

Correlación de ultrasonografía diafragmática y tren de cuatro para extubación segura

Ultrasonographic diaphragmatic correlation and train of four for secure extubating process

George Badro H. MD.¹, Yurimar Bautista MD.¹, Maiqui Flores M. MD.², Pedro Sánchez G. MD.³, Benito Rodríguez MD.⁴, Giselle Vargas V. MGS.^{5,*} 

¹ Médico Anestesiólogo Hospital Central de Maracay. Venezuela.

² Docente Investigador, Departamento Salud Pública Universidad de Carabobo Sede Aragua, Venezuela.

³ Médico Anestesiólogo Hospital Central de Maracay, Profesor de Fisiología Postgrado Anestesiología y Reanimación. Venezuela.

⁴ Médico Internista-Neumólogo, Jefe de Servicio de Medicina Interna del Hospital Domingo Guzmán Lander, Lecherías, Venezuela.

⁵ Médico Anestesiólogo Profesor Farmacología Postgrado de Anestesiología y Reanimación, Hospital Central de Maracay. Venezuela.

No hubo financiamiento.

No existe conflicto de intereses.

Fecha de recepción: 11 de diciembre de 2024 / Fecha de aceptación: 05 de enero de 2025

ABSTRACT

Tracheal extubation represents a critical situation, the precise moment to perform it determines a challenge for the personal physician, so it must be supported by various tools to ensure its success. **Objectives:** To determine the measurement between diaphragmatic ultrasound (DU) and the train of four ratio (TOFr) for safe extubation in patients of the anesthesiology and resuscitation service of the Central Hospital of Maracay, Aragua state - Venezuela between April - October 2024. **Materials and Methods:** A clinical, observational, non-experimental and analytical cross-sectional research was carried out. Study sample 80 patients. **Results:** 43.51 ± 16.3 years were reported with most males (53.75%), mean preoperative diaphragmatic excursion (DE) was 2.19 cm with a standard separation (SD) of 0.45 cm, reducing to 1.90 cm. (SD 0.45 cm) in the postoperative period ($p = 0.000$). Preoperative diaphragmatic thickening fraction (DFF) was 40.47% (SD 15.93%) and was reduced to 32.58% (SD 14.60%) postoperatively ($p = 0.009$). TOFr was modified from 100 to 87% (SD 10%) postoperatively ($p = 0.000$). Furthermore, patients with TOFr ≥ 0.9 had higher DU and DFF values compared to those with TOFr < 0.9 , ($p = 0.000$). **Conclusions:** This study determines that DU and TOFr are effective tools to ensure safe extubation independently. However, the sum of both tools significantly improves the results by reducing possible postoperative complications in patients undergoing mechanical ventilation.

Keywords: Ultrasound, diaphragm, train of four, extubating process

RESUMEN

La extubación traqueal representa una situación crítica, el momento preciso para realizarla determina un reto para el personal médico, por lo que debe apoyarse en diversas herramientas para asegurar su éxito. **Objetivos:** Determinar la correlación entre la ultrasonografía diafragmática (UD) y la relación del tren de cuatro (TOFr) para extubación segura en pacientes del servicio de anestesiología y reanimación del hospital central de Maracay, estado Aragua - Venezuela entre abril - octubre de 2024. **Materiales y Métodos:** Se realizó una investigación clínica, observacional, no experimental y analítica de corte transversal. Muestra de estudio 80 pacientes **Resultados:** Se reportó $43,51 \pm 16,3$ años con mayoría del sexo

masculino (53,75%), media de excusión diafragmática (ED) preoperatoria fue de 2,19 cm con una desviación estándar (DE) de 0,45 cm, reduciéndose a 1,90 cm (DE 0,45 cm) en el postoperatorio ($p = 0,000$). La fracción de engrosamiento diafragmático (FED) preoperatoria fue 40,47% (DE 15,93%) y se redujo a 32,58% (DE 14,60%) en el posoperatorio ($p = 0,009$). La TOFr se modificó de 100 a 87% (DE 10%) en el posoperatorio ($p = 0,000$). **Conclusiones:** Este estudio determinó que la UD y el TOFr son herramientas efectivas para garantizar una extubación segura de forma independiente. Sin embargo, la suma de ambas herramientas mejora significativamente los resultados reduciendo las posibles complicaciones postoperatorias en pacientes sometidos a ventilación mecánica.

Palabras clave: Ultrasonido, diafragma, tren de cuatro, extubación.

