

Determinación del poder mecánico en pacientes en ventilación mecánica invasiva en modalidad espontánea

José Israel Gómez Ramírez,* Enrique Monares Zepeda,* Brenda Gabriela González Carmona,* Gilberto Camarena Alejo,* Janet Silvia Aguirre Sánchez,* Juvenal Franco Granillo*

RESUMEN

Objetivo: Determinar cuál es el poder mecánico (mediante un modelo matemático que puede englobar las posibles causas de lesión pulmonar) otorgado por el ventilador en pacientes bajo ventilación mecánica invasiva en modalidad espontánea VAP (ventilación asisto-proporcional).

Material y métodos: Se calculó el poder mecánico y de distensión con las fórmulas:

$$1. \text{Poder mecánico}_{rs} = FR \cdot \left[\Delta V^2 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot EL_{rs} + FR \cdot \frac{(1+I:E)}{60 \cdot I:E} \cdot R_{aw} \right] + \Delta V \cdot PEEP \right]$$

$$2. \text{Poder mecánico}_{rs} = (0.098) \cdot (FR \cdot \Delta V) \cdot (P_{pico} - \frac{1}{2} \cdot \Delta P)$$

$$3. PD = (0.098) \cdot (P_{PL} - PEEP) \cdot Vt \cdot FR$$

Se realizó en 60 pacientes, la mitad de ellos con ventilación mecánica invasiva en modalidad espontánea VAP, estimando la presión meseta (P_{PL}) mediante el volumen corriente (Vt), la distensibilidad (C_{rs}) y la presión positiva al final de la espiración total (PEEPt) dadas por el ventilador mecánico.

Resultados: Se incluyeron datos de 60 pacientes bajo ventilación mecánica invasiva, 30 de ellos en la modalidad espontánea: ventilación asisto-proporcional (VAP), de los cuales 100% tuvo retiro de la ventilación exitoso; 30 pacientes como controles emparejados en modalidades controladas, con edad de 65 (DE \pm 15) años, 63% hombres y parámetros generales: frecuencia respiratoria (FR) media de 18 (DE \pm 5.5) min⁻¹, Vt medio de 0.46 (DE \pm 0.1) Lts, C_{rs} media de 55 (DE \pm 22) mL/cm H₂O, PEEPt de 7.6 (DE \pm 3.3) cm H₂O, presión pico (P_{pico}) 20.4 (DE \pm 6.9) cm H₂O, P_{pl} de 17.05 (DE \pm 5.8) cm H₂O. Al calcular el poder mecánico, todas las comparaciones fueron menores en pacientes en modalidad espontánea versus aquellos ventilados con modalidad controlada; se determinaron los siguientes valores: 6.98 (DE \pm 1.69) versus 18.49 (DE \pm 8.20) J/min ($p < 0.001$), 7.17 (DE \pm 1.67) versus 20.92 (DE \pm 9.05) J/min ($p < 0.001$) y de 4.6 (DE \pm 1.64) versus 12.33 (DE \pm 7.04) J/min ($p < 0.001$), en las fórmulas 1, 2 y 3 respectivamente, con un valor promedio para los pacientes en modalidad espontánea de 6.25 (DE \pm 1.66) J/min.

Conclusiones: La posibilidad de determinar un valor promedio del poder mecánico en pacientes bajo ventilación mecánica invasiva en modalidad VAP puede permitir obtener un parámetro como objetivo a seguir bajo el contexto de su equivalencia estimada en condiciones fisiológicas y, sobre todo, en pacientes en quienes se desean conservar medidas de protección pulmonar y progresar para retirar la ventilación invasiva.

Palabras clave: Poder mecánico, ventilación asisto-proporcional (VAP), lesión pulmonar inducida por el ventilador (VILI).

SUMMARY

Objective: To define which would be the mechanical power (using a mathematical model that can apply to possible causes for lung injury) used by a ventilator, in patients undergoing invasive mechanical ventilation in spontaneous PAV (proportional assist ventilation).

