



ORIGINAL

Utilidad de la ecografía diafragmática para predecir el éxito en la extubación



F. Varón-Vega^{a,b,c}, Á. Hernández^a, M. López^a, E. Cáceres^a, L.F. Giraldo-Cadavid^{d,e}, A.M. Uribe-Hernandez^{a,b,d,*} y S. Crevoisier^f

^a Unidad de Cuidado Intensivo Médico, Fundación Neumológica Colombiana, Bogotá, Colombia

^b Fundación Cardioinfantil-Instituto de Cardiología, Bogotá, Colombia

^c Departamento de Anestesiología y Cuidados Intensivos, Universidad de Navarra, Pamplona, España

^d Departamento de Investigación, Fundación Neumológica Colombiana, Bogotá, Colombia

^e Departamento de Epidemiología y de Medicina Interna, Universidad de La Sabana, Chía, Colombia

^f Medicina Crítica y Cuidado Intensivo, Universidad de La Sabana, Chía, Colombia

Recibido el 22 de julio de 2019; aceptado el 24 de octubre de 2019

Disponible en Internet el 20 de diciembre de 2019

PALABRAS CLAVE

Enfermedad crítica;
Extubación de la vía aérea;
Diafragma/ diagnóstico por imagen;
Unidades de cuidados intensivos;
Valor predictivo de las pruebas;
Respiración; Artificial;
Sensibilidad y especificidad;
Ultrasonografía; Destete del ventilador;
Retirada de la ventilación

Resumen

Objetivo: Evaluar la exactitud diagnóstica de la ecografía diafragmática para predecir el éxito en la extubación.

Diseño: Estudio de exactitud diagnóstica.

Ámbito: Unidad de Cuidado Intensivo Médico de un hospital académico de la ciudad de Bogotá (Colombia).

Pacientes o participantes: Muestra consecutiva de pacientes mayores de 18 años con ventilación mecánica invasiva durante más de 48 h.

Intervenciones: Evaluación ecográfica diafragmática al finalizar la prueba de ventilación espontánea.

Variables de interés principales: Se evaluó la excursión diafragmática (ED, cm), el tiempo de inspiración (TPIA_{dia}, s), la velocidad de contracción del diafragma (ED/TPIA_{dia}, cm/s), el tiempo total (T_{tot}, s) y la fracción de engrosamiento (TF_{di}, %).

Resultados: Se incluyeron 84 pacientes, el 79,8% (n=67) con extubación exitosa y el 20,2% (n=17) con extubación fallida. La variable con mejor capacidad discriminadora para predecir éxito en la extubación fue la velocidad de contracción, con un AUC-ROC de 0,70 (p=0,008).

Conclusiones: La velocidad de contracción diafragmática mostró una capacidad discriminadora aceptable. La ultrasonografía podría formar parte de un abordaje multifactorial en el proceso de extubación.

© 2019 Elsevier España, S.L.U. y SEMICYUC. Todos los derechos reservados.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: auribe@neumologica.org (A.M. Uribe-Hernandez).

KEYWORDS

Critical illness;
Airway extubation;
Diaphragm/diagnostic
imaging;
Intensive care units;
Predictive value of
tests;
Respiration;
Artificial;
Sensitivity and
specificity;
Ultrasonography;
Ventilator weaning;
Weaning from
ventilation

Usefulness of diaphragmatic ultrasound in predicting extubation success**Abstract**

Objective: To evaluate the diagnostic accuracy of diaphragmatic ultrasound in predicting extubation success.

Design: A diagnostic accuracy study was carried out.

Scope: Intensive Care Unit of an Academic hospital in the city of Bogotá (Colombia).

Patients or participants: A consecutive sample of patients > 18 years of age subjected to invasive mechanical ventilation for > 48 h.

Interventions: Diaphragmatic ultrasound evaluation at the end of spontaneous ventilation testing.

Main variables of interest: Diaphragmatic excursion (DE, cm), inspiration time (TPIA_{dia}, s), diaphragm contraction speed (DE/TPIA_{dia}, cm/s) and total time (T_{tot}, s) were evaluated, together with thickening fraction (TF_{di}, %).

Results: A total of 84 patients were included, 79.8% (n=67) with successful extubation and 20.2% (n=17) with failed extubation. The variable with the best discriminatory capacity in predicting extubation success was diaphragm contraction speed, with AUC-ROC 0.70 (p=0.008). **Conclusions:** Diaphragm contraction speed exhibited acceptable discriminatory capacity. Ultrasound could be part of a multifactorial approach in the extubation process.

© 2019 Elsevier España, S.L.U. y SEMICYUC. All rights reserved.

Introducción

El requerimiento de ventilación mecánica es una de las principales causas de ingreso en la unidad de cuidado intensivo (UCI)¹. A pesar de sus beneficios, las complicaciones son causa importante de morbilidad²⁻⁴. Definir el momento óptimo de su retirada sigue siendo uno de los grandes desafíos para el equipo tratante, dado que las extubaciones tardías se asocian directamente con aumento de infecciones intrahospitalarias, incluida la neumonía asociada a la ventilación mecánica, costos en la atención, disfunción diafragmática, deterioro en la calidad de vida a mediano plazo, aumento de los días de estancia en UCI y hospitalización general⁵⁻⁷. Por otro lado, extubaciones tempranas en pacientes que requieren reintubación se han asociado con un incremento de la mortalidad del 25-50%^{8,9}.