Introducción

La capacidad subjetiva del médico para predecir una extubación segura tiene poca precisión, ya que debe realizarse de manera controlada con los mismos estándares de seguimiento, equipamiento y asistencia que se encuentran disponibles en la intubación traqueal[1],[2],[3]. Por tanto, determinar el momento idóneo y seguro para la extubación traqueal se convierte en verdadero reto para el anestesiólogo. Se ha descrito que entre el 20%-40% de los pacientes tendrán dificultades al intentar la descontinuación del soporte respiratorio; la extubación prematura puede provocar falla y consiguiente necesidad de reintubación hasta en 20% a 25% de los pacientes, lo cual se asocia a un aumento en la morbilidad, mortalidad, costos y estadía hospitalaria prolongada[4].

El uso de bloqueantes neuromusculares (BNM), tanto despolarizantes como no despolarizantes, es esencial en anestesia general debido a que facilitan la intubación, permiten el acoplamiento con la ventilación mecánica, optimizan las condiciones quirúrgicas y aseguran la inmovilidad en momentos críticos de la cirugía. Sin embargo, estos agentes, al provocar una significativa depresión de los centros respiratorios, los músculos respiratorios y el intercambio gaseoso que hace imprescindible el soporte ventilatorio. La recuperación inadecuada de los efectos de los BNM se asocia con complicaciones como obstrucción de las vías respiratorias superiores, reintubación, atelectasias, neumonía, estancia prolongada en la unidad de cuidados postanestésicos (UCPA) y menor satisfacción del paciente. Para prevenir estas complicaciones, se recomienda la monitorización neuromuscular intraoperatoria mediante la relación del tren de cuatro (TOFr) en el aductor del pulgar, donde un TOFr $\geq 0,9$ asegura una reversión adecuada para la extubación segura. No obstante, el bloqueo neuromuscular residual (TOFr $< 0,9$) presenta una incidencia de hasta el 64% en la UCPA, asociado a síntomas como debilidad, hipoventilación y mayor riesgo de aspiración, lo que resalta la importancia del control neuromuscular intraoperatorio para reducir estos riesgos y mejorar los resultados clínicos[5],[6],[7],[8],[9].

Por lo antes expuesto surge la ultrasonografía (US) como herramienta que facilita y agiliza la toma de decisiones en cualquier entorno de atención médica. Es fiable, segura, no invasivo, reproducible y de bajo costo[10], además permite la visualización de estructuras debajo y encima del diafragma. Tiene la ventaja de evaluar los componentes estructurales y funcionales del diafragma en la cabecera del paciente. Se ha demostrado que la ecografía es similar en exactitud a la mayoría de las otras modalidades de imágenes para la evaluación del diafragma[11].

La US permite evaluar parámetros del diafragma como la amplitud, fuerza, velocidad de contracción, patrones especiales de movimiento y cambios en el grosor durante la inspiración. Estos indicadores proporcionan información valiosa para evaluar y monitorear a pacientes con debilidad diafragmática o parálisis, además de ser útiles en decisiones como la extubación. Aunque la valoración eléctrica diafragmática mediante estimulación magnética cervical del nervio frénico es el estándar de oro para evaluar la actividad contráctil y la función del diafragma, su uso está limitado por ser una técnica invasiva y de difícil acceso en la mayoría de las unidades[12],[4].

Durante la UD se evalúan distintos parámetros, siendo uno de ellos la excusión diafragmática cuyo valor promedio corresponde a $1,8 \pm 0,3$ cm para hombres y el valor para mujeres de $1,6 \pm 0,3$ cm en una respiración normal. Se ha reportado que un desplazamiento $< 1,5$ cm predice fracaso en la extubación[4].

La fracción de engrosamiento diafragmático como otro parámetro de la UD se ha propuesto como un índice de eficiencia diafragmática, de igual forma está relacionado como predictor de éxito de extubación con valores que oscilan entre el 20% y el 36% durante los ensayos de respiración espontánea[4].

Se describen que valores mayores $\geq 20\%$ presentan mejores tasas de éxito dado por una sensibilidad de 88%, especificidad de 71%, un VPP de 91% y VPN $< 30\%$ para el fracaso de la extubación en 63%. En general se toma un valor como referencia mayor de 20% para predecir éxito; valores menores a 20% pueden ser considerados como predictor de fracaso para la extubación y/o significar disfunción diafragmática[4].

Para obtener su valor, se debe realizar las mediciones del grosor diafragmático obteniendo la primera medida al final de la inspiración (TEI) y posteriormente la segunda medida al final de la espiración (TEE); esto se divide por TEE y se multiplica por cien[4].

