



Evaluación del poder mecánico como predictor de falla en el retiro de la ventilación mecánica en pacientes críticos hospitalizados en la Unidad de Cuidados Intensivos

Assessment of mechanical power as a predictor of failure to wean mechanical ventilation in critical patients hospitalized in the Intensive Care Unit

Avaliação da potência mecânica como preditor de falha no desmame da ventilação mecânica em pacientes em estado crítico internados na Unidade de Terapia Intensiva

Pablo Alfonso Aguirre Ríos,* Karen Sarai Martínez Romero,* Christian Ramírez Barba*

RESUMEN

Introducción: el retiro de la ventilación mecánica (*weaning*) es objetivo del intensivista y aún con los avances científicos, la predicción del resultado es difícil. Autores han demostrado el efecto de retardar la continuación del *weaning* sobre la mortalidad y su resultado y la presencia de complicaciones por la ventilación mecánica (VM) prolongada. El riesgo de lesión pulmonar adquirida por la ventilación mecánica (VALI, por sus siglas en inglés) es mayor en relación con el tiempo de VM y es proporcional al resultado obtenido en la monitorización mecánica por el modo ventilatorio establecido. Lo anterior se presenta como un exceso de trabajo respiratorio condicionado por el flujo. Relacionado al VALI, se identificó a *driving pressure* y poder mecánico como métodos matemáticos que incluyen las variables de monitorización mecánica y determinan un valor que se asocia de manera directa y con poder estadístico para la identificación de daño. Autores correlacionaron los valores del PM con la mortalidad, observando que éste, generado por una ventilación en modalidad espontánea en ventilación asistoproporcional en una prueba de ventilación espontánea (PVE), tuvo impacto en el retiro de la ventilación mecánica exitoso en comparación con pacientes que mantuvieron una modalidad mandatoria continua. Sin embargo, no fue posible asociar el mismo punto de corte como predictor de éxito del *weaning*, por lo que se optó por desarrollar esta investigación y encontrar una posible asociación del valor de poder mecánico obtenido con el desenlace de la PVE.

Objetivo: evaluar el poder mecánico como predictor de falla en el retiro de la ventilación mecánica en pacientes críticos hospitalizados en la Unidad de Cuidados Intensivos.

Material y métodos: tipo de estudio: cohorte retrospectivo. Fue evaluado por el Comité de Ética e Investigación del Hospital de Especialidades del Centro Médico Nacional de Occidente (CMNO). Se generó curva ROC obteniendo punto de corte de la variable PM con mejor índice de Youden y con base en los resultados de la prueba de retiro de la ventilación se dividieron en dos grupos para el análisis. Como éxito y fracaso. Se utilizó estadística descriptiva para las variables cualitativas. Para la normalidad se utilizó la prueba Kolmogórov-Smirnov. Se calculó sensibilidad, especificidad y valores predictivos del poder mecánico. Estimación de riesgo (razones de probabilidad e intervalos de confianza 95%). La significancia estadística se estableció como $p < 0.05$.

Resultados: se realizó el análisis de una muestra de 63 pacientes ingresados en la UCI del CMNO que cumplieron los criterios de inclusión, documentándose un desenlace exitoso de la prueba de retiro de la VM en 85.7% (54). Se realizó curva ROC, obteniendo punto de corte de 8.10 Jules/min, rendimiento por índice de Youden de 0.537, con un AUC de 0.690. Sensibilidad de 66.7%, 1- especificidad de 13%, intervalo de confianza al 95% de 0.448-0.932 y una significancia estadística de 0.069. Se dicotomizó la variable PM en dos subgrupos, menor o igual a 8.10 J/min y mayor a 8.11 J/min y se obtuvo la sensibilidad del punto de corte de 87% y una especificidad de 66.7%, con un valor predictivo positivo (VPP) de 94% y un valor predictivo negativo (VPN) de 46.2%, 33.3% de falsos positivos y 12.9% de falsos negativos. Con una significancia exacta por Fisher

de 0.002. Correlación de Spearman $p = 0.000$. Prueba de Kolmogórov-Smirnov de 1.379 y una $p = 0.045$.

Conclusiones: el poder predictivo del poder mecánico promedio no es útil como predictor de éxito o falla en el retiro de la ventilación mecánica.

Palabras clave: poder mecánico, retiro de la ventilación mecánica, factor predictor de falla, paciente crítico.

ABSTRACT

Introduction: the weaning of mechanical ventilation is the objective of the intensivist and even with scientific advances, the prediction of the result is difficult. Authors have demonstrated the effect of delaying the continuation of weaning on mortality and its outcome and the presence of complications due to prolonged MV. The risk of VALI is greater in relation to the time of MV and is proportional to the result obtained in the mechanical monitoring by the established ventilation mode. This presents as a flow-related excess work of breathing. Related to VALI, driving pressure and mechanical power were identified as mathematical methods that include mechanical monitoring variables and determine a value that is directly associated with statistical power for damage identification. Authors correlated PM values with mortality, observing that this, generated by ventilation in spontaneous mode in assist-proportional ventilation in a EVP, had an impact on the successful withdrawal of mechanical ventilation compared to patients who maintained a continuos mandatory mode. However, it was not possible associate the same cohort point as a predictor of weaning success, so it was decided to develop this research and find a possible association of the mechanical power value obtained with de EVP outcome.

Objective: to evaluate the mechanical power as a predictor of failure in the weaning of mechanical ventilation in critical patients hospitalized in the intensive care unit of the Centro Médico Nacional de Occidente.

Material and methods: a retrospective cohort study was carried out. It was evaluated by the ethics and research committee of the CMNO Hospital de Especialidades. A ROC curve was performed, obtaining a cohort point for the MP variable with the best Youden index and, based on the results of the weaning, they were divided into two groups for analysis. Like success and failure, descriptive statistic were used for qualitative variables. For normality, the Kolmogorov-Smirnov test was used. Sensitivity, specificity and predictive values of mechanical power were calculated. Risk estimate (likelihood ratios and 95% confidence intervals). Statistical significance was established as $p < 0.05$.