La heterogeneidad de los pacientes que ingresan en la UCI hace que las causas del fallo en la extubación también sean múltiples¹⁰; la disfunción diafragmática parece estar asociada hasta con un 50% de las causas de extubación fallida¹¹. Este hallazgo está en relación con los cambios estructurales y funcionales que se observan en la fibra muscular tras el inicio del soporte ventilatorio^{12,13}. Por lo anterior, uno de los pilares del manejo es la promoción de la rehabilitación temprana^{1,14}. Hasta la fecha, no existe ningún parámetro de referencia que logre predecir el éxito en la extubación. Las variables clínicas más utilizadas son el índice de respiración rápida y superficial (RSBI, por su abreviatura inglesa), la capacidad vital (CV) o la presión inspiratoria máxima (PI_{máx}), entre otras^{15,16}. Existe gran variabilidad de los puntos de corte, su precisión diagnóstica¹¹ y ninguna refleja la integridad de la función y estructura diafragmática.

En este contexto, la ecografía a la cabecera del paciente se ha posicionado en los últimos años como una de las herramientas de elección en la UCI por su accesibilidad

y bajo costo. Permite evaluar estructura y función de forma cualitativa y cuantitativa antes, durante y después de la extubación¹⁷. Hasta la fecha, también son múltiples los parámetros ecográficos estudiados; la excursión diafragmática (ED), la fracción de engrosamiento (TF_{di}), la velocidad de contracción (V)¹⁸⁻²⁰ e incluso variaciones del índice de respiración rápida y superficial (frecuencia respiratoria/ED)²¹. También son múltiples los puntos de corte encontrados para cada parámetro, y tienen alta variabilidad en el desempeño de la prueba. El objetivo de este estudio es evaluar la exactitud diagnóstica de la ecografía diafragmática a la cabecera del paciente, para predecir el éxito en la extubación.

Pacientes y métodos

Estudio de cohorte, prospectivo, observacional de exactitud diagnóstica.

Población

El estudio se realizó en la UCI de una institución académica en la ciudad de Bogotá, Colombia. Se incluyeron de forma consecutiva todos los pacientes mayores de 18 años con ventilación mecánica invasiva durante más de 48 h y que cumplieran los siguientes criterios de inclusión: 1) resolución de la causa que produjo la falla ventilatoria; 2) estabilidad hemodinámica; 3) equilibrio metabólico; 4) nivel de conciencia óptimo; 5) indicación de prueba de ventilación espontánea (tabla 1).

Los criterios de exclusión fueron: 1) enfermedad neuromuscular; 2) parálisis diafragmática previa; 3) uso de bloqueantes neuromusculares durante la estancia en la unidad; 4) neumotórax o neumomediastino; 5) embarazo.

Tabla 1 Criterios de inclusión

Parámetros gasométricos	PaO ₂ ≥ 55 mmHg con FiO ₂ < 40% PEEP < 8 cm H ₂ O PaO ₂ /FiO ₂ > 175 PaO ₂ /PAO ₂ > 0,3 pH ≥ 7,35 ≤ 7,48
Estabilidad hemodinámica	Norepinefrina < 0,1 µg/kg/min Dopamina < 5 µg/kg/min Dobutamina < 5 µg/kg/min Hemoglobina ≥ 7 g/dl
Nivel de conciencia	Glasgow coma score ≥ 12 CAM-ICU negativo
Prueba ventilación espontánea (PVE)	Modalidad: Tubo en T: pacientes - presión soporte Evaluación diaria del personal médico/ terapia respiratoria para definir el momento de la PVE 30 min de duración
Equilibrio metabólico	pH ≥ 7,35 ≤ 7,48 Temperatura ≤ 38 °C Sodio, potasio, fósforo sérico en rangos de normalidad

Se recolectaron las siguientes características basales: edad, sexo, causa de la falla respiratoria, duración de la ventilación mecánica, gases arteriales y laboratorios antes de la extubación.

Mediciones

La decisión del inicio de la prueba de ventilación espontánea (PVE) fue evaluada diariamente por el equipo médico tratante y el grupo de terapia respiratoria de la unidad. Al finalizar los 30 min de la PVE se evaluó la función diafrágica por ecografía y se calculó el índice de respiración rápida y superficial como parte de la evaluación tradicional para definir extubación.

Las mediciones diafrágicas fueron realizadas por médicos intensivistas con entrenamiento en ultrasonografía

crítica utilizando un ecógrafo Sonocare (modelo Sonosite EDGE 03VRYF). Se utilizó un transductor de 1-5 MHz para la evaluación en modo-M de la excursión diafrágica (ED, cm), el tiempo de inspiración (TPIA_{dia}, s), la velocidad de contracción del diafragma (ED/TPIA_{dia}, cm/s), y el tiempo total (T_{tot}, s); la fracción de engrosamiento (TF_{di}, %) se evaluó con transductor de 6-13 MHz en modo-M (fig. 1 y tabla 2). Se definió disfunción diafrágica como ED < 1 cm o movimiento paradójico¹⁸.

Las mediciones se realizaron únicamente en el hemidiafragma derecho con el paciente en posición semisentado (elevación de la cabecera a 45°). El transductor fue posicionado inmediatamente por debajo del reborde costal, entre la línea media claviclar y la línea axilar anterior. El haz de ultrasonido en dirección cefálica, de forma perpendicular al tercio posterior de diafragma. Tres operadores realizaron las ecografías en la UCI, distribuidos así: 45 ultrasonografías para el intensivista que permanece en el turno de la mañana, 20 y 20 para los intensivistas de la tarde. Previamente al inicio del estudio se realizó un entrenamiento de 12 h presenciales con un radiólogo experto; el objetivo fue estandarizar las medidas ecográficas.

