



Predicción de la desconexión de la ventilación mecánica invasiva mediante tomografía de impedancia eléctrica aplicando una red neuronal**

Prediction of the weaning off invasive mechanical ventilation by electrical impedance tomography applying a neural network
Previsão de desmame da ventilação mecânica invasiva por tomografia de impedância elétrica usando uma rede neural

Ibzan Jahzeel Salvador Ibarra,* Josué Daniel Cadeza Aguilar,* Sergio Gustavo Monasterios López,†
Martín Armando Ríos Ayala,* Carmen Margarita Hernández Cárdenas,* Edith Lizeth Nicolás Martínez*

RESUMEN

Introducción: el éxito del retiro de la ventilación mecánica (VM) se define por la ausencia de soporte ventilatorio 48 horas después de la extubación; el tiempo de retiro puede representar hasta 50% del tiempo total de ventilación. La tomografía por impedancia eléctrica (TIE) es una herramienta de imagen clínica no invasiva y libre de radiación para monitorear, en tiempo real y a la cabecera del paciente.

Objetivo: comparar las diferencias en los cambios dinámicos del Δ EELI y las regiones de interés (ROI) por TIE durante la prueba de ventilación espontánea en pacientes con éxito o falla durante el retiro de la ventilación mecánica invasiva.

Material y métodos: estudio observacional, longitudinal y analítico. Se incluyeron pacientes con requerimiento de ventilación mecánica invasiva por más de 72 horas. Se utilizó estadística descriptiva en las variables cuantitativas, expresando los datos como media y desviación estándar, o mediana y rango intercuartílico (RIC) acorde a la distribución, y como frecuencias y porcentajes en los datos categóricos. Posteriormente se realizó un análisis multivariado de regresión logística y una red neuronal (RN), ajustado para las variables con significancia clínica y estadística. La significancia estadística se estableció como una $p < 0.05$ o $< 5\%$.

Resultados: se incluyeron un total de 30 pacientes, los cuales se dividieron en dos grupos: éxito o fracaso de la extubación. Se obtuvo significancia estadística entre ambos grupos en las variables: SOFA con $p = 0.015$, APACHE II con $p = 0.005$, leucocitos con $p = 0.001$ y magnesio con $p = 0.035$. La probabilidad predicha resultante de la regresión logística multivariable (RLM) y la RN para todo el grupo se utilizó para obtener curvas ROC y el valor de corte de -7.5 de pérdida posterior a la prueba de respiración espontánea (PRE) del Δ EELI ROI1.

Conclusión: los pacientes que son sometidos a una PRE presentan cambios en la capacidad residual funcional asociada a pérdida del reclutamiento de las áreas ventiladas previamente en la VM. Con el advenimiento de la TIE, estos cambios pueden ser monitorizados de manera dinámica y a la cabecera del paciente en tiempo real, ofreciendo una herramienta pronóstica en aquellos pacientes con alto riesgo de fracaso al retiro de la ventilación mecánica.

Palabras clave: retiro de la ventilación mecánica, tomografía de impedancia eléctrica, prueba de respiración espontánea, impedancia pulmonar al final de la espiración.

ABSTRACT

Introduction: successful weaning from mechanical ventilation (MV) is defined by the absence of ventilatory support 48 hours after extubation; weaning time can represent up to 50% of the total ventilation time. Electrical impedance tomography (EIT) is a noninvasive, radiation-free clinical imaging tool to monitor, in real time and at the patient's bedside.

Objective: to compare the differences in dynamic changes of Δ EELI and regions of interest (ROI) by EIT during spontaneous ventilation test in patients with success or failure during withdrawal of invasive mechanical ventilation.

** Concurso Académico de Investigación «Dr. Mario Shapiro» 2024. Ganador del tercer lugar.

* Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias, Ismael Cosío Villegas. Ciudad de México, México.

† Hospital Obrero No. 1. La Paz, Bolivia.

Recibido: 18/09/2024. Aceptado: 24/10/2024.