Results: we analysed a sample of 63 patients admitted to the ICU of CMNO who met the inclusion criteria, documenting a successful outcome of the MV weaning test in 85.7% (54). We performed a ROC curve, obtaining a cohort point of 8.10 J/min, perform a by Youden index of 0.537, with an AUC of 0.690. Sensitivity of 66.7%, 1-specificity of 13%, confidence interval at 95% of 0.448-0.932 and a statistical significance of 0.069. The MP variable was dichotomized into two subgroups, less than or equal to 8.10 J/min and greater than 8.11 J/min, and a cohort point sensitivity of 87% and a specificity of 66.7% were obtained, with a PPV of 94% and NPV of 46.2%, 33.3% false positives and 12.9% false negatives. With a Fisher exact significance of 0.002. Spearman's correlation $p = 0.000$. Kolmogorov-Smirnov test of 1.379 and $p = 0.045$.

Conclusions: the predictive power of the average mechanical power is not useful as a predictor of success or failure in weaning from mechanical ventilation.

Keywords: mechanical power, weaning of the mechanical ventilation, failure predictor, critical patient.

RESUMO

Introdução: a retirada da ventilação mecânica (weaning) é objetivo do intensivista e mesmo com os avanços científicos, a previsão do resultado é difícil. Autores têm demonstrado o efeito de retardar a continuação do weaning sobre a mortalidade e seu resultado e a presença de complicações por ventilação mecânica (VM) prolongada. O risco de lesão pulmonar adquirida por ventilação mecânica (VALI, por suas siglas em inglês) é maior em relação ao tempo de VM e é proporcional ao resultado obtido na monitorização mecânica pelo modo ventilatório estabelecido. Isto se apresenta como um excesso de trabalho respiratório condicionado pelo fluxo. Relacionado ao VALI, a pressão de empurrar e o poder mecânico foram identificados como métodos matemáticos que incluem as variáveis de monitorização mecânica e determinam um valor que se associa de maneira direta e com poder estatístico para a identificação de dano. Os autores correlacionaram os valores da PM com a mortalidade, observando que este, gerado por ventilação em modalidade espontânea em ventilação assistoproporcional em uma prova de ventilação espontânea (PVE), teve impacto no retiro de ventilação mecânica exitoso em comparação com pacientes que mantiveram uma modalidade mandatória contínua. No entanto, não foi possível associar o mesmo ponto de corte como preditor de sucesso do weaning, por isso optou-se por desenvolver esta pesquisa e encontrar uma possível associação do valor de poder mecânico obtido com o desenlace da PVE.

* Hospital de Especialidades del Centro Médico Nacional de Occidente. México.

Recibido: 02/09/2022. Aceptado: 07/09/2022.

Citar como: Aguirre RPA, Martínez RKS, Ramírez BC. Evaluación del poder mecánico como predictor de falla en el retiro de la ventilación mecánica en pacientes críticos hospitalizados en la Unidad de Cuidados Intensivos. Med Crit. 2023;37(3):178-185. <https://dx.doi.org/10.35366/111292>

www.medigraphic.com/medicinacritica

difícil. Autores demonstraram o efeito de retardar a continuação do weaning sobre a mortalidade e seu desfecho e a presença de complicações decorrentes da VM prolongada. O risco de VALI é maior em relação ao tempo em VM e é proporcional ao resultado obtido na monitorização mecânica para o modo ventilatório estabelecido. Isso se apresenta como excesso de trabalho respiratório causado pelo fluxo. Em relação ao VALI, a driving pressure e a potência mecânica foram identificadas como métodos matemáticos que incluem variáveis de monitoramento mecânico e determinam um valor diretamente associado e com poder estatístico para identificação de danos. Os autores correlacionaram os valores de PM com a mortalidade, observando que a mortalidade, gerada pela ventilação espontânea na ventilação assist-proporcional em PVE, teve impacto no desmame bem-sucedido da ventilação mecânica em comparação com pacientes que mantiveram um modo mandatório contínuo. Porém, não foi possível associar o mesmo ponto de corte como preditor do sucesso do weaning, portanto, optou-se por desenvolver esta pesquisa e encontrar uma possível associação do valor da potência mecânica obtida com o resultado do PVE.

Objetivo: avaliar a potência mecânica como preditor de falha na retirada da ventilação mecânica em pacientes em estado crítico internados em Unidade de Terapia Intensiva.

Material e métodos: tipo de estudio: coorte retrospectiva. Foi avaliado pelo comitê de ética e pesquisa do Hospital de Especialidades CMNO. Foi gerada a curva ROC, obtendo-se o ponto de corte da variável PM com melhor índice de Youden e com base nos resultados do teste de retirada da ventilação, foram divididos em dois grupos para análise. Como o sucesso e o fracasso. Estatística descritiva foi utilizada para as variáveis qualitativas. Para normalidade, utilizou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov. Calculou-se sensibilidade, especificidade e valores preditivos de potência mecânica. Estimativa de risco (razões de probabilidade e intervalos de confiança de 95%). A significância estatística foi estabelecida como $p < 0.05$.

Resultados: foi realizada a análise de uma amostra de 63 pacientes internados na UTI do CMNO que atenderam aos critérios de inclusão, documentando o sucesso do teste de retirada da VM em 85.7% (54). Realizamos a curva ROC obtendo ponto de corte de 8.10 Jules/min, rendimento pelo índice de Youden de 0.537, com AUC de 0.690. Sensibilidade de 66.7%, 1-Especificidade de 13%, intervalo de confiança de 95% de 0.448-0.932 e significância estatística de 0.069. A variável PM foi dicotomizada em dois subgrupos, menor ou igual a 8.10 J/min e maior que 8.11 J/min, obtendo-se sensibilidade de corte de 87% e especificidade de 66.7%, com VPP de 94% e VPN de 46.2%, 33.3% falsos positivos e 12.9% falsos negativos. Com uma significância exata por Fisher de 0.002. Correlação de Spearman $p = 0.000$. Teste de Kolmogorov-Smirnov de 1.379 e um p de 0.045.

Conclusões: o poder preditivo da potência mecânica média não é útil como preditor de sucesso ou insucesso no desmame da ventilação mecânica.

Palavras-chave: potência mecânica, suspensão da ventilação mecânica, fator preditor de falha, paciente em estado crítico.