Antes de la extubación, se realizó reconexión del total de los pacientes al modo ventilatorio en el que se encontraban previamente por una hora²².

Desenlaces

El objetivo principal fue definir la exactitud de la ecografía diafrágica como predictor de éxito en el proceso de retirada de la ventilación mecánica. Se definió como extubación exitosa, la capacidad de mantener respiraciones espontáneas > 48 h sin asistencia ventilatoria después de la extubación. Se definió como extubación fallida la necesidad de reintubación < 48 h⁹.

Como objetivo secundario, se evaluó la diferencia del éxito o fracaso del proceso de extubación en relación con las variables demográficas, clínicas, ecográficas y la disfunción diafrágica (definida como DE < 1 cm o movimiento paradójico)¹⁸.

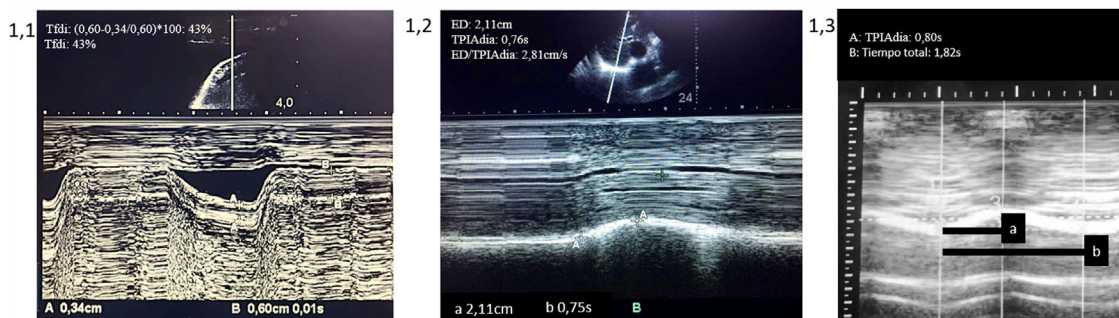


Figura 1 Medidas ecográficas utilizadas para evaluar el éxito en la retirada de la ventilación. Medias en modo M. 1,1: Fracción de engrosamiento (TF_{di}, %), grosor espiratorio (A), grosor inspiratorio (B). 1,2: Medición de la excursión diafrágica (a) (ED, cm), tiempo de inspiración (b) (TPIAdia, seg), velocidad de contracción diafrágica (ED/TPIAdia [cm/seg]). 1,3: Tiempo de inspiración (a) (TPIAdia, seg), tiempo total (b) (seg).

Tabla 2 Medidas diafragmáticas

Medida	Evaluación modo-M
Excursión diafragmática (ED, cm)	Amplitud de la excursión desde el inicio de la contracción hasta el punto máximo inspiratorio
Tiempo de inspiración (TPIA _{dia} , s)	Tiempo desde el inicio de la contracción diafragmática hasta el punto máximo inspiratorio
Velocidad de contracción diafragmática (cm/s)	Excursión diafragmática (ED)/tiempo de inspiración (TPIA _{dia})
Tiempo total (s)	Tiempo inspiratorio + tiempo espiratorio
Fracción de engrosamiento (TF _{di} , %)	Grosor diafragmático al finalizar la inspiración – grosor diafragmático al finalizar la espiración/grosor diafragmático al finalizar la espiración × 100

Consideraciones éticas

El protocolo fue aprobado por el Comité de Ética e Investigación de la institución (Acta de aprobación N.º 205 de 2014). Fue considerado un estudio de riesgo mínimo según la resolución 8430 de 1993 del Ministerio de Salud de Colombia. Se obtuvo consentimiento informado de todos los participantes.

Análisis estadístico

Se realizó un muestreo no probabilístico por conveniencia, calculando un tamaño muestral de 84 pacientes con base en una prevalencia estimada del 20% para fracaso en la extubación, sensibilidad del 0,90, especificidad del 0,86, ancho total del intervalo de confianza del 95% AUC-ROC de 0,15, alfa de 0,05 y potencia del 80%^{23,24}.

Se utilizaron medidas de tendencia central y dispersión para las variables cuantitativas, y porcentajes y frecuencias para las variables cualitativas.

Los pacientes se dividieron en 2 grupos en función del desenlace primario: éxito y fracaso en la extubación. Para el análisis bivariado comparativo de las variables categóricas, se utilizó la prueba de Chi-cuadrado. El análisis de las variables continuas con distribución normal se realizó con t de Student. Para las variables no paramétricas se utilizó la prueba U de Mann-Whitney. Las variables cuantitativas de distribución no paramétrica que incluyen tiempo de seguimiento se analizaron con regresión binomial negativa o Poisson dependiendo de si la desviación estándar era mayor o menor que el promedio de tales variables.

Se calcularon las características operativas de cada una de las mediciones ecográficas para predecir el éxito o fracaso del proceso de extubación y se construyeron curvas ROC para conocer la exactitud diagnóstica de cada una de las variables ecográficas. Se escogió el punto de máxima capacidad discriminativa por el índice de Youden.

El AUC-ROC se interpretó de acuerdo con la siguiente regla²⁵: =0,5, sin capacidad discriminativa; >0,7 a 0,79: capacidad discriminativa aceptable; >0,8 a 0,89: capacidad discriminativa excelente; >0,9: capacidad discriminativa sobresaliente.

Los datos fueron analizados mediante el software SPSS 20 y MedCalc versión 19.