Diversos estudios reportan la efectividad del uso de la UD para garantizar la extubación traqueal entre los que se desataca Lang J. y cols., a través de un estudio observacional prospectivo en China, evaluaron la precisión diagnóstica de la UD en el reconocimiento del bloqueo neuromuscular residual, utilizando la relación del tren de cuatro, precisaron que los parámetros de la UD perioperatorios pueden ser un método adicional que contribuya al reconocimiento de la curarización residual posoperatoria[7].

Li S. y cols., mediante un estudio prospectivo en China, determinaron que la FED tiene mayor sensibilidad y especificidad para la predicción de un destete exitoso en pacientes de edad avanzada[15].

Finalmente, Itagaki y cols., concluyeron que la ecografía del diafragma es un método de diagnóstico no invasivo, rentable y reproducible que se utiliza para controlar el estado y la función del diafragma. Con los avances en la tecnología de ultrasonidos y la expansión de sus aplicaciones clínicas, la ecografía del diafragma ha adquirido cada vez mayor importancia como herramienta para visualizar y cuantificar la morfología y la función diafragmáticas en múltiples especialidades médicas[16].

Por lo antes expuesto, el objetivo general de esta investigación fue: determinar la correlación de ultrasonografía diafragmática y tren de cuatro para extubación segura en pacientes del servicio de anestesiología y reanimación del Hospital Central de Maracay, estado Aragua, Venezuela, en el período abril-octubre de 2024.

Materiales y Métodos

El estudio fue enmarcado en una investigación clínica, estudio observacional, no experimental, analítica, de corte transversal, se realizó en el servicio de anestesiología y reanimación en el Servicio Autónomo Docente Hospital Central de Maracay (SADHCM), ubicado en el estado Aragua, Venezuela, durante el período establecido entre abril y octubre de 2024.

La población de estudio quedó conformada por pacientes sometidos a cirugía de emergencia o electiva con requerimiento de ventilación mecánica y uso de BNMND tipo rocuronio en el transoperatorio del SADHCM que cumplieron con los criterios de inclusión: edad ≥ 18 años y clasificación de la *American Society of Anesthesiologists Physical Status (ASA PS)* I o II.

Se excluyeron: pacientes con enfermedad neuromuscular conocida, embarazo, presencia de traqueostomía y patologías torácicas estructurales como fracturas costales o evidencia de tórax inestable, patologías pulmonares crónicas y diafragmáticas, índice de masa corporal (IMC) ≥ 30 kg/m², ventana acústica ecográfica deficiente que impida la identificación de las estructuras anatómicas, ASA \geq III, administración de sulfato de magnesio en el perioperatorio, negativa para participar en el estudio. Finalmente, la población de estudio quedó conformada por 80 pacientes.

Se solicitó el aval por escrito al comité de bioética del SADHCM, se le explicó al paciente que cumplía con los criterios de inclusión todo lo relacionado con el procedimiento, beneficios, complicaciones y efectos adversos que pudiese presentar. Se firmó el consentimiento informado sin realizar ningún tipo de presión para que el participante ingrese al estudio. Se consideraron los principios bioéticos como respeto, justicia y beneficencia hacia el paciente.

El paciente se trasladó a la UCPA donde se realiza UD con ecógrafo M- Turbo SonoSite®. Con el paciente en posición decúbito supino, se midió la FED utilizando un transductor lineal multifrecuencia (13 - 6 MHz) posicionado en el plano longitudinal en la línea axilar anterior derecha, entre el 7º 8º 9º y 10º espacios intercostales en modo bidimensional.

Las evaluaciones se realizaron en la zona de aposición, donde el diafragma se apoya en la caja torácica inferior. El diafragma fue visualizado entre dos líneas hiperecogénicas, la de la pleura parietal y el peritoneo. Se realizó la medición del grosor al final de la inspiración y grosor al final de la espiración para obtener la fracción de engrosamiento del diafragma definida

como: [grosor al final de la inspiración - grosor al final de la espiración/grosor al final de la espiración $\times 100$].

A continuación, se registró la ED con el transductor convexo multifrecuencia (5 - 2 MHz) en plano oblicuo y espacio subcostal derecho, se ubicó la zona de aposición, en modo M se identificó la excursión máxima y se midió la distancia entre la línea base y el ápice para su posterior resta.

