoración de la función diafragmática para determinar si el enfermo está en condiciones de ventilar espontáneamente y poder ser retirado del ventilador.<sup>27</sup> En nuestro estudio, un poco más de una cuarta parte de los pacientes (28.6%) desarrollaron disfunción diafragmática durante su estancia en la UCI.

El USG ha demostrado ser una excelente herramienta para evaluar la función diafragmática, ya sea a través de la medición del grosor del diafragma o de su excursión durante el ciclo respiratorio.<sup>21</sup> En este estudio, nosotros evaluamos la utilidad de la ED como predictor de fracaso en el retiro de la VMI. Encontramos que los pacientes que fracasaron en el retiro tuvieron ED significativamente menor en comparación con las pacientes que tuvieron retiro exitoso. Esto está de acuerdo con lo reportado por Ferrari y colaboradores,<sup>18</sup> quienes reportaron que la ED mostró una diferencia significativa entre pacientes con éxito a fracaso al retiro de la VMI. Además, notamos que la disminución de la ED es un fenómeno bilateral y que la magnitud de la disminución de la ED es similar en ambos lados.

Por otro lado, encontramos que la medición ultrasonográfica de la ED al final de la PVE tuvo excelente capacidad discriminativa para identificar aquellos pacientes que fracasarán al retiro del ventilador, con área bajo la curva ROC de 0.925. Este valor de área bajo la curva ROC es algo mayor a lo reportado previamente. Spadaro y colaboradores,<sup>28</sup> quienes midieron la ED durante la PVE con pieza en T en 51 pacientes, reportaron un área bajo la curva de ROC de 0.82. Por otro lado, Llamas-Álvarez y colaboradores<sup>29</sup> reportaron un área bajo la curva ROC de 0.87.

Mediante el análisis de la curva ROC y utilizando el índice de Youden, identificamos un valor de ED promedio de 16 mm como punto de corte para dividir a los pacientes con función diafragmática normal y aquellos con disfunción del diafragma. Este punto de corte tuvo adecuada sensibilidad (87.5%) y especificidad (80%) para predecir el fracaso en el retiro de la VMI. Este valor de punto de corte es mayor que lo reportado previamente. Farghaly y colaboradores<sup>17</sup> identificaron un punto de corte de 10.5 mm en un estudio realizando en 54 pacientes. Este punto de corte tuvo S de 71.5% y E de 86.6% para predecir éxito en el retiro de la VMI. Por su parte, Matamis y colaboradores<sup>12</sup> midieron por USG modo M la movilidad,

fuerza y velocidad de contracción del diafragma en pacientes con cirugía torácica y abdominal. Encontraron que un punto de corte de 11 mm en la ED tuvo S de 84.4% y E de 82.6% para predecir éxito en el retiro de la VMI. Por otro lado, Kim y colaboradores<sup>19</sup> analizaron el grado de disfunción diafragmática midiendo la ED en pacientes ventilados mecánicamente por más de 48 horas. Encontraron que un punto de corte de 10 mm se asoció con mayor retardo en el retiro de la ventilación, así como con más días de intubación. Este punto de corte tuvo S de 83%, E de 41%, VPP de 37% y VPN de 86%. Por último, Jiang y colaboradores<sup>7</sup> identificaron un punto de corte de 11 mm para predecir el éxito en la extubación, con Sde 84.4% y E de 82.6%.

## CONCLUSIONES

La disfunción diafragmática se presenta en aproximadamente una cuarta parte de los pacientes sépticos que requieren VMI por más de 48 horas. Los pacientes que fracasan al retiro de la VMI tienen ED significativamente menor en comparación con los pacientes con retiro exitoso. La ED medida por USG al final de la PVE es útil como predictor de fracaso en el retiro de la VMI. Un punto de corte de 16 mm en la ED tiene adecuada sensibilidad y especificidad para identificar a los pacientes que fracasarán en el retiro de la VMI.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Esteban A, Ferguson N, Meade M, Frutos-Vivar F, Apezteguia C, Brochard L, et al. Evolution of mechanical ventilation in response to clinical research. *Am J Resp Crit Care Med* 2008;77:170-7.
2. MacIntyre NR, Cook DJ, Ely EW, et al. Evidence-based guidelines for weaning and discontinuing ventilatory support: a collective task force facilitated by the American College of Chest Physicians; The American Association for Respiratory Care; and The American College of Critical Care Medicine. *Chest* 2001;120(6 suppl):375S-395S.
3. Esteban A, Anzueto A, Frutos F, et al. Characteristics and outcome in adult patients receiving mechanical ventilation: a 28-day international study. *JAMA* 2002;287:345-55.
4. Epstein S. Weaning from ventilatory support. *Current Opin Crit Care* 2009;15:36-43.
5. Blumhot S, Wheeler D, Thomas K, et al. Change in diaphragmatic thickness during the respiratory cycle predicts extubation success at various levels of pressure support ventilation. *Lung* 2016;194:519-25.
6. Boles J, Bion J, Connors A, et al. Weaning from mechanical ventilation. *Eur Respir J* 2007;29:1033-56.
7. Jiang J-R, Tsai T-H, Jerng J-S, Yu C-J, Wu H-D y Yang P-C. Ultrasonographic evaluation of liver/spleen movements and extubation outcome. *Chest* 2004; 126:179-185.
8. Cohn DB, Benditt JO, Eveloff SE, McCool FD. Diaphragm thickening during inspiration. *J Appl Physiol* 1997;83(1):291-6.
9. Frutos F, Esteban A. Desconexión de la ventilación mecánica, ¿porqué seguimos buscando métodos alternativos? *Med Intensiva* 2013;37:605-17.
10. 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(21):1445-50.