Abreviaturas:

AUC = área bajo la curva.

CMNO = Centro Médico Nacional de Occidente.

ECG = escala de coma de Glasgow.

EPOC = enfermedad pulmonar obstructiva crónica.

FiO₂ = fracción inspirada de oxígeno.

FR = frecuencia respiratoria.

IMC = índice de masa corporal.

IOT = intubación orotraqueal.

IRA = insuficiencia respiratoria aguda.

IRC = insuficiencia respiratoria crónica.

PaCO₂ = presión parcial de dióxido de carbono.

PEEP = presión positiva al final de la inspiración.

Pplat = presión meseta.

PVE = prueba de ventilación espontánea.

SV = soporte ventilatorio.

TET = tubo endotraqueal.

UCI = unidad de cuidados intensivos.

VALI = lesión pulmonar asociada a la ventilación mecánica.

VM = ventilación mecánica.

VPN = valor predictivo negativo.

VPP = valor predictivo positivo.

Vt = volumen tidal.

Vti = volumen corriente.

WOB = trabajo respiratorio.

INTRODUCCIÓN

El retiro de la ventilación mecánica es, en esencia, uno de los pilares fundamentales de acción del médico intensivista y aún en la actualidad, con todos los avances científicos, continúa siendo un reto la predicción de su resultado.

El retiro de la ventilación mecánica o por su denominación internacional *weaning*, según Boles y colaboradores, es un elemento esencial y universal en el cuidado de los pacientes críticos intubados que reciben ventilación mecánica (VM) y que incluye todo el proceso de liberar al paciente del soporte ventilatorio y del tubo endotraqueal (TET), incluyendo aspectos relevantes sobre el cuidado terminal.¹

En abril de 2005, durante la Conferencia Internacional de Consenso de Medicina de Cuidados Intensivos, en Hungría, se actualizó la definición de retiro de la ventilación mecánica. Misma que es utilizada hasta la actualidad y con base en los estudios de Tobin, se establecieron seis estadios en el proceso de retiro de la ventilación mecánica: 1) tratamiento de la insuficiencia respiratoria aguda, 2) sospecha de que el retiro de la ventilación mecánica es posible, 3) preparación para el retiro de la ventilación mecánica, 4) prueba de ventilación espontánea, 5) extubación, 6) reintubación.²

Acorde a lo anterior, podría aseverarse que el proceso de retiro de la ventilación mecánica inicia justamente en el momento en que se identifica la necesidad de iniciar soporte ventilatorio para corregir una causa de enfermedad; para Federico Gordo Vidal, las indicaciones inevitables para intubación orotraqueal (IOT) y soporte ventilatorio (SV) son: a) insuficiencia respiratoria aguda (IRA) o insuficiencia respiratoria crónica (IRC) agudizada, b) lesión neurológica, c) paro cardiorrespiratorio, 5) protección de la vía aérea, 6) bloqueo neuromuscular y 7) quirúrgicas.³

Según diversos autores, el elemento primordial en el resultado de la conclusión del cuidado del paciente crítico con SV, consiste en reconocer que el retardo en el pase de la etapa 2, la sospecha de que el retiro de la ventilación mecánica es posible, al comienzo de la etapa 3, la evaluación de la preparación para la extubación, es una causa directa negativa sobre un resultado exitoso, tal como lo demostraron Esteban y colaboradores,⁴ «la mortalidad incrementa con el aumento de la duración de la ventilación mecánica».

El efecto, de retardar la continuación de la prueba de retiro de la ventilación mecánica sobre la mortalidad y su resultado como exitoso o fallido, también podría ser justificado en gran medida por la presencia de complicaciones asociadas a la VM prolongada, tales como

neumonía asociada a la ventilación mecánica, trauma de la vía aérea y la sospecha o presencia de lesión pulmonar asociada a la ventilación mecánica (VALI).⁵

Otro efecto importante a considerarse en el retardo del retiro de la ventilación mecánica es el costo de atención, que oscila aproximadamente en dos mil dólares por día en los Estados Unidos⁶ y la ocupación y consumo de recursos de las unidades de cuidados intensivos (UCI), que se aproxima al 37% del total.⁷

En diversos estudios, el resultado de retiro de la ventilación mecánica fallido o «weaning fallido», según la literatura universal, está definido ya sea como el fracaso de la prueba de ventilación espontánea o como la necesidad de reintubación dentro de las 48 horas posteriores a la extubación;⁸ sin embargo, la definición más actual de fracaso contempla la evaluación de la presencia de los siguientes elementos: 1) falla de la prueba de ventilación espontánea, 2) reintubación y/o regreso al soporte ventilatorio después de una extubación exitosa o 3) muerte en las 48 horas siguientes a la extubación.¹

La falla en la prueba de ventilación espontánea (PVE) se caracteriza por la presencia de a) indicadores objetivos como taquipnea, taquicardia, hipertensión, hipotensión, hipoxemia o acidosis, arritmia; y b) indicadores subjetivos como la presencia de agitación o dificultad respiratoria, disminución del estado de alerta, diaforesis y evidencia de aumento del esfuerzo respiratorio.⁹

Una extubación fallida está asociada a una mayor tasa de mortalidad, ya sea seleccionando pacientes de alto riesgo o induciendo efectos nocivos como aspiración, atelectasia y neumonía.¹⁰ Contrastantemente, se ha observado que la mortalidad no aumenta de manera significativa cuando el fracaso de la extubación está relacionado con la obstrucción de la vía aérea superior (uno de cada nueve pacientes, 11%), pero aumenta notablemente en los otros casos (19 de 52 pacientes, 36%).¹¹

La tasa de falla del retiro de la ventilación espontánea después de una PVE se ha reportado en diversos estudios entre 26-42%.¹² Probablemente, esta variación tan amplia en los estudios se deba a las diferentes definiciones de «weaning fallido», especialmente a diferencias en los índices subjetivos usados para definir falla de la PVE o por la variación de pacientes estudiados. Por ejemplo, la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) es considerada como un factor de riesgo independiente para incrementar la duración del *weaning* y un «weaning fallido». Vallverdú y colaboradores reportaron que existió falla del *weaning* en 61% de los pacientes con EPOC, en 41% con pacientes neurológicos y 38% en pacientes con hipoxia.¹³ Por otro lado Coplin y asociados identificaron que 80% de los pacientes con lesión cerebral y una escala de coma de Glasgow (ECG) menor a 8 fueron extubados con éxito.¹⁴