Luego, el paciente ingresó al quirófano donde se realizó monitorización estándar tipo II y se realizó inducción anestésica endovenosa con dosis de fentanilo 3-5 mcg/kg, lidocaína 1-1,5 mg/kg, propofol 2-2,5 mg/kg y rocuronio 0,6 mg/kg. Mantenimiento anestésico con fentanilo y rocuronio según necesidades del paciente. El fentanilo a dosis de 0,5 mcg/kg se administró cada 40-45 minutos y rocuronio con 10% de la dosis de inducción cada 40 minutos. Se suspende la administración de rocuronio por un período mínimo de 40 minutos antes de la finalización de la cirugía.

Previo a la administración de rocuronio y posterior a la administración de propofol se realizó monitorización con TOF® mediante dos electrodos en el tercio distal del antebrazo izquierdo a nivel del borde cubital anterior para obtener resultado de TOFr y se aseguró la vía aérea con intubación orotraqueal según criterio del anestesiólogo.

Una vez culminado el acto quirúrgico se siguió el plan de extubación colocando el modo ventilatorio tipo presión sopor te con parámetros en: $\Delta P \leq 6$ cm H₂O, presión positiva al final de la espiración (PEEP) 3-8 cm H₂O, frecuencia ventilatoria de 6 respiraciones por minuto, fracción inspirada de oxígeno (FIO₂) de 0,5, sensibilidad 2-3 L/min. Halogenado a 1 concentración alveolar mínima (CAM). Se realizó nuevamente la monitorización con TOF® con dos electrodos en el tercio distal del antebrazo a nivel del borde cubital anterior para obtener resultado de TOFr.

Si el TOFr < 0,9, se administró reversión farmacológica de bloqueo neuromuscular con neostigmina y atropina, 7 minutos posteriores se realizaron mediciones consecutivas del TOFr con intervalo de 1 minuto hasta evidenciar TOFr $\geq 0,9$; a partir de ese momento se cerró el dial de halogenado y se realizó UD para cuantificación de ED y FED y su posterior registro.

Finalmente, se realizó una base de datos en Excel 2016 donde se transcribieron todos los datos obtenidos en el instrumento de recolección de datos. Las variables cualitativas se obtuvieron mediante frecuencias absolutas y relativas, se construyeron los intervalos de confianza al 95%. Para las variables cuantitativas se aplicaron medidas de tendencia central promedio y desviación estándar. En el análisis estadístico se realizó la prueba de independencia de Chi cuadrado (χ^2) para las variables cualitativas y verificar si hay asociación entre variables. Se trabajó al nivel de significancia de 5%, por lo cual un resultado se considera estadísticamente significativo siempre que P (valor) $\leq 0,05$. Se calculó el coeficiente de correlación mediante el método de Pearson para las variables cualitativas dicotómicas y variables cuantitativas discretas.

Los valores de sensibilidad, especificidad, valor predictivo negativo (VPN) y valor predictivo positivo (VPP) se obtuvieron mediante un modelo de regresión logística bimodal y analizados con el programa EPIDAT versión 3. Los resultados obtenidos se presentaron en un diagrama de dispersión para su evaluación. Los datos se procesaron utilizando el programa EPIINFO Versión 7.3.2.1 para Windows.

Resultados

Se estudiaron 80 pacientes del servicio de anestesiología y reanimación del SADHCM. La edad promedio de los participantes fue de 43,51 ($\pm 16,3$) años, con un rango de edad de 18 a 73 años. Del total de pacientes, el 53,75% (43) fueron de sexo masculino, mientras que el 46,25% (37) fueron de sexo femenino. En cuanto a la clasificación ASA PS, se observó que el 45,00% (36) de los pacientes fueron clasificados como I, y el 55,00% (44) como II (Tabla 1).

La ED preoperatoria mostró una media de 2,19 cm con una desviación estándar de 0,45 cm, con valores que oscilaron entre 1,40 cm y 3,20 cm. En el período posoperatorio, la ED tuvo una media de 1,90 cm con una desviación estándar de 0,45 cm, con un rango de 1,20 cm a 3,00 cm. Esta disminución fue significativa, con un valor de p de 0,000, determinado mediante la prueba de Wilcoxon para muestras pareadas.

Respecto a la FED, los valores preoperatorios mostraron una

media de 40,47% con una desviación estándar de 15,93%, abarcando un rango de 19,00% a 88,00%. Posteriormente, en el período posoperatorio, la media disminuyó a 32,58% con una desviación estándar de 14,60%, y un rango de 10,00% a 81,00%. Esta reducción también fue significativa con un valor de p de 0,009, según la prueba de Wilcoxon para muestras pareadas (Tabla 2).