Citar como: Salvador IJ, Cadeza AJD, Monasterios LSG, Ríos AMA, Hernández CCM, Nicolás MEL. Predicción de la desconexión de la ventilación mecánica invasiva mediante tomografía de impedancia eléctrica aplicando una red neuronal. Med Crit. 2024;38(6):427-432. <https://dx.doi.org/10.35366/119228>

www.medigraphic.com/medicinacritica

Material and methods: observational, longitudinal and analytical study. Patients requiring invasive mechanical ventilation for more than 72 hours were included. Descriptive statistics were used for quantitative variables, expressing the data as mean and standard deviation, or median and interquartile range (IQR) according to the distribution, and as frequencies and percentages for categorical data. Subsequently, multivariate logistic regression (MLR) and neural network (NN) analysis was performed, adjusted for variables with clinical and statistical significance. Statistical significance was established as a $p < 0.05$ or $< 5\%$.

Results: a total of 30 patients were included and divided into two groups: extubation success or failure. Statistical significance was obtained between both groups in the variables: SOFA with a $p = 0.015$, APACHE II with a $p = 0.005$, leukocytes with a $p = 0.001$ and magnesium with a $p = 0.035$. The resulting predicted probability of MLR and NN for the whole group was used to obtain ROC curves and the cut-off value of -7.5 of post-SBT (spontaneous breathing trial) loss of Δ EELI ROI1.

Conclusion: patients who undergo SBT present changes in functional residual capacity associated with loss of recruitment of previously ventilated areas on MV. With the advent of EIT, these changes can be monitored dynamically and at the patient's bedside in real time, offering a prognostic tool in those patients at high risk of failure upon weaning from mechanical ventilation.

Keywords: mechanically ventilation weaning, electrical impedance tomography, spontaneous breathing test, end-expiratory lung impedance.

RESUMO

Introdução: o desmame bem-sucedido da ventilação mecânica é definido pela ausência de suporte ventilatório 48 horas após a extubação; o tempo de desmame pode ser responsável por até 50% do tempo total de ventilação. A tomografia de impedância elétrica é uma ferramenta de imagem clínica não invasiva e livre de radiação para monitoramento em tempo real à beira do leito.

Objetivo: comparar as diferenças nas alterações dinâmicas do Δ EELI e das regiões de interesse (ROI) por TIE durante o teste de ventilação espontânea em pacientes com sucesso ou fracasso durante o desmame da ventilação mecânica invasiva.

Material e métodos: estudo observacional, longitudinal e analítico. Foram incluídos pacientes que necessitaram de ventilação mecânica invasiva por mais de 72 horas. Foram usadas estatísticas descritivas para variáveis quantitativas, expressando os dados como média e desvio padrão, ou mediana e intervalo interquartil (IQR) de acordo com a distribuição, e como frequências e porcentagens para dados categóricos. Em seguida, foi realizada a regressão logística multivariada e a análise de rede neural, ajustadas para variáveis com significância clínica e estatística. A significância estatística foi estabelecida como $p < 0.05$ ou $< 5\%$.

Resultados: um total de 30 pacientes foi incluído e dividido em dois grupos: sucesso ou fracasso da extubação. Foi obtida significância estatística entre os dois grupos nas variáveis: SOFA com $p = 0.015$, APACHE II com $p = 0.005$, leucócitos com $p = 0.001$ e magnésio com $p = 0.035$. A probabilidade prevista resultante da RLM e da RN para todo o grupo foi usada para obter curvas ROC e o valor de corte de -7.5 para perda pós-TRE da Δ EELI ROI1.

Conclusão: os pacientes submetidos à TRE apresentam alterações na capacidade residual funcional associadas à perda de recrutamento de áreas previamente ventiladas na VM. Com o advento da TIE, essas alterações podem ser monitoradas dinamicamente e à beira do leito em tempo real, oferecendo uma ferramenta de prognóstico para os pacientes com alto risco de falha no desmame da ventilação mecânica.

Palavras-chave: retirada da ventilação mecânica, tomografia de impedância elétrica, teste de respiração espontânea, impedância pulmonar expiratória final.