Se han considerado otros predictores de falla en la extubación como exceso de secreciones, presión par-

cial de dióxido de carbono (PaCO_2) mayor de 45 mmHg, duración de la ventilación mecánica mayor de 72 horas, trastornos de las vías aéreas superiores y un intento de retiro de la ventilación mecánica fallido previo, con buena correlación clínica y estadísticamente significativos.¹⁵

Un retiro de la ventilación mecánica exitoso o «*weaning exitoso*» está definido como la extubación y ausencia de soporte ventilatorio después de 48 horas del retiro del tubo endotraqueal.¹

TIPOS DE RETIRO DE LA VENTILACIÓN MECÁNICA

Existe una nueva clasificación del tipo de retiro de la ventilación mecánica en pacientes de acuerdo con la dificultad y tiempo del proceso de *weaning*, propuesto por Brochard:¹⁶

Grupo 1, «weaning simple»: incluye pacientes que superaron la PVE inicial y fueron extubados exitosamente de manera inicial. El pronóstico de este grupo fue bueno, con una mortalidad en la UCI menor de 5%¹³ y en hospital de 12%.¹¹

Grupo 2, «weaning difícil»: incluye pacientes que requieren hasta tres PVE y más de siete días desde la primera PVE hasta completar exitosamente el retiro de la ventilación mecánica.

Grupo 3, «weaning prolongado»: incluye pacientes que requieren más de tres PVE y más de siete días de retiro de la ventilación mecánica después de la primera PVE.

¿Por qué fracasa un retiro de la ventilación mecánica?

La respuesta es más fácil de lo que podría intuirse. Derivado de la clasificación del tipo de *weaning* se han podido identificar factores asociados al fracaso y evolución del grupo 1 al grupo 2 categorizándose en grupos de enfermedades reversibles como: a) de origen respiratorio, b) por falla cardíaca, c) por incompetencia neuromuscular (central y periférica), d) anomalías neuromusculares de enfermedad crítica, e) factores neuropsicológicos y f) trastornos metabólicos y endocrinos.¹

En este estudio, nos enfocaremos a entender las causas de origen respiratorio como factores predisponentes al fracaso de la desvinculación de la ventilación mecánica.

Es conocido a través de las publicaciones científicas y del *expertise* de muchos intensivistas, que el retiro de la VM obedece a la observación de que ya se ha corregido la causa por la cual se inició el manejo, por lo tanto, el tiempo transcurrido entre el inicio y la evolución favorable es independiente en cada paciente y de cada condición fisiopatológica.

La VM convierte la presión negativa fisiológica para la movilización de aire a través de los pulmones a una

presión positiva que no es inherente de daño,³ el flujo movilizado gracias a esta presión impacta directamente proporcional sobre la reología pulmonar, sometiéndolo a un estrés continuo y con el paso del tiempo a daño si no se garantizan adecuadamente las medidas de protección pulmonar.

El éxito del retiro de la ventilación mecánica dependerá de la capacidad de las vías respiratorias y de su componente muscular para tolerar la carga que se aplica. La carga respiratoria está en función de la resistencia y de la distensibilidad.¹⁷

La resistencia normal del sistema respiratorio es menor a 5 cmH₂O. La distensibilidad estática normal es de 0.06 a 0.1 L/cmH₂O. Elevaciones en la distensibilidad pulmonar pueden comunicar al clínico de un riesgo potencial de falla y debe confirmar la presión meseta (Pplat) generada para el volumen corriente (Vti) programado o generado, pues se ha asociado a incremento del trabajo respiratorio (WOB) cuando se encuentra en rangos mayores o iguales a 30 cmH₂O en asociación a elevaciones de la presión máxima mayores o iguales a 25 cmH₂O, condicionando VALI.¹⁸

Como ya se mencionó previamente en este mismo documento, el riesgo de VALI es mayor en relación al tiempo de ventilación mecánica, pero a la vez, también es directamente proporcional al resultado obtenido en la monitorización mecánica por el modo ventilatorio establecido, pudiendo presentarse alto riesgo de barotrauma si se cumplen las condiciones anteriormente descritas de presión meseta y presión máxima, de volutrauma, si no se optimiza un volumen corriente, de biotrauma si se mantiene un requerimiento de fracción inspirada de oxígeno (FiO₂) menor de 50% y en combinación con una presión positiva al final de la espiración (PEEP) acorde al índice de masa corporal (IMC), existe riesgo de atelectrauma.¹⁹

Un exceso de trabajo respiratorio puede ser secundario a configuraciones inadecuadas del ventilador mecánico (por ejemplo, velocidad de flujo inspiratorio o configuración de activación de flujo inadecuadas) que dan como resultado una asincronía del ventilador.²⁰ Los componentes de dicha asincronía incluyen el tiempo de anticipación entre el inicio del esfuerzo inspiratorio y el inicio del suministro de flujo, el esfuerzo respiratorio después del inicio del flujo, la activación ineficaz, el esfuerzo respiratorio antes del cambio de la inflación mecánica a la exhalación y el efecto de una PEEP intrínseca alta (que representa una carga al umbral).²¹

A partir de los estudios de Gattinoni en Italia y Amato en Brasil en relación al daño del tejido pulmonar inducido por la ventilación mecánica se puede conocer la importancia de la presión de conducción o driving pressure, acorde a la literatura internacional y del poder mecánico como dos métodos matemáticos que incluyen las variables de monitorización mecánica y determinar

un valor que se asocie de manera directa y con poder estadístico significativo para identificar dicho daño.²²

El poder mecánico representa la energía mecánica multiplicada por la frecuencia respiratoria y refleja la cantidad de energía aplicada al sistema respiratorio por minuto durante la ventilación mecánica. Es una variable sumaria que incluye todas las causas potenciales de lesión pulmonar inducida por ventilador.²²

El principio radica en la no homogeneidad de las características mecánicas del pulmón y la adición de energía administrada al mismo por el ventilador mecánico.²³ La propuesta matemática se expresa por la fórmula siguiente:

$$\text{Poder mecánico} = 0.098 \text{ FR Vt (Ppico-1/2ΔPaw)}$$

Donde,

- 0.098 es una constante de conversión del resultado para obtenerlo en fuerza Joules.
- FR es la frecuencia respiratoria.
- Vt es el volumen tidal o volumen corriente movilizado por el ventilador mecánico y el paciente en cada respiración.
- Ppico es la presión máxima alcanzada en la vía respiratoria en cada ciclo respiratorio.
- 1/2ΔPaw es el resultado del producto de la presión al final de la espiración y la presión meseta.