Con respecto a la medición del TOFr antes de la administración del BNM, el TOFr tenía una media de 1,00 con una desviación estándar de 0,00. En el período posoperatorio, el TOFr mostró una media de 0,87 con una desviación estándar de 0,10, con un rango de valores de 0,70 a 1,00. Esta disminución en la TOFr fue significativa, con un valor de p de 0,000, determinado mediante la prueba de Wilcoxon para muestras pareadas.

Los pacientes con un TOFr $> 0,9$ ($n = 47$) mostraron una media de ED posoperatoria de 2,16 cm con una desviación estándar de 0,42 cm en contraste con aquellos con un TOFr $< 0,9$

Tabla 1. Características socio-clínicas en pacientes del servicio de Anestesiología y Reanimación del Hospital Central de Maracay Estado Aragua Venezuela en el período abril- octubre de 2024

Variables	Fr (n = 80)	%
Sexo		
Masculino	43	53,75
Femenino	37	46,25
ASA		
I	36	45,00
II	44	55,00

IC95% = Intervalo de confianza al 95% de probabilidad

Tabla 3. Medición de la relación del tren de cuatro en pacientes del servicio de Anestesiología y Reanimación del Hospital Central de Maracay Estado Aragua Venezuela en el período abril- octubre de 2024

Variables	(n = 80) Media	Desv. Estándar	p
TOFr (Antes de BNM)	1,00	0,00	0,000
TOFr Posoperatorio	0,87	0,10	

IC95% = Intervalo de confianza al 95% de probabilidad.

Tabla 2. Registro de la excusión diafragmática y la fracción de engrosamiento diafragmático por ultrasonido en pacientes del servicio de Anestesiología y Reanimación del Hospital Central de Maracay Estado Aragua Venezuela en el período abril-octubre de 2024

Variables	(n = 80) Media	Desv. Estándar	P
Excusión diafragmática preoperatoria	2,19	0,45	0,000
Excusión diafragmática postoperatoria	1,9	0,45	
Fracción de engrosamiento diafragmático pre operatoria	40,47	15,93	0,009
Fracción de engrosamiento diafragmático post operatoria	32,58	14,60	

Prueba Wilcoxon comparación de medias muestras pareadas; IC95% = Intervalo de confianza $p < 0,005$.

Tabla 4. Relación existente entre valores de excusión diafragmática y fracción de engrosamiento diafragmático con la relación del tren de cuatro en pacientes del servicio de Anestesiología y Reanimación del Hospital Central de Maracay Estado Aragua Venezuela en el período abril-octubre de 2024

Variables	Relación tren de cuatro (n = 80)		p	
	TOFr > 0,9 (n = 47)			
	Media	Media		
Excusión diafragmática posoperatoria	2,16	1,7	0,000	
Fracción de engrosamiento diafragmático post	38,26	25,63	0,000	

*A través de la prueba ANOVA de un factor para las comparaciones medias; Nivel de significancia con valor alfa < 0,05.

(n = 33) que presentaron una media de 1,7 cm con una desviación estándar de 0,36 cm. Esta diferencia fue significativa, con un valor de p de 0,000, determinado mediante la prueba ANOVA de un factor.

Asimismo, la FED posoperatoria mostró una media de 38,26% con una desviación estándar de 14,4% en pacientes con un TOFr $\geq 0,9$, mientras que los pacientes con un TOFr $< 0,9$ tuvieron una media de 25,6% con una desviación estándar de 9,7%. Esta diferencia también fue significativa, con un valor de p de 0,000, según la prueba ANOVA de un factor.

Se observó que 20 pacientes tenían un TOFr posoperatorio $\geq 0,9$, mientras que 13 tenían un TOFr $< 0,9$. En contraste, 10 pacientes presentaron un TOFr $\geq 0,9$ mientras que 37 pacientes obtuvieron TOFr $< 0,9$. Estas mediciones fueron analizadas para determinar la sensibilidad, especificidad, VPP y VPN de la UD en relación con la excursión diafragmática.

La sensibilidad de la UD fue del 66,67%, lo que indica que esta técnica logró identificar correctamente a un buen porcentaje de los pacientes con TOFr $\geq 0,9$. La especificidad alcanzó el 74,00%, señalando que la prueba también fue efectiva al distinguir a los pacientes con TOFr $< 0,9$. El índice de validez, que combina ambos valores, fue del 71,25%, reflejando una alta precisión general de la prueba.

El VPP fue del 60,61% indicando que más de la mitad de los pacientes presentó un resultado positivo en la UD y tenían un TOFr $\geq 0,9$. El VPN de 78,72% muestra que una gran mayoría de los pacientes con un resultado negativo en la UD tenían un TOFr $\geq 0,9$ (Tabla 5).