Resultados

Se incluyeron un total de 84 pacientes y no se describieron pérdidas en el transcurso del estudio. Las características generales de la población se describen en la [tabla 3](#). La mediana de edad fue de 58 años (35-51), siendo principalmente mujeres (56%) con patología médica (88%) como causa del requerimiento de ventilación mecánica y severidad por APACHE II de 21 (17-28). El modo de elección para la realización de la PVE fue en su mayoría Tubo en T (85,7%) comparado con presión soporte (14,3%).

Se logró una extubación exitosa en el 79,8% de los pacientes (n=67) y la extubación fue fallida en el 20,2% de los casos restantes (n=17). La comparación de los resultados entre ambos grupos se describe en la [tabla 3](#). Ninguna de las características demográficas o clínicas tuvo diferencias significativas entre los grupos. Sin embargo, los pacientes con extubación fallida tuvieron un APACHE II levemente superior en comparación con los pacientes con extubación exitosa. El índice de respiración rápida y superficial también fue similar en los 2 grupos, con puntaje ligeramente mayor en el grupo de éxito comparado con el de fracaso, 48 (36-64) y 40 (32-62) respectivamente. El modo de elección de la PVE tampoco mostró diferencias significativas. El tiempo de ventilación mecánica y la estancia en la unidad fueron ligeramente superiores en el grupo de fracaso, sin diferencias estadísticamente significativas.

De las variables ecográficas evaluadas, las únicas con diferencias fueron la velocidad de contracción y la disfunción diafragmática (ED < 1 cm); esta última únicamente presente en el 1,2% del total de los casos. La curva ROC para velocidad de contracción del diafragma se muestra en la [figura 2](#); esta variable tiene un AUC de 0,70 (p=0,008; IC 95%: 0,58-0,79). Se calcularon 3 puntos de corte que se describen en la [tabla 4](#). El punto de máxima capacidad discriminativa por índice de Youden fue de > 2,9 cm/s, con una sensibilidad del 4,27% (IC 95%: 0,34-0,59) y una especificidad del 88,24% (IC 95%: 0,50-0,93). Con velocidades mayores de 1,74 cm/s se obtuvo una mayor sensibilidad, del 85% (IC 95%: 0,74-0,93), y menor especificidad, del 41% (IC 95%: 0,19-0,67). Por otro lado, umbrales superiores a 4,3 cm/s mostraron sensibilidad del 19,4% (IC 95%: 0,11-0,30) y especificidad del 88,24% (IC 95%: 0,64-0,99).

Tabla 3 Características generales. Población total, grupos de éxito y fracaso

	Total	Éxito n = 67 (79,8%)	Fracaso n = 17 (20,2%)	p
Edad (años), mediana (RIQ)	58 (35-51)	58 (34-72)	59 (49-64)	0,79
Género, n (%)				0,4
Femenino	47 (56)	39 (83)	8 (17)	
Masculino	37 (44)	28 (75,7)	9 (24,3)	
Tipo de paciente, n (%)				0,39
Médico	74 (88)	58 (78,4)	16 (21,6)	
Quirúrgico	10 (12)	9 (90)	1 (10)	
Causa falla respiratoria, n (%)				
Sepsis pulmonar	21 (25)	17 (80,9)	4 (19,1)	0,87
Sepsis extrapulmonar	26 (31)	20 (76,9)	6 (23,1)	0,56
Neurológica	19 (22,6)	15(78,9)	4 (21,1)	0,92
Posquirúrgica	6 (7,1)	6 (100)	0 (0)	0,20
Otras	12 (14,3)	9 (75)	3 (25)	0,65
APACHE II, mediana (RIQ)	21 (17-28)	19 (17-28)	21 (18-25)	0,52
Índice de respiración rápida y superficial, mediana (RIQ)	47 (36-63)	48 (36-64)	40 (32-62)	0,38
Prueba de retirada, n (%)				0,73
Tubo en T	72 (85,7)	57 (79,2)	15 (20,8)	
Presión soporte	12 (14,3)	10 (83,3)	2 (16,7)	
Mediciones diafragmáticas				
ED (cm), mediana (RIQ)	2,18 (1,6-2,75)	2,22 (1,66-2,75)	2,02 (1,63-2,31)	0,44
Excursión < 10 mm, n (%)	1 (1,2)	0 (0)	1 (100)	0,046
ED/TPIA _{dia} (cm/s), mediana (RIQ)	2,74 (1,90-3,33)	2,90 (2,00-4,01)	2,02 (1,49-2,80)	0,013
TPIA _{dia} (s), mediana (RIQ)	0,79 (0,64-1,02)	0,80 (0,67-0,95)	0,77 (0,62-1,08)	0,76
T _{tot} (s), media (DE)	2,96 (0,65)	2,97 (0,65)	2,93 (0,65)	0,84
TF _{di} (%), mediana (RIQ)	31 (24-45)	32 (27-47)	30 (21-35)	0,10
TF _{di} > 30%, n (%)	47 (56)	39 (83)	8 (17)	0,40
Desenlaces, mediana (RIQ)				
Tiempo VM, días	5 (3-10)	5 (3-9)	7 (4-11)	0,98
Tiempo de retirada ventilatoria, días	2 (1-3)	2 (1-3)	3 (1-3)	0,65
Tiempo en UCI (días), mediana (RIQ)	10 (7-17)	10 (6-17)	11 (8-16)	0,69

APACHE II: *Acute Physiology and Chronic Health Evaluation II*; DE: desviación estándar; ED: excursión diafragmática; RIQ: rango intercuartílico; TF_{di}: fracción engrosamiento; TPIA_{dia}: tiempo para alcanzar la amplitud inspiratoria máxima; T_{tot}: tiempo total; UCI: unidad de cuidados intensivos; V: velocidad de contracción; VM: ventilación mecánica.