Diversos estudios han correlacionado los valores del poder mecánico con la mortalidad, por ejemplo, en México, Gómez Ramírez y colaboradores determinaron el poder mecánico generado por una ventilación en modalidad espontánea en ventilación asisto-proporcional en una PVE en 60 pacientes y encontraron que 100% de ellos tuvo un retiro de la ventilación mecánica exitoso en comparación con pacientes que mantuvieron una modalidad mandatoria continua de VM y determinaron un punto de corte de $6.25 \pm 1.66 \text{ J/min}$ para mortalidad.²⁴ Sin embargo, no fue posible asociar el mismo punto de corte como predictor de éxito o fracaso del *weaning*, por lo que, se optó por desarrollar el presente protocolo de investigación y encontrar una posible asociación con el desenlace de la PVE.

Esta investigación se fundamenta en la búsqueda de respuestas para la predicción de un resultado exitoso del retiro de la ventilación mecánica en pacientes críticos, una de las poblaciones de enfermos que más índice de ocupación en terapia intensiva tiene y que mayor tiempo de hospitalización requiere, impactando directamente en la distribución de recursos humanos y económicos por lo que se hace imperativo encontrar fundamentos que apoyen el retiro temprano de la ventilación mecánica.

Por lo anterior y con base en los actuales descubrimientos de asociación de riesgo de lesión pulmonar

cuando se somete el pulmón a mayor trabajo respiratorio con la ventilación mecánica y con la posibilidad de medir este trabajo a través de fórmulas matemáticas que incluyan variables de control y resultado del modo ventilatorio implicado en el tratamiento del paciente, se hace pertinente iniciar un estudio para conocer, si la presencia de riesgo de lesión pulmonar impacta en el resultado del retiro de la ventilación mecánica y con ello poder establecer nuevas líneas de investigación en el manejo y prevención de este fenómeno que se adaptan a las condiciones de cada paciente.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó un estudio de cohorte retrospectivo, el cual fue sometido a evaluación y aprobación por el comité de ética local, obteniendo un visto bueno. El universo de estudio consistió en todos los expedientes de pacientes críticos hospitalizados en la Unidad de Cuidados Intensivos en el Centro Médico Nacional de Occidente «Lic. Ignacio García Téllez» que hubieran sido sometidos a retiro de la ventilación mecánica durante el periodo comprendido del 1 de junio al 31 de julio de 2022 y que cumplieran con los criterios de inclusión: ser paciente crítico que esté hospitalizado en la UCI y que haya logrado un desenlace de una prueba de retiro de la ventilación mecánica acorde a los criterios definidos por Boles y colaboradores. Que fueran mayores de 18 años y que contaran con derechohabiencia. Se excluyeron aquellos pacientes que fallecieran durante la prueba de retiro de la ventilación mecánica, o que se les realizara traqueostomía durante su estancia en la Unidad de Cuidados Intensivos previo al resultado de la primera prueba de retiro de la ventilación mecánica, aquellos a quienes se les retiró la ventilación mecánica en un tiempo menor a un día desde su ingreso y quienes cumplieran la categoría 2 y 3 de los criterios definidos por Boles y colaboradores. Se eliminaron aquellos pacientes con datos inconsistentes o que tuvieran pérdidas de información en su expediente.

La investigación consistió en cuatro fases: 1) solicitud de autorización y acceso a expedientes, 2) aplicación de los criterios de selección, 3) elaboración de la base de datos y análisis estadístico, y 4) publicación de resultados.

La variable dependiente que se consideró fue desenlace, que se entiende como la consecuencia final del proceso de retiro de la ventilación mecánica. La variable independiente fue el promedio del valor del poder mecánico obtenido de los días de ventilación mecánica desde el ingreso a UCI hasta el retiro de la ventilación mecánica en UCI. Se consideraron como variables interviniéntes a los días de ventilación mecánica, modo de ventilación mecánica, frecuencia respiratoria, presión de conducción; y como variables de confusión a la causa de la ventilación mecánica, la presencia de comorbilidades, relación entre el peso y la estatura por

encima del índice de masa corporal (IMC) de 25 kg/m², la edad y el sexo.

El resultado del desenlace del retiro de la ventilación mecánica se definió como «fallo», según Boles y colaboradores,¹ el cual se recabó directamente del expediente clínico.

El valor del poder mecánico se obtuvo a través de los registros clínicos durante todos los días de ventilación mecánica del paciente en estudio. Se logró calcular diariamente mediante la aplicación de la fórmula de Gattinoni, a partir de las variables registradas como presión meseta, frecuencia respiratoria y volumen corriente.

Se utilizaron estadísticas descriptivas y de frecuencia para resumir la demografía y las características iniciales de los pacientes.

Se realizó curva ROC obteniendo un punto de corte de la variable PM con mejor índice de Youden y con base en los resultados de la prueba de retiro de la ventilación se dividieron en dos grupos para el análisis. Como exitoso y fracaso. Las diferencias entre grupos de variables categóricas se analizaron mediante χ^2 o pruebas exactas de Fisher según fuera apropiado y para establecer un factor de riesgo. Las variables continuas se sometieron a prueba de normalidad de Kolmogórov-Smirnov para homogeneidad de la varianza y según la distribución estadística se utilizó la prueba t de Student o la U de Mann-Whitney para examinar las diferencias en estos parámetros. Se calculó sensibilidad, especificidad y valores predictivos del poder mecánico. Estimación de riesgo (razones de probabilidad e intervalos de confianza 95%). La significancia estadística se estableció como $p < 0.05$.