Por otra parte, los resultados proporcionan una evaluación de la precisión del ultrasonido de la FED para predecir la TOFr. De los pacientes evaluados con FED $\geq 20\%$, 19 tenían un TOFr posoperatorio $\geq 0,9$, mientras que 14 tenían un TOFr $< 0,9$. Por otro lado, de los pacientes con FED $< 20\%$, 9 pacientes presentaron un TOFr $\geq 0,9$ y 37 TOFr $< 0,9$.

La sensibilidad del ultrasonido para predecir un TOFr $\geq 0,9$

fue del 67,86%, lo que indica que el ultrasonido pudo identificar correctamente a estos pacientes en la mayoría de los casos. La especificidad fue del 72,55%, demostrando que la prueba también fue efectiva para detectar a aquellos pacientes con un TOFr $< 0,9$. El índice de validez, que combina la sensibilidad y especificidad, fue del 70,89%, reflejando una alta precisión general.

El VPP fue del 57,58%, lo que significa que más de la mitad de los pacientes con un resultado positivo en el ultrasonido efectivamente tenían un TOFr $\geq 0,9$. El VPN fue del 80,43%, indicando que una gran mayoría de los pacientes con un resultado negativo en el ultrasonido tenían un TOFr $\geq 0,9$ (Tabla 6).

Discusión

El uso de la UD está ampliamente reconocido para evaluar la capacidad diafragmática en cualquier contexto, especialmente en los pacientes sometidos a ventilación mecánica; por otro lado, el TOF® como método de monitorización neuromuscular constituye la herramienta ideal para determinar el nivel de bloqueo neuromuscular en el perioperatorio y determinar momentos claves de este, tales como la intubación y la extubación. Se demostró que existe una correlación entre los valores de la UD y el TOFr, que conllevaría a aumentar la seguridad en la extubación.

Con respecto a la ED, Lang y cols., reportaron un valor de 1,53 ($\pm 0,47$) cm; al igual que Itagaki y cols., que reportaron un valor normal de 1,8 ($\pm 0,3$) cm, siendo similar a lo obtenido en el presente trabajo como valor preoperatorio de ED con 2,19 ($\pm 0,45$) cm. Es preciso mencionar que los valores registrados por Lang y cols., fueron obtenidos en la unidad de cuidados intensivos y los reportados por Itagaki y cols., se realizaron en pacientes sanos, al igual que en este estudio donde se evaluaron los pacientes sin patología pulmonar en la UCPA[7],[16].

Tabla 5. % de Sensibilidad, % Especificidad, valor predictivo positivo, negativo de las pruebas de la excursión diafragmática por ultrasonido relación del tren de cuatro punto de corte 0,9 en pacientes del servicio de Anestesiología y Reanimación del Hospital Central de Maracay Estado Aragua Venezuela en el período abril-octubre de 2024

	Pronosticado	
Observado	< 0,9	> 0,9
TOFr Posoperatorio 1		
< 0,9	20	13
> 0,9	10	37
Valores de pruebas predictivas	%	IC95%*
Sensibilidad (%)	66,67	64,90 - 68,44
Especificidad (%)	74,00	72,93 - 75,07
Índice de validez (%)	71,25	70,56 - 71,94
Valor predictivo + (%)	60,61	58,99 - 62,22
Valor predictivo - (%)	78,72	77,59 - 79,86

Prueba Regresión logística bimodal calculado programa EPIDAT versión 3; Intervalo de confianza 95%.

Tabla 6. % de Sensibilidad, % Especificidad, valor predictivo positivo, negativo de las pruebas fracción de engrosamiento diafragmático por ultrasonido relación del tren de cuatro puntos de corte 0,9 en pacientes del servicio de Anestesiología y Reanimación del Hospital Central de Maracay Estado Aragua Venezuela en el período abril-octubre 2024

	Pronosticado	
Observado	< 0,9	> 0,9
TOFr Posoperatorio 1		
< 0,9	19	14
> 0,9	9	37
Valores de pruebas predictivas	%	IC95%*
Sensibilidad (%)	67,86	65,97 - 69,75
Especificidad (%)	72,55	71,49 - 73,60
Índice de validez (%)	70,89	70,19 - 71,58
Valor predictivo + (%)	57,58	55,96 - 59,19
Valor predictivo - (%)	80,43	79,28 - 81,59

Prueba Regresión logística bimodal calculado programa EPIDAT versión 3; Intervalo de confianza 95%.