Abreviaturas:

CPAP/PS = presión positiva continua en las vías respiratorias/soporte de presión (Continuous Positive Airway Pressure/Pressure Support)

EELI = impedancia pulmonar al final de la espiración (*End-Expiratory Pulmonary Impedance*)

EELV = volumen pulmonar al final de la espiración (*End-Expiratory Lung Volumen*)

FEX = fracaso a la extubación

PEEP = presión positiva al final de la espiración (*Positive End-Expiratory Pressure*)

PRE = prueba de respiración espontánea

ROC = característica operativa del receptor (*Receiver Operating Characteristic*)

ROI = regiones de interés (*Regions Of Interest*)

SIMV = ventilación obligatoria intermitente sincronizada (*Synchronized Intermittent Mandatory Ventilation*)

TIE = tomografía por impedancia eléctrica

UCI = Unidades de Cuidados Intensivos

VM = ventilación mecánica

Δ EELI = delta de impedancia pulmonar al final de la espiración (*End-Expiratory Pulmonary Impedance*)

INTRODUCCIÓN

El retiro de la ventilación mecánica (RVM) es una intervención compleja. Hace setenta años, el Dr. Ibsen introdujo la revolucionaria técnica de ventilación con presión positiva durante la epidemia de polio en Copenhague que salvó innumerables vidas.¹ En la década de 1970, la ventilación obligatoria intermitente sincronizada (SIMV) se utilizaba ampliamente como modo de destete de elección en la mayoría de las Unidades de Cuidados Intensivos (UCI).¹ Antes de la aplicación de SIMV, las técnicas de destete consistían en desconectar a los pacientes del ventilador durante tres a cuatro minutos seguidos cada treinta minutos y determinar su tolerancia a una interrupción abrupta.¹

El retiro de la ventilación mecánica se define como una disminución gradual del soporte ventilatorio en pacientes cuya causa subyacente de insuficiencia respiratoria está resuelta.^{2,3} El éxito del retiro se define por la extubación y la ausencia de soporte ventilatorio 48 horas después de la extubación.⁴ Por el contrario, el fracaso del retiro se define como la incapacidad de pasar una prueba de respiración espontánea (PRE) o la necesidad de reintubación dentro de las 48 horas posteriores a la extubación.⁵

El tiempo de retiro puede representar hasta 50% del tiempo total de ventilación.⁶ Este tiempo prolongado de ventilación invasiva aumenta el riesgo de sufrir complicaciones infecciosas, polineuropatía/miopatía por enfermedades críticas y traqueostomía con posterior ventilación invasiva extrahospitalaria.⁶ El pronóstico de los pacientes sometidos a un retiro prolongado es peor que el de un retiro simple.⁶ Se ha demostrado que la reintubación debido a insuficiencia respiratoria postextubación aumenta la mortalidad de 2.5 a 10 veces en comparación con los pacientes que no requieren reintubación.⁷

Se recomienda como el mejor método para determinar la preparación para la extubación una PRE, que

comprende una evaluación enfocada de la capacidad de respirar del paciente.⁷ Comprende de 30 a 60 minutos con niveles bajos de presión de soporte o presión positiva continua en las vías respiratorias (CPAP/PS por sus siglas en inglés) a través del ventilador, o usando una pieza en T conectada al tubo endotraqueal.⁷

La mayoría de los pacientes, aproximadamente entre 60 y 70%, requerirán una interrupción mínima o nula del soporte ventilatorio y se extubarán sin dificultad después de la primera PRE, estos pacientes pueden clasificarse como destete simple.⁷ El restante 30-40% puede clasificarse como destete difícil, definido como requerir hasta tres PRE y siete días para lograr el éxito del retiro o destete prolongado definido como el requerimiento de más de tres PRE y más de siete días de retiro.⁷

La tomografía por impedancia eléctrica (TIE) es una herramienta de imagen clínica no invasiva y libre de radiación para monitorear, en tiempo real y a la cabecera del paciente.⁸ La reconstrucción de imágenes se basa en la estimación de los cambios de resistividad que se producen en los pulmones con la respiración.⁸ El aumento de la resistividad que se produce con la inflación pulmonar se debe al adelgazamiento y elongación de los tabiques alveolares, los cuales dificultan el paso de la corriente eléctrica.⁸