Discusión

El principal hallazgo de nuestra investigación es una capacidad discriminatoria aceptable (AUC de 0,70; $p=0,008$ [IC 95%: 0,58-0,79]) para predecir éxito o fracaso en el proceso de extubación si se evalúa la velocidad de contracción diafragmática como marcador aislado, en pacientes críticamente enfermos hospitalizados en una UCI.

Son múltiples las variables ecográficas que han sido evaluadas en el proceso de retirada de la ventilación mecánica²⁶. Las más estudiadas son la ED y la TF_{di}. Hay 2 metaanálisis hasta la fecha que recopilan la evidencia disponible. El primero de ellos incluyó 19 estudios observacionales con un total de 1.068 pacientes. Se encontraron valores de ED entre 10-27 mm y TF_{di} entre 20-36%. El análisis de la curva ROC para la TF_{di} mostró un valor de AUC de 0,87 y, para la ED, la falta de datos y la heterogeneidad de los mismos permitió únicamente estimar una especificidad acumulada del 75% y una sensibilidad del 80%²⁷. El segundo metaanálisis, publicado en 2018, evaluó 13 estudios observacionales con un total de 742 pacientes. Los hallazgos fueron similares

al estudio previo, encontrando buen desempeño tanto para la ED como para TF_{di}, con valores de AUC de 0,859 y 0,838, respectivamente²⁸. No obstante, ambos metaanálisis se caracterizaron por heterogeneidad tanto en la definición de fallo en la extubación como en la selección de pacientes, el motivo de intubación y los puntos de corte seleccionados. En nuestra investigación, ni la ED ni la TF_{di} mostraron diferencias entre los grupos de éxito y fracaso. La única variable con diferencia estadísticamente significativa fue la velocidad de contracción diafragmática. Esta variable se presume como medida indirecta de la fuerza de contracción diafragmática; en individuos sanos se estima un valor normal de $1,3 \pm 0,4$ cm/s; su papel aún no se ha estudiado ampliamente, pero valores más altos parecen estar relacionados con mayor probabilidad de éxito en la extubación²⁹. Nuestro estudio encontró valores de $> 2,9$ cm/s (2,00-4,01) en el grupo de éxito en comparación con $> 2,02$ cm/s del grupo fracaso (1,49-2,80) ($p=0,013$). Se analizaron varios puntos de corte con el fin de evaluar la mejor capacidad discriminatoria de la prueba. La velocidad $> 1,74$ cm/s mostró una alta sensibilidad; sin embargo, la baja especificidad podría indicar un

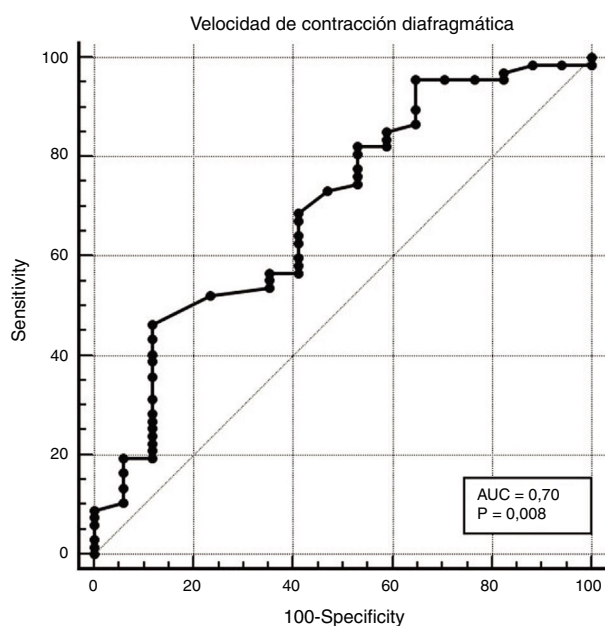


Figura 2 Curva ROC para velocidad de contracción y éxito de la extubación. AUC de 0,70 ($p = 0,008$ [IC 95%: 0,58-0,79]).

mayor número de pacientes en riesgo de reintubación. Por otro lado, umbrales superiores a 4,3 cm/s (sensibilidad del 19,4% y especificidad del 88,24%) limitarían el inicio del proceso de extubación en la práctica clínica. La máxima capacidad discriminatoria se estableció en $> 2,9$ cm/s, con un desempeño global solo aceptable (AUC de 0,70; $p = 0,008$). Hasta la fecha existen 3 estudios que definen la velocidad como marcador diferencial en el proceso de extubación. El primero describe umbrales mucho menores que los encontrados en nuestra investigación ($> 0,8$ cm/s), con sensibilidad del 100%, especificidad del 86,67% y capacidad discriminatoria sobresaliente (AUC de 0,93)²⁹. El segundo, con umbrales levemente superiores (0,92 cm/s), logra sensibilidad del 100% con especificidad baja (45%) para discriminar el éxito en la extubación (AUC de 0,66)³⁰. El tercero evalúa la TPIA_{día} como variable derivada ($ED/TPIA_{día}$) con capacidad discriminatoria similar a la nuestra (AUC de 0,71)¹¹.