Del mismo modo, la FED preoperatoria registrada en el presente trabajo reportó valores de 40,47% ($\pm 15,93\%$), semejante a los valores normales de referencia informados por Itagaki y cols., de 37% ($\pm 9\%$), demostrando que los pacientes de este estudio se encontraban clínicamente sanos a nivel diafragmático, otorgando confianza estadística al momento de evaluar los resultados en el posoperatorio[16].

La monitorización neuromuscular de los pacientes evaluados se comportó según lo descrito en la teoría, con TOFr previo a la administración del BNM del 100% y reportando un TOFr en el posoperatorio con valor promedio de 87% ($\pm 10\%$), este valor es justificado por la suspensión de la administración de rocuronio 30 minutos previos a la finalización de la cirugía (momento en el cual fue medido este valor). No se encontraron artículos relacionados con este tema que involucraran la correlación de la UD y TOFr a nivel nacional, estatal y regional.

En vista de que no existe relación entre valores de la ED y FED con el TOFr se decide comparar los valores obtenidos en este estudio con los presentados por Lasso, en donde reporta valores de ED en extubación exitosa de 1,8 ($\pm 0,3$) cm y FED de 39%; y extubación fallida con ED 1,5 ($\pm 0,3$) cm y FED de 29%. Al igual que Li y cols., donde reportan ED en extubación exitosa de 1,65 cm y fallida de 0,80 cm y FED en extubación exitosa de 49,48% ($\pm 12,50\%$) y fallida de 27,83 ($\pm 9,95\%$)[4],[15].

Los pacientes con TOFr $\geq 0,9$ posoperatorio presentaron una ED de 2,16 ($\pm 0,42$) cm, valores similares a los obtenidos por los trabajos anteriormente mencionados en extubación exitosa. De igual manera, los pacientes con TOFr $< 0,9$ posoperatorio presentaron una ED de 1,7 ($\pm 0,36$) cm. La disminución de la ED se asocia a disminución del TOFr y esta tendencia nos orientaría a un fracaso en la extubación de estos pacientes[7],[15],[16].

La FED se comportó con una tendencia igual que la ED en donde a mayor valor posoperatorio mayor TOFr; en TOFr $\geq 0,9$ la FED obtenida fue 38,26% ($\pm 14,40\%$) y en TOFr $< 0,9$ la FED fue 25,63 ($\pm 9,70\%$). Estos valores se asemejan a los expuestos por Itagaki y cols., donde refieren que el valor anormal para FED es $\leq 30\%$ [16].

La sensibilidad y especificidad expresada por nuestros resultados con una muestra de 80 pacientes fue obtenida al relacionar los valores del TOFr con ED siendo 66,67% y 74% respectivamente; al relacionar TOFr y FED la sensibilidad fue de 67,86% y especificidad de 72,55%. Esto coincide con lo reportado por Mahmoodpoor y cols., donde la ED en extubación exitosa presentó una sensibilidad de 79,9% y especificidad 69,9%; FED con sensibilidad de 84% y especificidad de 77%. Li y cols., reportaron resultados con las mismas variables. Esto demuestra la importancia que tienen estos parámetros de UD para predecir la extubación exitosa[1],[15].

Conclusiones

Los resultados demuestran la efectividad de la UD y el TOFr para una extubación segura, aumentando la capacidad predictiva de complicaciones y determinando el momento adecuado para realizarla cuando se usan simultáneamente. Se encontró relación significativa entre los valores de ED y FED con el TOFr, con altos niveles de sensibilidad y especificidad que avalan su fiabilidad diagnóstica.

La UD requiere una curva de aprendizaje corta con capaci-

tación rápida, utilizando un equipo de US básico accesible en la mayoría de los centros. La monitorización del BNM tampoco demanda entrenamiento complejo. Se recomienda incorporar la UD y el TOFr en protocolos de extubación, extendiendo el monitoreo diafragmático en pacientes de alto riesgo y promoviendo estudios adicionales con mayor muestra y diversidad de pacientes.

Limitaciones incluyeron el tiempo necesario para capacitar al personal en ultrasonografía e interpretación de resultados y la disponibilidad de un único tren de cuatro en el servicio.

Agradecimientos: A todos los que nos apoyaron y enseñaron desde el primer momento que se nos ocurrió este trabajo. A ellos mil gracias.