La TIE es una técnica desarrollada en los últimos años, que se basa en la emisión de ondas de impedancia desde 16 electrodos atados a sitios definidos en el tórax, generalmente entre la cuarta y sexta costillas para un tipo corporal positivo (el cuerpo está bien proporcionado y el ángulo abdominal superior es igual a 90°).⁹ Estos electrodos recogen la información de la impedancia en un espacio cráneo-caudal de aproximadamente 10 cm.¹⁰ Calcula la atenuación de las ondas de impedancia entre diferentes tejidos en el tórax y adopta el algoritmo correspondiente para reducirlo a una imagen tomográfica del tejido pulmonar.⁹ La onda de impedancia emitida por los electrodos de la TIE se atenúa de manera inconsistente en diferentes formas de tejido, lo que resulta en un valor de impedancia alto en áreas bien ventiladas, un valor disminuido en áreas menos ventiladas y un valor de impedancia basal (el mínimo) en áreas no ventiladas.⁹ Es similar a la tomografía computarizada convencional, pero la diferencia es que la TIE es continua y dinámica.⁹ La validación de la TIE está documentada a través de comparación con diferentes técnicas como la espirometría para la validación de los cambios en la impedancia regional y global, con el lavado de nitrógeno para la medición del volumen pulmonar al final de la espiración (EELV).¹⁰ Con la tomografía computarizada (TC) y la tomografía de emisión de positrones (SPECT y PET) como método para la medición de distribución regional del volumen pulmonar y para monitorizar técnicas de reclutamiento alveolar.¹¹

La TIE se tiene cada vez más en cuenta como una herramienta de diagnóstico para guiar la distribución de la ventilación y el volumen pulmonar al final de la espiración en pacientes críticos que requieren ventilación mecánica (VM) debido a insuficiencia respiratoria. Otros escenarios clínicos diferentes, como la ventilación unipulmonar, el edema pulmonar, la succión endotraqueal o la respiración espontánea, han demostrado la utilidad de la TIE.¹²

La TIE permite determinar los cambios en la impedancia pulmonar al final de la espiración (EELI) –una estimación sustitutiva del volumen pulmonar al final de la espiración–, evaluar la distribución global y regional de volumen tidal (V_t) y obtener índices de la distribución espacial de la ventilación, como el índice de llenado no homogéneo global.¹³

El objetivo principal de este estudio es comparar las diferencias en los cambios dinámicos del Δ EELI y las regiones de interés (ROI) por TIE durante la PRE en pacientes con éxito o falla durante el retiro de la ventilación mecánica invasiva.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó un estudio observacional, longitudinal y analítico, en pacientes mayores de 18 años de edad ingresados en la UCI, en un periodo comprendido entre mayo 2023 y mayo 2024. Se incluyeron pacientes con requerimiento de ventilación mecánica invasiva por más de 72 horas a causa de patología de origen respiratorio, pacientes elegidos para PRE por resolución de cuadro que originó intubación orotraqueal. Se excluyeron a los pacientes con índice de masa corporal (IMC) > 35 kg/m², pacientes con patología neurológica, arritmias cardíacas potencialmente mortales o isquemia cardíaca, pacientes con marcapasos cardíacos o dispositivos electrónicos implantados, patología de columna o neuromuscular.

Procedimiento. Los pacientes elegibles para PRE que contaban con los siguientes criterios: 1) enfermedad primaria causante de insuficiencia respiratoria controlada; 2) presión parcial de oxígeno (PaO_2)/fracción de oxígeno inspirado (FiO_2) ≥ 150 mmHg; 3) presión positiva al final de la espiración (PEEP) ≤ 8 cm H₂O; 4) estado hemodinámico estable con apoyo vasopresor mínimo o, preferiblemente, sin él; 5) pruebas predictoras de extubación exitosa positivas; 6) temperatura corporal < 38 °C; 7) sin acidosis respiratoria pH > 7.30 , $HCO_3^- < 30$ mmol/L, o presión parcial de dióxido de carbono ($PaCO_2$) < 45 mmH₂O; 8) nivel de hemoglobina ≥ 80 g/L; 9) ausencia de delirio, escala de coma de Glasgow ≥ 8 puntos y 10) electrolitos plasmáticos en rango normal (Na 135 a 145 mEq/L, K 3.7 a 5.2 mEq/L).

Se colocó el cinturón de TIE de 16 electrodos, del tamaño adecuado al paciente, alrededor del tórax del

paciente entre los espacios intercostales 4 y 6, y se conectó al dispositivo TIE (PulmoVista 500; Draeger Medical GmbH, Lübeck, Alemania). Se registraron todos los datos de impedancia, las imágenes de TIE se dividieron en cuatro regiones de interés (ROI) en el modo horizontal: ROI1, ROI2, ROI3 y ROI4. La suma de los valores de impedancia de las ROI se tomó como la impedancia global (GI), también se obtuvieron las imágenes de impedancia pulmonar al final de la espiración (Δ EELI). Se obtuvieron las mediciones, eligiendo tres puntos de tiempo: una medición previa a la PRE, 30 minutos después de iniciada la PRE y 30 minutos posterior a extubación. Se recogieron detalles sobre las características demográficas de los pacientes: diagnóstico primario, diagnóstico principal al ingreso a la UCI, gases en sangre arterial previo a la PRE, a los 30 minutos de la PRE y 30 minutos después de la extubación, niveles de hemoglobina, plaquetas, leucocitos y química sanguínea en ambos grupos.