RESULTADOS

Se realizó el análisis de una muestra total de 63 pacientes de expedientes ingresados a la Unidad de Cuidados Intensivos del Centro Médico Nacional de Occidente que cumplieran con los criterios de inclusión, perteneciendo al género masculino un total de 55.6% (35). Con una media de 45 años. Días de ventilación mecánica con media de 4.48, para la frecuencia respiratoria de 15 respiraciones por minuto, presión de conducción (*driving pressure*) de 8.81 cmH₂O y media del poder mecánico de 6.64 J/min (*Tabla 1*).

Se encontró que dentro de las causas de inicio de la ventilación mecánica imperó la indicación por presencia de lesión neurológica en 57.1% (36), seguido de la atención y requerimiento de protección de la vía aérea en 22.2% (14) y por evento quirúrgico en 19% (12). Así como la presencia de comorbilidades presentes en 49.2% (31) y sobrepeso en 57.1% (36) (*Tabla 1*).

El modo de ventilación mecánica que prevaleció durante el último día de vigilancia de la estrategia fue la ventilación mandatoria continua, controlada por volumen en 87.3% de los pacientes (*Tabla 1*).

Se documentó la presencia de un desenlace exitoso de la prueba de retiro de la ventilación mecánica en 85.7% (54) (*Tabla 1*).

Una vez obtenidos los datos descriptivos y con base en la información descrita, se realizaron los análisis inferenciales correspondientes. Por medio de una curva ROC se obtuvo el punto de mayor sensibilidad y especificidad para la muestra encontrándose en 8.10 J/min con una sensibilidad de 66.7% y un valor de especificidad de 87% con un área bajo la curva (AUC) de 0.690, intervalo de confianza al 95% de 0.448-0.932 y una significancia estadística de 0.069. Se realizó ensayo estadístico con el índice de Youden de todas las coordenadas de la curva ROC y se corrobora este punto de corte como el de mejor rendimiento de la prueba diagnóstica al presentar un valor de 0.537 contrastado con el punto de corte propuesto en la información científica de 6.98 J/min, el cual obtuvo un rendimiento de 0.408 (*Figura 1*).

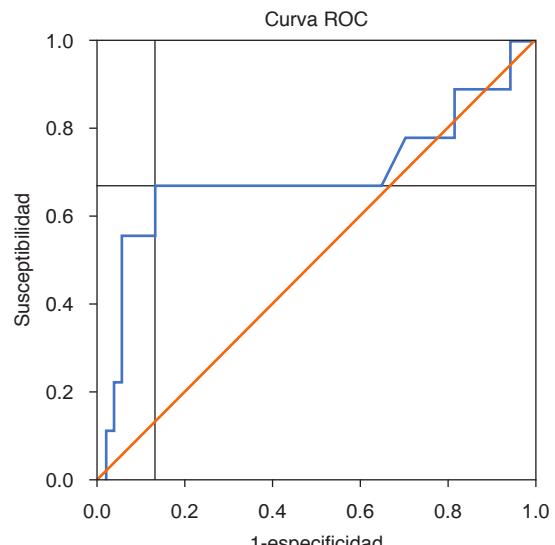
Posteriormente, se dicotomizó la variable poder mecánico en grupos que se encontraran menor o igual a 8.10 J/min y mayor a 8.11 J/min y por medio de tablas cruzadas se obtuvo la sensibilidad y especificidad del punto de corte para el desenlace del retiro de la ventilación mecánica. Se hizo evidente una sensibilidad de

Tabla 1: Características de los pacientes estudiados en la Unidad de Cuidados Intensivos (N = 63).

Característica	n (%)
Edad (años)*	45.35 (45.0 [18-85])
Sexo (hombres)	35 (55.6)
Índice de masa corporal*	28.5 (27.79 [20.28-46.92])
Sobrepeso (sí)	36 (57.1)
Presencia de comorbilidades (sí)	31 (49.2)
Razón de inicio de la ventilación mecánica	
Insuficiencia respiratoria aguda	1 (1.6)
Lesión neurológica	36 (57.1)
Protección de la vía aérea	14 (22.2)
Quirúrgica	12 (19.0)
Modalidad de ventilación mecánica el último día estudiado	
VMC Vc	55 (87.3)
VMC Pc	5 (7.9)
VMI Pc	1 (1.6)
VEC Pc	2 (3.2)
Días de ventilación mecánica*	4.48 (4.0 [1-16])
Frecuencia respiratoria*	15.59 (16.0 [12-22])
Presión de conducción (<i>driving pressure</i>)*	8.81 (8.0 [4-24])
Poder mecánico el día del retiro de la ventilación mecánica*	6.15 (5.3 [2.3-16.8])
Poder mecánico en promedio de todos los días ventilado*	6.64 (5.8 [2.6-16.8])
Desenlace, falla del retiro de la ventilación mecánica	9 (14.3)

VMC Vc = ventilación mandatoria continua controlada por volumen. VMC Pc = ventilación mandatoria continua controlada por presión. VMI Pc = ventilación mandatoria intermitente controlada por presión. VEC Pc = ventilación espontánea continua con presión soporte.

* Valores expresados en media (mediana [rango]).



Los segmentos diagonales son producidos por los empates

Figura 1: Curva ROC del valor predictivo de falla al retiro de la ventilación mecánica del promedio del poder mecánico.

87% y una especificidad de 66.7%, con un valor predictivo positivo (VPP) de 94% y un valor predictivo negativo (VPN) de 46.2%, 33.3% de falsos positivos y 12.9% de falsos negativos. Con una significancia exacta por Fisher de 0.002. Correlación de Spearman con una *p* = 0.000 basada en la aproximación normal y posteriormente, se toma la prueba de Kolmogórov por ser una muestra mayor de 50 pacientes con una *Z* de Kolmogórov-Smirnov de 1.379 y una *p* = 0.045 (*Tabla 2*).