11. Criner GJ. Measuring diaphragm shortening using ultrasonography to predict extubation success. *Thorax* 2014;69:402-4.
12. Matamis D, Soilemezi E, Tsagouras 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.
13. Mayo P, Volpicelli G, Lerolle N, Schreiber A, Doelken P y Vieillard-Baron A. Ultrasonography evaluation during the weaning process: the hearth, the diaphragm, the pleura and the lung. *Intensive Care Med* 2016;42:1107-17.
14. Boussuges A, Gole Y, Blanc P. Diaphragmatic motion studied by m-mode ultrasonography: methods, reproducibility, and normal values. *Chest* 2009;135:391-400.
15. Vivier E, Mekontso DA, Dimass 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.
16. DeNino E, Gartman E, Sethi J, et al. Diaphragm ultrasound as a predictor of successful extubation from mechanical ventilation. *Thorax* 2014;69:431-5.
17. Farghaly S, Hasan AA. Diaphragm ultrasound as a new method to predict extubation outcome in mechanically ventilated patients. *Aust Crit Care* 2017; 30: 37-43
18. Ferrari G, De Filippi G, Elia F, Panero F, Volpucelli G y Aprà F. Diaphragm ultrasound as a new index of discontinuation from mechanical ventilation. *Crit Ultrasound J* 2014; 6: 8 -12.
19. Kim W, Suh H, Hong S, et al. Diaphragm dysfunction assessed by ultrasonography: influence on weaning from mechanical ventilation. *Crit Care Med* 2011;39: 2627-30.
20. Zambon M, Greco M, Bocchino, Cabrini L, Beccaria P y Zangrillo A. Assessment of diaphragmatic dysfunction in the critically ill patients with ultrasound: a systematic review. *Intensive Care Med* 2017;43:29-38

21. Umbrello M, Formenti P, Longhi D, Galimberti A, Priva I, Pezzi A, et al. Diaphragm ultrasound as indicator of respiratory effort in critically ill patients undergoing assisted mechanical ventilation: a pilot clinical study. *Crit Care Med* 2015;19:161-171.
22. Singer M, Deutschman CS, Seymour CW, et al. The third international consensus definitions for sepsis and septic shock (Sepsis-3). *JAMA* 2016;315:801-810.
23. Knaus WA, Draper EA, Wagner DP, et al. APACHE II: a severity of disease classification system. *Crit Care Med* 1985;13:818-29.
24. Vincent JL, Moreno R, Takala J, et al. The SOFA (sepsis-related organ failure assessment) score to describe organ dysfunction/failure. *Intensive Care Med* 1996;22:707-10.
25. Shelly MP, Nightingale P. ABC of intensive care, respiratory support, *BMJ* 1999;318:167-7.
26. Jubran A. Critical illness and mechanical ventilation: effects on the diaphragm. *Respir Care* 2006;51:1054-64.
27. Carrie C, Gisbert-Mora C, Bonnardel E. Ultrasonographic diaphragmatic excursion is inaccurate and not better than the MRC score for predicting weaning-failure in mechanically ventilated patients. *Anaesth Crit Care Pain Med* 2017;36:1-27.
28. Spadaro S, Grasso S. Can diaphragmatic ultrasonography performed during the T-tube trial predict weaning failure? The role of diaphragmatic rapid shallow breathing index. *Critical Care* 2016;305:1-11.
29. Llamas-Álvarez AM, Tenza-Lozano EM. Diaphragm and lung ultrasound to predict weaning outcome. *CHEST* 2017;152:1140-50.