Análisis estadístico. Se evaluó la normalidad de los datos con la prueba Kolmogorov-Smirnov. Se utilizó estadística descriptiva en las variables cuantitativas, expresando los datos como media y desviación estándar, o mediana y rango intercuartílico (RIC) acorde a la distribución, y como frecuencias y porcentajes en los datos categóricos. Se evaluaron los cambios en las variables de interés en los tres tiempos de medición utilizando la prueba Kruskal Wallis o ANOVA de medidas repetidas. Se compararon los deltas de cambio entre pacientes con prueba exitosa y fallida utilizando la prueba t de Student para muestras independientes. Se consideró significancia estadística un valor $p < 0.05$ o $< 5\%$. Se utilizó el programa estadístico SPSS versión 21.0 de IBM SPSS Statistics.

Aspectos éticos. Se siguieron las recomendaciones y declaraciones de Helsinki y se obtuvo la aprobación del Comité de Ética Institucional para la realización del estudio. Asimismo, se integraron a los pacientes cuyos familiares habían firmado el consentimiento informado.

RESULTADOS

Se incluyeron un total de 30 pacientes (16 hombres y 14 mujeres), los cuales fueron distribuidos en dos grupos: aquellos en quienes la prueba de extubación fue exitosa (21 pacientes) y aquellos con fracaso a la extubación (9 pacientes). En la [Tabla 1](#) se muestran las características clínicas de los pacientes de ambos grupos, se obtuvo significancia estadística entre ambos grupos en las variables: Evaluación Secuencial del Fallo Orgánico (SOFA por sus siglas en inglés) con $p = 0.015$, Fisiología Aguda y Sistema de Clasificación de Enfermedades Crónicas II (APACHE II por sus siglas en inglés) con $p = 0.005$, leucocitos con $p = 0.001$ y magnesio con $p = 0.035$. Posteriormente, las variables respiratorias de-

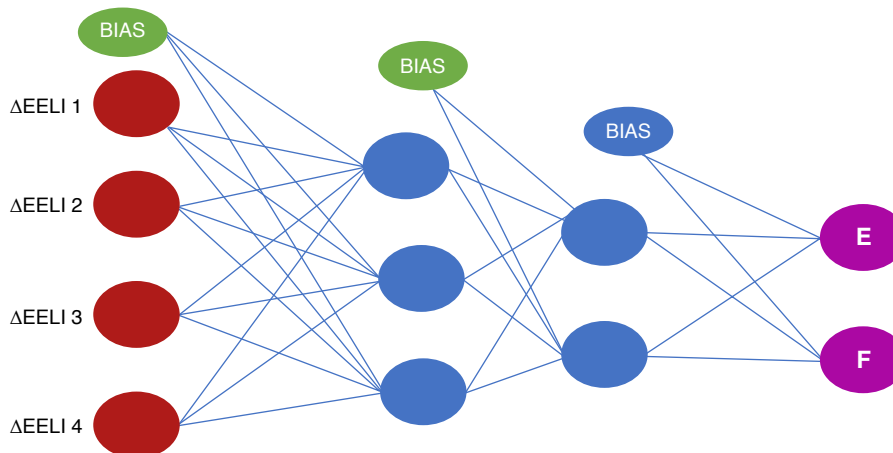
Tabla 1: Características clínicas y demográficas de los pacientes de acuerdo al éxito o fracaso a la extubación, con las variables que tuvieron significancia estadística entre ambos grupos. Se consideró como valor estadísticamente significativo $p < 0.05$ o $< 5\%$.