Con la intención de contrastar los resultados con el punto de corte encontrado en estudios previos de 6.98 J/min, se realizó el mismo análisis estadístico previamente descrito en nuestra población de pacientes donde nuevamente se dicotomizó en dos subgrupos, aquellos con promedio de poder mecánico menor o igual a 6.68 J/min y mayor a 6.69 J/min realizándose ensayos de estadística inferencial con el resultado de la prueba de retiro de la ventilación mecánica. Encontrándose para este punto de corte una sensibilidad de 74.1% y especificidad de 66.7%, VPP de 93%, VPN 30%. Falsos positivos de 33.3% y falsos negativos de 25.9% (*Tabla 2*).

En el análisis de las variables independientes, no se encontró ninguna como factor predisponente al resultado de falla en el retiro de la ventilación mecánica mediante el análisis de la diferencia de medias ni en la obtención de la razón de momios (*Tabla 3*).

DISCUSIÓN

El poder mecánico, desde los inicios de su estudio y determinación de la fórmula que mejor representara la energía aplicada por el ventilador al sistema respiratorio

rio, ha generado información importante para optimizar los parámetros utilizados en la estrategia de ventilación y disminuir el riesgo de lesión pulmonar inducida por el ventilador.

Diversos estudios han buscado correlacionar el valor del poder mecánico con el resultado de la prueba de retiro de la ventilación mecánica, tal es el caso, en México, del estudio de Gómez Ramírez en 2018²³ quien encontró un punto de corte del poder mecánico de 6.98 J/min durante la prueba de ventilación espontánea que se asoció a éxito en el retiro de la ventilación mecánica.

Sin embargo, someter a un paciente a prueba de ventilación espontánea implica haber resuelto la causa por la cual se llevó a respiración mecánica y el cumplimiento de otros aspectos de su evolución clínica, sin tomar en cuenta los días que se mantuvo al paciente en asistencia respiratoria.

Por lo anterior, nuestro grupo de estudio consideró importante contrastar la evidencia hasta el momento con la utilidad de conocer la evolución del sistema respiratorio, medido por el poder mecánico en promedio de todos los días de ventilación mecánica y el resultado de la prueba de retiro de la ventilación mecánica, que se observa a 48 horas posterior a la decanulación según los criterios vigentes del consenso de Boles.¹

En el contexto de nuestro objetivo de estudio, se pudo corroborar que el poder mecánico no posee un valor adecuado para predecir un resultado final en nuestro medio hospitalario al obtener un AUC de 0.69; generándose un punto de corte mayor al propuesto por la literatura, se comprobó una mejor sensibilidad y especificidad que no alcanza la prueba perfecta. Sin embargo, con un mejor desempeño estadístico por índice de Youden que el de 6.68 J/min, con lo cual podríamos proponer que mantener un poder mecánico en metas de protección pulmonar durante toda la vigilancia de la ventilación mecánica de un paciente y que al final se

Tabla 2: Análisis inferencial para los puntos de corte del poder mecánico promedio como valor predictivo de falla al retiro de la ventilación mecánica.

Análisis inferencial	Punto de corte de 6.68 J/min	Punto de corte de 8.1 J/min
Razón de momios	5.71	13.42
IC 95%	1.258-25.962	2.719-66.33
p	0.015	0.00
Correlación de Spearman	0.015	0.00
Índice de Youden	40.8	53.7
Sensibilidad	74.1%	87%
Especificidad	66.7%	66.7%
VPP	93%	94%
VPN	30%	46.2%
Falsos negativos	25.9%	12.9%
Falsos positivos	33.3%	33.3%

IC = intervalo de confianza. p = significancia estadística. VPP = valor predictivo positivo. VPN = valor predictivo negativo.

Tabla 3: Diferencias de medias entre grupos con resultado exitoso y falla en el retiro de la ventilación mecánica.

Variables	Éxito	Falla	p
Edad (años)	44.15	52.56	0.157
Índice de masa corporal	28.30	29.68	0.468
Días de ventilación mecánica	4.20	6.11	0.140
Driving pressure	8.71	9.42	0.672
PM el último día de ventilación mecánica	6.30	8.68	0.069
PM promedio	6.30	8.68	0.069

PM = poder mecánico.

obtenga un promedio menor a 8.81 J/min, se consideraría un mejor predictor de éxito del retiro de la ventilación que 6.68 J/min; sin embargo, hace falta contrastar estos resultados con una muestra mayor para obtener un poder estadístico más importante.

CONCLUSIONES

El poder predictivo del poder mecánico promedio no es útil como predictor de éxito o falla en el retiro de la ventilación mecánica.

Una adecuada monitorización de las variables que mantengan un flujo adecuado, presiones pulmonares en metas de protección y que garanticen el menor riesgo de VALI podrían ser, hasta el momento, el mejor indicador de estrés pulmonar que garantice una adecuada tolerancia al retiro de la ventilación mecánica.

Obtener un punto de corte en valores como el poder mecánico promedio de la vigilancia de la ventilación mecánica podría ser de mayor utilidad al considerarse, cuando se obtenga una significancia estadística mejor, un parámetro más dentro de una escala pronóstica del retiro de la ventilación mecánica, lo cual abre la posibilidad de mayores estudios con relación a esto con la oportunidad para evaluar grupos controles que mantengan una estrategia rígida de control del poder mecánico meta, menor de 12 J/min, según Marinni, Amato y Gattinoni; y una estrategia liberal que ofrezca un campo de acción mejor que complemente la respuesta a la pregunta de investigación.