El momento óptimo de la retirada de la ventilación mecánica sigue siendo uno de los retos del equipo multidisciplinario de la UCI. La necesidad de reintubación es una de las complicaciones más temidas, debido al incremento en la mortalidad⁸. La incidencia de extubación fallida reportada en la literatura oscila entre el 10 y el 25%³¹, muy similar a la encontrada en nuestro estudio (20,2%).

Dentro de las causas de fracaso de la retirada de la ventilación, el miotrauma y la consecuente disfunción

diafragmática inducida por la ventilación (*ventilator induced diaphragm dysfunction* [VIDD]) se posiciona como uno de los principales factores asociados al fallo en la retirada de la ventilación mecánica³². En ocasiones puede pasar desapercibida, por lo que la búsqueda activa por parte del clínico se ha convertido en una obligación³³. El parámetro para evaluar la función diafragmática es hasta el momento la fluoroscopia directa, estudio de uso limitado en el escenario de cuidados intensivos por las implicaciones del traslado de pacientes críticamente enfermos¹¹. Es por esto que la ultrasonografía diafragmática como herramienta a la cabecera del paciente ha demostrado ser de gran utilidad. En nuestro estudio, se documentó disfunción diafragmática únicamente en el 1,2% de los casos a diferencia de las series reportadas en la literatura, donde la prevalencia se encuentra en el 23-36%¹². La definición ecográfica también tiene limitaciones, y es que no ha sido comparada de forma prospectiva con el estándar de referencia y los puntos de corte en la literatura no son universales. A pesar de eso, consideramos que esta baja incidencia de disfunción diafragmática encontrada en nuestra investigación se debe a la existencia de un protocolo estricto de rehabilitación temprana, que se inicia al ingreso del paciente en la unidad.

La ventilación mecánica prolongada es una de las consecuencias de la disfunción diafragmática³⁴. Nuestros resultados mostraron días de ventilación mecánica relativamente cortos, con una mediana de 5 días, sin diferencias entre los grupos de éxito y fracaso. Igualmente el tiempo de la retirada ventilatoria correspondió al 40% de la ventilación, similar a lo descrito en la literatura³⁵. El tiempo total de estancia en la unidad fue ligeramente superior en el grupo de fracaso, sin diferencias significativas, probablemente por un poder estadístico limitado relacionado con el tamaño de la muestra recolectada.

Teniendo en cuenta que ninguna variable tanto clínica como imagenológica ha logrado predecir de forma aislada el desenlace del proceso de extubación, la heterogeneidad de los pacientes en estado crítico obliga a realizar un abordaje multimodal en la retirada de ventilación³⁶. Los múltiples sistemas involucrados requieren ser evaluados de forma cualitativa y cuantitativa como parte del proceso de extubación. La ecografía podría ser una herramienta que acompañe a la evaluación tradicional, y es que los resultados de nuestro estudio con respecto al índice de respiración rápida y superficial (< 105 en ambos grupos) ratifican su poca utilidad clínica de forma aislada. Actualmente hay 2 escenarios principales para la ultrasonografía a la cabecera del paciente críticamente enfermo: el primero, como estrategia de evaluación y seguimiento con el fin de evitar miotrauma^{32,37}, y el segundo, como parte de una evaluación multifuncional cardiovascular, pulmonar y pleural³⁸. Consideramos que la creación de nuevos índices integrativos que contemplen

Tabla 4 Características operativas

Velocidad de contracción (cm/s)	Sensibilidad	Especificidad	VPP	VPN	LR+	LR–
$> 1,74$	85	42	85	41	1,45	0,36
$> 2,90$	46,27	88,24	94	29	3,93	0,61
$> 4,3$	19,4	88,24	87	22	1,62	0,91

LR+: *likelihood* ratio positiva; LR–: *likelihood* ratio negativa; VPN: valor predictivo negativo; VPP: valor predictivo positivo.

una evaluación ecográfica sistemática es una prioridad para mejorar los desenlaces del proceso de extubación.

La principal fortaleza del estudio es el hallazgo de la velocidad de contracción como variable independiente para la estimación del éxito en el proceso de extubación. A pesar de tener un desempeño solo aceptable en las curvas ROC, supone una nueva opción de investigación a futuro.

El estudio cuenta con las siguientes limitaciones. La ecografía es un método diagnóstico dependiente del operador. La reproducibilidad inter- e intraobservador en el escenario de retirada de la ventilación ha sido evaluada únicamente en la medición de la fracción de engrosamiento diafragmático³⁹. Nuestras mediciones fueron realizadas por diferentes operadores sin realizar estudios de concordancia entre los mismos, y por tanto los resultados de las otras variables ecográficas requieren validación. En segundo lugar, la falta de diferenciación entre los tipos de retirada de ventilación (fácil, difícil y prolongado⁹) podría modificar el desempeño de la ultrasonografía como herramienta pronóstica. En tercer lugar, la severidad de la enfermedad de los pacientes incluidos en el estudio evaluada por la escala APACHE II se consideró alta, por lo que los resultados podrían no ser extrapolables a otras UCI de menor complejidad.

Autoría

Fabio Varón-Vega, Ángela Hernández, Luis Fernando Giraldo: diseño y estructura del estudio.

Mauricio López y Edgar Cáceres: recolección de datos.

Fabio Varón-Vega, Ana María Uribe, Luis Fernando Giraldo y Stephanie Crevoisier: análisis de los datos y redacción del manuscrito.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Agradecimientos

Los autores quieren dejar constancia de su agradecimiento tanto al personal médico como de enfermería y terapia respiratoria de la UCI Médica de la Fundación Neumológica Colombiana.