Variables	Retiro éxito (n = 21) Media \pm DE	Retiro falla (n = 9) Media \pm DE	p
Edad (años)	46 \pm 21	48 \pm 23	0.88
Peso (kg)	62 \pm 13	69 \pm 17	0.33
IMC (kg/m ²)	25.3 \pm 3.6	25.8 \pm 4	0.84
Escala Nutric (puntos)	5 \pm 2	5 \pm 2	1.0
SOFA (puntos)	8 \pm 1.8	10 \pm 1.6	0.015
APACHE II (puntos)	13.1 \pm 3.8	20.2 \pm 7.5	0.005
Días de ventilación mecánica	11.5 \pm 6	12.5 \pm 5.9	0.722
Leucocitos (células/cm ³)	10.97 \pm 3.59	5.88 \pm 1.54	0.001
Hemoglobina (g/dL)	12.8 \pm 1.8	12.6 \pm 3	0.92
Sodio (mEq/L)	139 \pm 4.9	138 \pm 5	0.790
Potasio (mEq/L)	4.1 \pm 0.4	4.1 \pm 0.6	0.930
Cloro (mEq/L)	105 \pm 4	102 \pm 5	0.126
Magnesio (mEq/L)	2 \pm 0.01	1.9 \pm 0.07	0.035
pH	7.42 \pm 0.08	7.40 \pm 0.06	0.771
PaCO ₂ (mmHg)	36 \pm 6	36 \pm 8	0.871
Exceso de base (mEq/L)	1.4 \pm 3.4	-0.75 \pm 6.0	0.322
Lactato (mmol/L)	1.7 \pm 0.5	1.9 \pm 0.9	0.692
PaO ₂ /FiO ₂	152 \pm 42	150 \pm 38	0.911
PEEP (cmH ₂ O)	10 \pm 2	10 \pm 2	1.0

APACHE = *Acute Physiology and Chronic Health Evaluation* (Evaluación de Fisiología Aguda y Salud Crónica). DE = desviación estándar. FiO₂ = fracción inspirada de oxígeno. IMC = índice de masa corporal. PaCO₂ = presión parcial de dióxido de carbono. PaO₂ = Presión parcial de oxígeno. PEEP = *Positive End-Expiratory Pressure* (presión positiva al final de la espiración). SOFA = *Sequential Organ Failure Assessment* (Evaluación Secuencial de Insuficiencia Orgánica).

Figura 1:

Red neuronal multicapa, con variables de entrada (deltas) y las variables de salida (éxito o falla a la extubación). Δ EELI: impedancia pulmonar al final de la espiración.



terminadas por la TIE fueron analizadas por regresión logística multivariada para identificar las variables independientes predictoras de fracaso a la extubación. Se realizó una regresión logística multivariable (RLM) con base en todo el conjunto de datos y se utilizó para predecir la probabilidad de fracaso a la extubación (FEX) obteniendo Δ EELI como la variable asociada al FEX. Se utilizaron las curvas de características operativas del receptor (ROC por sus siglas en inglés) para medir la capacidad discriminativa de la ecuación logística y determinar su significado clínico predictivo en términos de riesgo (*odds ratio*).

Modelo de redes neuronales artificiales

Posteriormente se utilizó una red neuronal artificial de tres capas (una capa de entrada, una capa oculta y una capa de salida) con un modelo de perceptrón multicapa para medir cada predictor del Δ EELI de FEX sobre la base de su significación estadística (*Figura 1*). La capa de entrada de la red neuronal artificial fue la misma que las variables ingresadas en el análisis de regresión logística. La capa de salida fue una variable binaria en la que una categoría representaba a los pacientes con FEX (1) y la otra representaba a los que no tuvieron

FEX (0). Todo el grupo fue asignado aleatoriamente a un grupo de entrenamiento (70%) y a un grupo de prueba (30%) a través de un generador de números aleatorios para el posterior análisis de la red neuronal artificial (Figura 2). La regla de aprendizaje utilizó la propagación hacia atrás del error, de modo que los pesos sinápticos se actualizaron después de cada registro de datos de entrenamiento. Las funciones de activación de ingreso y salida consistieron en tangente hiperbólica y softmax (ref), se obtuvo el Δ EELI ROI1 como la capa que presentó más pérdida durante la prueba de respiración espontánea.

La probabilidad predicha resultante de la regresión logística multivariable y la red neuronal (RN) para todo el grupo se utilizaron para obtener curvas ROC y un valor de corte de -7.5 de pérdida posterior a la PRE del Δ EELI ROI1. La sensibilidad, la especificidad y la eficiencia predictiva comparadas de los dos modelos se muestran en la Tabla 2.