REFERENCIAS

1. Boles JM, Bion J, Connors A, Herridge M, Marsh B, Melot C, et al. Weaning from mechanical ventilation. *Eur Respir J* [Internet]. 2007;29(5):1033-1056. Available in: <http://dx.doi.org/10.1183/09031936.00010206>
2. Tobin M. Role and interpretation of weaning predictors [Internet]. Hines, United States of America: International Consensus Conference in Intensive Care Medicine; 2005. Available in: <https://www.ers-education.org/ir/show-details/?idP=36395>
3. Gordo Vidal F, Medina Villanueva A, Abella Álvarez A, Lobo Valbuena B, Fernández Ureña S, Hermosa Gerbald C. Fundamentos en ventilación mecánica del paciente crítico. España: Teselaediciones; 2020.
4. Esteban A, Anzueto A, Frutos F, Alía I, Brochard L, Stewart TE, et al. Characteristics and outcomes in adult patients receiving

mechanical ventilation: a 28-day international study. *JAMA* [Internet]. 2002;287(3):345-355. Available in: <http://dx.doi.org/10.1001/jama.287.3.345>

5. Tobin MJ. Mechanical ventilation. *N Engl J Med* [Internet]. 1994;330(15):1056-1061. Available in: <http://dx.doi.org/10.1056/NEJM199404143301507>
6. Cooper LM, Linde-Zwirble WT. Medicare intensive care unit use: analysis of incidence, cost, and payment. *Crit Care Med* [Internet]. 2004;32(11):2247-2253. Available in: <http://dx.doi.org/10.1097/01.ccm.0000146301.47334.bd>
7. Wagner DP. Economics of prolonged mechanical ventilation. *Am Rev Respir Dis* [Internet]. 1989;140(2 Pt 2):S14-S18. Available in: http://dx.doi.org/10.1164/ajrccm/140.2_Pt_2.S14
8. Esteban A, Frutos F, Tobin MJ, Alía I, Solsona JF, Valverdú I, et al. A comparison of four methods of weaning patients from mechanical ventilation. Spanish Lung Failure Collaborative Group. *N Engl J Med* [Internet]. 1995;332(6):345-350. Available in: <http://dx.doi.org/10.1056/NEJM199502093320601>
9. Vallverdú I, Calaf N, Subirana M, Net A, Benito S, Mancebo J. Clinical characteristics, respiratory functional parameters, and outcome of a two-hour T-piece trial in patients weaning from mechanical ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* [Internet]. 1998;158(6):1855-1862. Available in: <http://dx.doi.org/10.1164/ajrccm.158.6.9712135>
10. Torres A, Gatell JM, Aznar E, el-Ebiary M, Puig de la Bellacasa J, González J, et al. Re-intubation increases the risk of nosocomial pneumonia in patients needing mechanical ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* [Internet]. 1995;152(1):137-141. Available in: <http://dx.doi.org/10.1164/ajrccm.152.1.7599812>
11. Esteban A, Alía I, Tobin MJ, Gil A, Gordo F, Vallverdú I, et al. Effect of spontaneous breathing trial duration on outcome of attempts to discontinue mechanical ventilation. Spanish Lung Failure Collaborative Group. *Am J Respir Crit Care Med* [Internet]. 1999;159(2):512-518. Available in: <http://dx.doi.org/10.1164/ajrccm.159.2.9803106>
12. Brochard L, Rauss A, Benito S, Conti G, Mancebo J, Rekik N, et al. Comparison of three methods of gradual withdrawal from ventilatory support during weaning from mechanical ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* [Internet]. 1994;150(4):896-903. Available in: <http://dx.doi.org/10.1164/ajrccm.150.4.7921460>
13. Marini JJ, Smith TC, Lamb V. Estimation of inspiratory muscle strength in mechanically ventilated patients: the measurement of maximal inspiratory pressure. *J Crit Care* [Internet]. 1986;1(1):32-38. Available in: [http://dx.doi.org/10.1016/s0883-9441\(86\)80114-9](http://dx.doi.org/10.1016/s0883-9441(86)80114-9)
14. Coplin WM, Pierson DJ, Cooley KD, Newell DW, Rubenfeld GD. Implications of extubation delay in brain injured patients meeting standard weaning criteria. *Am J Respir Crit Care Med*. 2000;161:1530-1536.
15. Carlucci A, Richard JC, Wysocki M, Brochard L. Noninvasive versus conventional mechanical ventilation. An epidemiologic survey. *Am J Respir Crit Care Med*. 2001;163:874-880.
16. Brochard L. Pressure support is the preferred weaning method [Internet]. Creteil, France: International Consensus Conference in Intensive Care Medicine; 2005. Available in: <https://www.ers-education.org/ir/show-details/?idP=36396>
17. Bouadma L, Lellouche F, Cabello B, Taillé S, Mancebo J, Dojat M, et al. Computer-driven management of prolonged mechanical ventilation and weaning: a pilot study. *Intensive Care Med* [Internet]. 2005;31(10):1446-1450. Available in: <http://dx.doi.org/10.1007/s00134-005-2766-2>
18. Ball L, Sutherasan Y, Pelosi P. Monitoring respiration: what the clinician needs to know. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol* [Internet]. 2013;27(2):209-223. Available in: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bpa.2013.06.004>
19. Beitzler JR, Malhotra A, Thompson BT. Ventilator-induced lung injury. *Clin Chest Med* [Internet]. 2016;37(4):633-646. Available in: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ccm.2016.07.004>
20. Leung P, Jubran A, Tobin M. Comparison of assisted ventilator modes on triggering, patient effort and dyspnoea. *Am J Respir Crit Care Med*. 1997;155:1940-1948.
21. Murias G, Lucangelo U, Blanch L. Patient-ventilator asynchrony. *Curr Opin Crit Care* [Internet]. 2016;22(1):53-59. Available in: <http://dx.doi.org/10.1097/mcc.0000000000000270>
22. Ortiz Ruiz G, Cardinal-Fernández P, Dueñas Castell CR, Garay Fernández MA, Lara García A, Aguirre Rodríguez AP. Poder mecánico. *Acta Colomb Cuid Intensivo* [Internet]. 2021;21(3):241-251. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.acci.2020.07.003>
23. Gómez R, Monares ZE, González C. Determinación del poder mecánico en pacientes en ventilación mecánica invasiva en modalidad espontánea. *Med Crit*. 2018;32(1):20-26.
24. Marini JJ, Jaber S. Dynamic predictors of VILI risk: beyond the driving pressure. *Intensive Care Med* [Internet]. 2016;42(10):1597-1600. Available in: <http://dx.doi.org/10.1007/s00134-016-4534-x>

Patrocinios: declaramos no haber recibido ningún tipo de beneficio monetario, bienes ni subsidios de alguna fuente que pudiera tener interés en los resultados de esta investigación.

Conflictos de intereses: declaramos no tener ningún conflicto de intereses.

Correspondencia:

Pablo Alfonso Aguirre Ríos

E-mail: aguirrepuntopablo@gmail.com