Material and methods: The mechanical and distention powers are calculated using the equations:

$$1. \text{Mechanical power}_{rs} = FR \cdot \left[\Delta V^2 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot EL_{rs} + FR \cdot \frac{(1+I:E)}{60 \cdot I:E} \cdot R_{aw} \right] + \Delta V \cdot PEEP \right]$$

$$2. \text{Mechanical power}_{rs} = (0.098) \cdot (FR \cdot \Delta V) \cdot (P_{peak} - \frac{1}{2} \cdot \Delta P)$$

$$3. PD = (0.098) \cdot (P_{PL} - PEEP) \cdot Vt \cdot FR$$

Sixty patients were selected, half of them with invasive mechanical ventilation PAV in spontaneous mode, estimating the plateau pressure (P_{PL}) through tidal volume value (Vt), distensibility (C_{rs}), and the positive pressure at the end of a normal exhalation (PEEPt) given by the mechanical ventilator.

Results: Data from 60 patients undergoing invasive mechanical ventilation was included, 30 of them through spontaneous modality: proportional assist ventilation (PAV), from which 100% had a successful ventilator tube

removal; 30 patients were paired as controls with controlled modalities, with age 65 years (SD \pm 15), 63% were men, with the general parameters: mean respiratory frequency (RF) of 18 (SD \pm 5.5) min⁻¹, mean Vt of 0.46 (SD \pm 0.1) Lts, mean C_{rs} of 55 (SD \pm 22) mL/cm H₂O, PEEPt of 7.6 (SD \pm 3.3) cm H₂O, peak pressure (P_{pico}) 20.4 (SD \pm 6.9) cm H₂O, P_{pl} of 17.05 (SD \pm 5.8) cm H₂O. When comparing the mechanical power, all the results were inferior in patients with spontaneous modality versus patients undergoing controlled modality ventilation, determining the following values: 6.98 (SD \pm 1.69) versus 18.49 (SD \pm 8.20) J/min ($p < 0.001$), 7.17 (SD \pm 1.67) versus 20.92 (SD \pm 9.05) J/min ($p < 0.001$) and of 4.6 (SD \pm 1.64) versus 12.33 (SD \pm 7.04) J/min ($p < 0.001$), in the equations 1, 2, and 3 respectively, with an average value for the patients undergoing spontaneous modality of 6.25 (SD \pm 1.66) J/min.

Conclusions: The probability of determining a mean value for the mechanical power used in patients undergoing invasive mechanical ventilation on a PAV mode may allow to obtain a standard parameter to follow under the context of its estimated equivalence in physiological conditions, mainly for patients in whom lung protective measures are desired in order to obtain a positive progress and the eventual removal of the invasive ventilation.

Key words: Mechanical power, proportional assist ventilation (PAV), ventilator-induced lung injury (VILI).

RESUMO

Objetivo: Determinar qual seria a potência mecânica (usando um modelo matemático que pode englobar às possíveis causas de lesão pulmonar) outorgada pelo ventilador, em pacientes submetidos a ventilação mecânica invasiva no modo espontâneo PAV (Ventilação assistida proporcional).

Métodos: Calculamos a potência mecânica e de distensão com as fórmulas:

$$1. \text{Poder mecânico}_{rs} = FR \cdot \left[\Delta V^2 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot EL_{rs} + FR \cdot \frac{(1+I:E)}{60 \cdot I:E} \cdot R_{aw} \right] + \Delta V \cdot PEEP \right]$$

$$2. \text{Poder mecânico}_{rs} = (0.098) \cdot (FR \cdot \Delta V) \cdot (P_{pico} - \frac{1}{2} \cdot \Delta P)$$

$$3. PD = (0.098) \cdot (P_{PL} - PEEP) \cdot Vt \cdot FR$$

Foram selecionados 60 pacientes, metade com ventilação mecânica invasiva PAV, estimando a pressão de platô (P_{pl}) mediante o volume corrente (Vt), distensibilidade (C_{rs}), e a pressão positiva ao final de uma expiração total (PEEPt) dadas pelo ventilador mecânico.