Bibliografía

- Girard TD, Alhazzani W, Kress JP, Ouellette DR, Schmidt GA, Truitt JD, et al. An Official American Thoracic Society/American College of Chest Physicians Clinical Practice Guideline: Liberation from mechanical ventilation in critically ill adults rehabilitation protocols, ventilator liberation protocols, and cuff leak tests. *Am J Respir Crit Care Med*. 2017;195:120–33, <http://dx.doi.org/10.1164/rccm.201610-2075ST>.
- Katira BH. Ventilator-induced lung injury: classic and novel concepts. *Respir Care*. 2019;64:629–37, <http://dx.doi.org/10.4187/respcare.07055>.
- Baid H. Patient safety: identifying and managing complications of mechanical ventilation. *Crit Care Nurs Clin North Am*. 2016;28:451–62, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cnc.2016.07.005>.
- Melsen WG, Rovers MM, Groenwold RH, Bergmans DC, Camus C, Bauer TT, et al. Attributable mortality of ventilator-associated pneumonia: A meta-analysis of individual patient data from randomised prevention studies. *Lancet Infect Dis*. 2013;13:665–71, [http://dx.doi.org/10.1016/S1473-3099\(13\)70081-1](http://dx.doi.org/10.1016/S1473-3099(13)70081-1).
- Jaber S, Quintard H, Cinotti R, Asehnoun K, Arnal JM, Guitton C, et al. Risk factors and outcomes for airway failure versus non-airway failure in the intensive care unit: A multicenter observational study of 1514 extubation procedures. *Crit Care*. 2018;22:236, <http://dx.doi.org/10.1186/s13054-018-2150-6>.
- Kim WY, Lim CM. Ventilator-induced diaphragmatic dysfunction: diagnosis and role of pharmacological agents. *Respir Care*. 2017;62:1485–91, <http://dx.doi.org/10.4187/respcare.05622>.
- Busico M, Intile D, Sivori M, Irastrorza N, Alvarez AL, Quintana J, et al. Factores de riesgo relacionados al empeoramiento de la calidad de vida (QOL) en pacientes que recibieron ventilación mecánica. Estudio prospectivo multicéntrico. *Med Intensiva*. 2016;40:422–30, <http://dx.doi.org/10.1016/j.medin.2016.01.002>.
- Thille AW, Cortés-Puch I, Esteban A. Weaning from the ventilator and extubation in ICU. *Curr Opin Crit Care*. 2013;19:57–64, <http://dx.doi.org/10.1097/MCC.0b013e32835c5095>.
- Boles JM, Bion J, Connors A, Herridge M, Marsh B, Melot C, et al. Weaning from mechanical ventilation. *Eur Respir J*. 2007;29:1033–56, <http://dx.doi.org/10.1183/09031936.00010206>.
- Heunks L, van der Hoeven JG. Clinical review: The ABC of weaning failure - a structured approach. *Crit Care*. 2010;14:245, <http://dx.doi.org/10.1186/cc9296>.
- Theerawit P, Eksombatchai D, Sutherasan Y, Suwatanapongched T, Kiatboonsri C, Kiatboonsri S. Diaphragmatic parameters by ultrasonography for predicting weaning outcomes. *BMC Pulm Med*. 2018;18:175, <http://dx.doi.org/10.1186/s12890-018-0739-9>.
- Dres M, Demoule A. Diaphragm dysfunction during weaning from mechanical ventilation: An underestimated phenomenon with clinical implications. *Crit Care*. 2018;22:73, <http://dx.doi.org/10.1186/s13054-018-1992-2>.
- Supinski GS, Callahan LA. How Important is diaphragm function as a determinant of outcomes for MICU patients in respiratory failure? *Physiology*. 2015;30:336–7, <http://dx.doi.org/10.1152/physiol.00025.2015>.
- Pun BT, Balas MC, Barnes-Daly MA, Thompson JL, Aldrich JM, Barr J, et al. Caring for critically ill patients with the ABCDEF bundle: Results of the ICU liberation collaborative in over 15,000 adults. *Crit Care Med*. 2019;47:3–14, <http://dx.doi.org/10.1097/CCM.0000000000003482>.
- Nemer SN, Barbas CS, Caldeira JB, Cárías TC, Santos RG, Almeida LC, et al. A new integrative weaning index of discontinuation from mechanical ventilation. *Crit Care*. 2009;13:R152, <http://dx.doi.org/10.1186/cc8051>.
- González-Castro A, Suárez-Lopez V, Gómez-Marcos V, González-Fernández C, Iglesias-Posadilla D, Burón-Mediavilla J, et al. Valor de la fracción de espacio muerto (Vd/Vt) como predictor de éxito en la extubación. *Med Intensiva*. 2011;35:529–38, <http://dx.doi.org/10.1016/j.medin.2011.05.016>.
- Palkar A, Mayo P, Singh K, Koenig S, Narasimhan M, Singh A, et al. Serial diaphragm ultrasonography to predict successful discontinuation of mechanical ventilation. *Lung*. 2018;196:363–8, <http://dx.doi.org/10.1007/s00408-018-0106-x>.
- 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;39:2627–30, <http://dx.doi.org/10.1097/CCM.0b013e3283182266408>.
- Rittayamai N, Hemvimon S, Chierakul N. The evolution of diaphragm activity and function determined by ultrasound