DISCUSIÓN

Nuestros hallazgos sugieren que la pérdida en el Δ EELI posterior a la PRE, refleja los cambios de volumen pulmonar al final de la espiración considerada como un subrogado de la capacidad residual funcional al final de la espiración (CRF) y que puede estar asociado con fenómenos de reclutamiento/desreclutamiento. Predominantemente en Δ EELI ROI1 posterior al término de la PRE reflejan mayores tasas de fracaso en el retiro de la ventilación mecánica. Además, la curva ROC indica alta sensibilidad y especificidad del Δ EELI ROI1 para predecir fracaso de la extubación.

Nuestros resultados son similares a los reportados por Longhini y colaboradores¹³ en un estudio de 78 pacientes analizados mediante TIE; en comparación

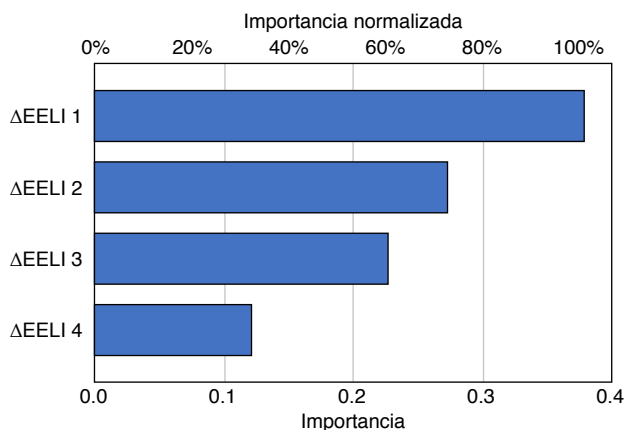


Figura 2: Importancia del Δ EELI (impedancia pulmonar al final de la espiración), por áreas de interés: 1, 2, 3 y 4 para la clasificación de éxito o fracaso de la extubación de acuerdo a la red neuronal utilizada.

Tabla 2: Desempeño predictivo de los modelos de inteligencia artificial.

	Red neuronal		Regresión logística	
	Éxito	Fracaso	Éxito	Fracaso
Sensibilidad	0.850	0.780	0.800	0.700
Especificidad	0.750	0.500	0.650	0.450
AUC ROC	0.817	0.810	0.730	0.715

AUC = área bajo la curva (Area Under the Curve). ROC = característica operativa del receptor (Receiver Operating Characteristic).

con los pacientes que tuvieron éxito en el retiro de la ventilación mecánica, los pacientes que fallaron se caracterizaron por una mayor pérdida temprana en el Δ EELI durante la PRE. Bickenbach y colaboradores¹⁴ también informaron el fracaso en la PRE con la pérdida de Δ EELI a los 15 minutos de inicio de PRE con una PRE en pieza en T.

Lima y colaboradores¹⁵ reportaron un descenso significativo y progresivo en el Δ EELI en aquellos pacientes que fracasaron a la PRE durante una prueba de pieza en T, a diferencia de los pacientes sometidos a PRE con ventilación con presión soporte en los cuales no obtuvieron diferencias de variación de Δ EELI independientemente del resultado del retiro de la VM, lo cual sugiere una despresurización pulmonar abrupta de los pacientes sometidos a PRE en pieza en T. Igual que nuestros resultados, observaron una pérdida de Δ EELI mayor al término de 30 minutos de PRE.

En una UCI polivalente, Wisse y asociados¹⁶ reportaron en 23 pacientes un descenso del Δ EELI durante la PRE, la cual no tuvo recuperación a su nivel basal después de reiniciar la VM, lo que refleja una caída en el volumen pulmonar al final de la espiración.

CONCLUSIONES

Los pacientes que son sometidos a una PRE presentan cambios en la capacidad residual funcional asociada a pérdida del reclutamiento de las áreas ventiladas previamente en la VM. Con el advenimiento de la TIE, estos cambios pueden ser monitorizados de manera dinámica y a la cabecera del paciente en tiempo real, ofreciendo una herramienta pronóstica en sujetos con alto riesgo de fracaso al retiro de la ventilación mecánica. Hasta donde tenemos información, nuestro estudio es el primero en determinar los cuadrantes del Δ EELI en pacientes con patología respiratoria, que están asociados al fracaso del retiro de la VM; sin embargo, nuestros resultados necesitan ser replicados en una población más extensa. Por otro lado, se trata del primer estudio en el que se utilizaron dos algoritmos de inteligencia artificial RL y RN para predecir el éxito o fracaso de la extubación.