Referencias

1. Mahmoodpoor A, Fouladi S, Ramouz A, Shadvar K, Ostadi Z, Soleimanpour H. Diaphragm ultrasound to predict weaning outcome: systematic review and meta-analysis. *Anaesthesiol Intensive Ther* [Internet]. 2022;54(2):164–74. Disponible en: <https://doi.org/10.5114/ait.2022.117273>.
2. Difficult Airway Society Extubation Guidelines Group, Popat M, Mitchell V, Dravid R, Patel A, Swampillai C, et al. Difficult Airway Society Guidelines for the management of tracheal extubation. *Anaesthesia* [Internet]. 2012;67(3):318–40. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2044.2012.07075.x>.
3. Apfelbaum JL, Hagberg CA, Connis RT, Abdelmalak BB, Agarkar M, Dutton RP, et al. 2022 American Society of Anesthesiologists Practice Guidelines for Management of the Difficult Airway. *Anesthesiology* [Internet]. 2022;136(1):31–81. Disponible en: <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000004002>.
4. Lasso JP. Ecografía diafragmática una herramienta para predecir resultados en la extubación del paciente crítico [Internet]. Universidad del Rosario; 2021. Disponible en: https://doi.org/10.48713/10336_31666.
5. Hans GA, Sottiaux TM, Lamy ML, Joris JL. Ventilatory management during routine general anaesthesia. *Eur J Anaesthesiol* [Internet]. 2009;26(1):1–8. Disponible en: <https://doi.org/10.1097/EJA.0b000e000000f1fb>.
6. Thilen SR, Weigel WA, Todd MM, Dutton RP, Lien CA, Grant SA, et al. 2023 American society of anesthesiologists practice guidelines for monitoring and antagonism of neuromuscular blockade: A report by the American society of anesthesiologists task force on neuromuscular blockade. *Anesthesiology* [Internet]. 2023;138(1):13–41. Disponible en: <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000004379>.
7. Lang J, Liu Y, Zhang Y, Huang Y, Yi J. Peri-operative diaphragm ultrasound as a new method of recognizing post-operative residual curarization. *BMC Anesthesiol* [Internet]. 2021;21(1):287. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s12871-021-01506-3>.
8. Aldrete JA, Paladino MA. Farmacología para anestesiólogos, intensivistas, emergenciólogos y medicina del dolor [Internet]. Mestre EO, editor. Corpus editorial; 2006. Disponible en: https://www.academia.edu/39377367/Farmacologia_para_anestesiologos
9. Ronald M. Miller Anestesia. Cohen Neal, Eriksson Lars, Flesher Lee, Wiener-Kronish Jeanine, Young William, editor. Elsevier; 2015.

10. Tarrizo Suárez JA, Morales Cano JM, Pujol Salud J, Sánchez Barrancos IM, Diaz Sánchez S, Conangla Ferrín L. Utilidad y fiabilidad de la ecografía clínica en medicina familiar: ecografía del cuello y ecografía en urgencias. *Aten Primaria* [Internet]. 2019;51(6):367–79. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.aprim.2019.03.004>.
11. Pérez HL. Implantación y desarrollo de la ecografía clínica en Atención Primaria [Internet]. [España]: Universidad D Salamanca; 2023. Disponible en: https://gredos.usal.es/bitstream/handle/10366/152863/TG_P%c3%a9rezHern%c3%a1ndez_Implantaci%c3%b3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y
12. Roca LMC, Polo ES. Evaluación ecográfica de la función diafragmática en el paciente crítico. *Rev electrón AnestesiaR* [Internet]. 2019;11(2):1. Disponible en: <https://doi.org/10.30445/rear.v11i2.659>.
13. Parada-Gereda HM, Tibaduiza AL, Rico-Mendoza A, Molano-Franco D, Nieto VH, Arias-Ortiz WA, et al. Effectiveness of diafragmatic ultrasound as a predictor of successful weaning from mechanical ventilation: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care* [Internet]. 2023;27(1):174. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s13054-023-04430-9>.
14. Varón-Vega F, Hernández Á, López M, Cáceres E, Giraldo-Cádavid LF, Uribe-Hernandez AM, et al. Utilidad de la ecografía diafragmática para predecir el éxito en la extubación. *Med Intensiva* (Engl Ed) [Internet]. 2021;45(4):226–33. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.medin.2019.10.007>.
15. Li S, Chen Z, Yan W. Application of bedside ultrasound in predicting the outcome of weaning from mechanical ventilation in elderly patients. *BMC Pulm Med* [Internet]. 2021;21(1). Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s12890-021-01605-4>.
16. Itagaki T, Akimoto Y, Takashima T, Oto J. Ultrasonographic assessment of the diaphragm. *Diagnostics (Basel)* [Internet]. 2024;14(14). Disponible en: <https://doi.org/10.3390/diagnostics14141481>.