- during spontaneous breathing trials. *J Crit Care*. 2019;51:133–8, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcrc.2019.02.016>.
20. 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;39:801–10, <http://dx.doi.org/10.1007/s00134-013-2823-1>.
 21. Abbas A, Embarak S, Walaa M, Lutfy SM. Role of diaphragmatic rapid shallow breathing index in predicting weaning outcome in patients with acute exacerbation of COPD. *Int J COPD*. 2018;13:1655–61, <http://dx.doi.org/10.2147/COPD.S161691>.
 22. Fernandez MM, González-Castro A, Magret M, Bouza MT, Ibañez M, García C, et al. Reconnection to mechanical ventilation for 1 h after a successful spontaneous breathing trial reduces reintubation in critically ill patients: a multicenter randomized controlled trial. *Intensive Care Med*. 2017;43:1660–7, <http://dx.doi.org/10.1007/s00134-017-4911-0>.
 23. DiNino E, Gartman EJ, Sethi JM, McCool FD. Diaphragm ultrasound as a predictor of successful extubation from mechanical ventilation. *Thorax*. 2014;69:423–7, <http://dx.doi.org/10.1136/thoraxjnl-2013-204111>.
 24. Machin D, Campbell M, Tan S, Tan S. *Sample size tables for clinical studies*. 3rd ed Wiley-Blackwell; 2009.
 25. Hosmer DW, Lemeshow S. *Assessing the fit of the model*. En: Hosmer DW, Lemeshow S, editores. *Applied Logistic Regression*. 2nd ed New York, NY: John Wiley & Sons, Inc; 2000. p. 162.
 26. Vetrugno L, Guadagnin GM, Barbariol F, Langiano N, Zangrillo A, Bove T. Ultrasound imaging for diaphragm dysfunction: a narrative literature review. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2019;33:2525–36, <http://dx.doi.org/10.1053/j.jvca.2019.01.003>.
 27. Llamas-Álvarez AM, Tenza-Lozano EM, Latour-Pérez J. Diaphragm and lung ultrasound to predict weaning outcome: systematic review and meta-analysis. *Chest*. 2017;152:1140–50, <http://dx.doi.org/10.1016/j.chest.2017.08.028>.
 28. Li C, Li X, Han H, Cui H, Wang G, Wang Z. Diaphragmatic ultrasonography for predicting ventilator weaning: A meta-analysis. *Medicine (Baltimore)*. 2018;97:e10968, <http://dx.doi.org/10.1097/MD.00000000000010968>.
 29. Banerjee A, Mehrotra G. Comparison of lung ultrasound-based weaning indices with rapid shallow breathing index: are they helpful? *Indian J Crit Care Med*. 2018;22:435–40, <http://dx.doi.org/10.4103/ijccm.IJCCM.331.17>.
 30. Palkar A, Narasimhan M, Greenberg H, Singh K, Koenig S, Mayo P, et al. Diaphragm excursion-time index: a new parameter using ultrasonography to predict extubation outcome. *Chest*. 2018;153:1213–20, <http://dx.doi.org/10.1016/j.chest.2018.01.007>.
 31. Subirà C, Hernández G, Vázquez A, Rodríguez-García R, Gonzalez-Castro A, García C, et al. Effect of pressure support vs T-piece ventilation strategies during spontaneous breathing trials on successful extubation among patients receiving mechanical ventilation. *JAMA*. 2019;321:2175–82, <http://dx.doi.org/10.1001/jama.2019.7234>.
 32. Schepens T, Dres M, Heunks L, Goligher EC. Diaphragm-protective mechanical ventilation. *Curr Opin Crit Care*. 2019;25:77–85, <http://dx.doi.org/10.1097/MCC.00000000000000578>.
 33. Dres M, Dubé BP, Mayaux J, Delemazure J, Reuter D, Brochard L, et al. Coexistence and impact of limb muscle and diaphragm weakness at time of liberation from mechanical ventilation in medical intensive care unit patients. *Am J Respir Crit Care Med*. 2017;195:57–66, <http://dx.doi.org/10.1164/rccm.201602-0367OC>.
 34. Carson SS. Outcomes of prolonged mechanical ventilation. *Curr Opin Crit Care*. 2006;12:405–11, <http://dx.doi.org/10.1097/01.ccx.0000244118.08753.dc>.
 35. Lu Z, Xu Q, Yuan Y, Zhang G, Guo F, Ge H. Diaphragmatic dysfunction is characterized by increased duration of mechanical ventilation in subjects with prolonged weaning. *Respir Care*. 2016;61:1316–22, <http://dx.doi.org/10.4187/respcare.04746>.
 36. Heunks LM, Doorduyn J, van der Hoeven JG. Monitoring and preventing diaphragm injury. *Curr Opin Crit Care*. 2015;21:34–41, <http://dx.doi.org/10.1097/MCC.0000000000000168>.
 37. Jung B, Gleeton D, Daurat A, Conseil M, Mahul M, Rao G, et al. Conséquences de la ventilation mécanique sur le diaphragme. *Rev Mal Respir*. 2015;32:370–80, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rmr.2014.08.013>.
 38. Mayo P, Volpicelli G, Lerolle N, Schreiber A, Doelken P, Vieillard-Baron A. Ultrasonography evaluation during the weaning process: the heart, the diaphragm, the pleura and the lung. *Intensive Care Med*. 2016;42:1107–17, <http://dx.doi.org/10.1007/s00134-016-4245-3>.
 39. Goligher EC, Laghi F, Detsky ME, Farias P, Murray A, Brace D, et al. Measuring diaphragm thickness with ultrasound in mechanically ventilated patients: feasibility, reproducibility and validity. *Intensive Care Med*. 2015;41:642–9, <http://dx.doi.org/10.1007/s00134-015-3687-3>.