REFERENCIAS

1. Akella P, Voigt LP, Chawla S. To wean or not to wean: A practical patient focused guide to ventilator weaning. *J Intensive Care Med.* 2022;37(11):1417-1425. doi: 10.1177/08850666221095436.
2. Macintyre NR. Evidence-based assessments in the ventilator discontinuation process. *Respir Care.* 2012;57(10):1611-1618. doi: 10.4187/respcare.02055.
3. Alía I, Esteban A. Weaning from mechanical ventilation. *Crit Care.* 2000;4(2):72-80. doi: 10.1186/cc660.
4. Boles J-M, Bion J, Connors A, Herridge M, Marsh B, Melot C, et al. Weaning from mechanical ventilation. *Eur Respir J.* 2007;29(5):1033-1056. doi: 10.1183/09031936.00010206.
5. Heunks LM, van der Hoeven JG. Clinical review: the ABC of weaning failure--a structured approach. *Crit Care.* 2010;14(6):245. doi: 10.1186/cc9296.
6. Geiseler J, Westhoff M. Weaning von invasiver Beatmung. *Med Klin Intensivmed Notfmed.* 2021;116(8):715-726. doi: 10.1007/s00063-021-00858-5.
7. Rose L. Strategies for weaning from mechanical ventilation: a state of the art review. *Intensive Crit Care Nurs.* 2015;31(4):189-195. doi: 10.1016/j.iccn.2015.07.003.
8. Teschner E, Imhoff M. Tomografía de impedancia eléctrica: la monitorización de la ventilación regional hecha realidad. *Dräger Medical GmbH.* 2011.
9. Wang G, Zhang L, Li B, Niu B, Jiang J, Li D, et al. The application of electrical impedance tomography during the ventilator weaning process. *Int J Gen Med.* 2021;14:6875-6883. doi: 10.2147/ijgm.s331772.
10. Riera J, Riu PJ, Casan P, Masclans JR. Tomografía de impedancia eléctrica en la lesión pulmonar aguda. *Med Intensiva.* 2011;35(8):509-517. doi: 10.1016/j.medin.2011.05.005.
11. Shi Y, Yang Z, Xie F, Ren S, Xu S. The research progress of Electrical Impedance Tomography for lung monitoring. *Front Bioeng Biotechnol.* 2021;9:726652. doi: 10.3389/fbioe.2021.726652.
12. Bickenbach J, Czaplik M, Polier M, Marx G, Marx N, Dreher M. Electrical impedance tomography for predicting failure of spontaneous breathing trials in patients with prolonged weaning. *Crit Care.* 2017;21(1):177. doi: 10.1186/s13054-017-1758-2.
13. Longhini F, Maugeri J, Andreoni C, Ronco C, Bruni A, Garofalo E, et al. Electrical impedance tomography during spontaneous breathing trials and after extubation in critically ill patients at high risk for extubation failure: a multicenter observational study. *Ann Intensive Care.* 2019;9(1):88. doi: 10.1186/s13613-019-0565-0.
14. Bachmann MC, Morais C, Bugedo G, Bruhn A, Morales A, Borges JB, et al. Electrical impedance tomography in acute respiratory distress syndrome. *Crit Care.* 2018;22(1):263. doi: 10.1186/s13054-018-2195-6.
15. Lima JNG, Fontes MS, Szmuszkowicz T, Isola AM, Maciel AT. Electrical impedance tomography monitoring during spontaneous breathing trial: physiological description and potential clinical utility. *Acta Anaesthesiol Scand.* 2019;63(8):1019-1027. doi: 10.1111/aas.13383.
16. Wisse JJ, Goos TG, Jonkman AH, Somhorst P, Reiss IKM, Endeman H, et al. Electrical impedance tomography as a monitoring tool during weaning from mechanical ventilation: an observational study during the spontaneous breathing trial. *Respir Res.* 2024;25(1):179. doi: 10.1186/s12931-024-02801-6.

Relación de conflicto de intereses: los autores declaran no tener ningún tipo de conflicto de intereses.

Patrocinios: los autores declaran no haber recibido patrocinio para la realización del estudio.

Correspondencia:

Ibzan Jahzeel Salvador Ibarra

E-mail: ibzjah@gmail.com