Resultados: Foram incluídos dados de 60 pacientes com ventilação mecânica invasiva, 30 no modo espontâneo: ventilação assistida proporcional a (PAV), dos quais 100% tinham remoção bem sucedida de ventilação, 30 pacientes como controles em modalidades controladas, com idade de 65 (SD \pm 15) anos, 63% homens e parâmetros gerais: frequência respiratória (FR) média de 18 (SD \pm 5.5) min⁻¹, Vt médio 0.46 (SD \pm 0.1) Lts, C_{rs} média de 55 (SD \pm 22) mL/cm H₂O, PEEPt de 7.6 cm (SD \pm 3.3) cm H₂O, pressão de pico (P_{pico}) 20.4 (SD \pm 6.9) cm H₂O, P_{pl} de 17.05 (SD \pm 5.8) cm H₂O. Todas as comparações ao calcular a potência mecânica, foram menores em pacientes no modo espontâneo vs os pacientes ventilados com modo controlado, determinando os seguintes valores: 6.98 (SD \pm 1.69) vs 18.49 (SD \pm 8.20) J/min ($p < 0.001$), 7.17 (SD \pm 1.67) vs 20.92 (SD \pm 9.05) J/min ($p < 0.001$) e 4.6 (SD \pm 1.64) vs 12.33 (SD \pm 7.04) J/min ($p < 0.001$), nas fórmulas 1, 2 e 3, respectivamente, com um valor médio para os pacientes em modo espontâneo de 6.25 (SD \pm 1.66) J/min.

Conclusões: A possibilidade de determinar um valor médio da potência mecânica em pacientes sob ventilação mecânica invasiva no modo PAV, permitiu obter um parâmetro como objetivo a seguir; no contexto da sua equivalência estimada em condições fisiológicas e acima de tudo, os pacientes que desejamos preservar medidas de proteção pulmonar e progressar para remover a ventilação invasiva.

Palavras-chave: Potência mecânica, ventilação assistida proporcional (PAV), lesão pulmonar induzida pelo ventilador (LPV).

INTRODUCCIÓN

La necesidad de tratar a un paciente con los beneficios que le confiere la ventilación mecánica invasiva (VMI) implica conocer los efectos adversos a los que se le expone desde el inicio de este soporte.

* Centro Médico ABC.

Durante décadas se ha buscado la mejor forma de evitar la lesión pulmonar inducida por el ventilador mecánico o VILI (siglas en inglés de *ventilator-induced lung injury*), y actualmente ya se han establecido con evidencia y como medidas de protección pulmonar¹⁻³ las siguientes maniobras: emplear volumen corriente (Vt) menor a 6 mL/kg de peso predicho (también llamado peso ARDSnet),⁴ mantener la presión meseta —llamada también presión *plateau* (P_{pl})— menor de 30 cmH₂O y la presión de conducción alveolar (ΔP_{aw} , en inglés *driving pressure*) menor de 15 cmH₂O,^{5,6} que es el resultado de la diferencia entre la presión meseta y la presión positiva al final de la espiración o PEEP (por sus siglas en inglés: *positive expiratory-end pressure*).⁷⁻⁹

Si bien el cumplimiento de estas medidas disminuye las probabilidades de VILI, queda claro que hay otros factores que pueden intervenir con la protección del daño pulmonar, además de las características anatómicas y fisiopatológicas del enfermo, como lo son la frecuencia respiratoria (FR), la magnitud del flujo (Flw) suministrado, el grado de deformación o *strain* de las fibras pulmonares,¹⁰ el elongamiento excesivo del tejido funcional, la tensión a la que se somete el mismo y la distensión alveolar contante en un tiempo determinado.¹⁰⁻¹³

Todos estos factores pueden actuar directamente sobre el parénquima pulmonar; de forma dependiente a la cantidad de energía mecánica entregada, las alteraciones en el parénquima pulmonar pueden variar, desde llevar a la ruptura mecánica del mismo a una reacción inflamatoria debido a la activación y expresión de sustancias en células endoteliales, epiteliales, macrófagos y neutrófilos, entre otros.¹²

El poder mecánico

Pese a años de estudio en ventilación mecánica, el sustento teórico no ha sido suficiente para determinar con precisión el mecanismo por el cual todos los factores y variables modificables en el respirador interactúan y proporcionan al sistema respiratorio una cantidad de energía en un tiempo definido, que bien podría modificar la probabilidad de llevar al paciente a lesión pulmonar.

El concepto de «poder mecánico» fue tomado recientemente por el Dr. L. Gattinoni y sus colaboradores; ellos presentaron y propusieron una descripción matemática del poder mecánico, en la cual la energía entregada por unidad de tiempo se describe como una entidad unificada y se explica así con una ecuación. Esta energía suministrada por el ventilador al tejido pulmonar y la explicación de la contribución relativa de cada uno de sus componentes [Vt, FR, ΔP_{aw} , PEEP, Flw, relación inspiración:espiración (I:E)], conduce a la posibilidad de objetivizar a la ma-

yoría de las variables que pueden manipularse en las configuraciones convencionales del ventilador mecánico, con la posibilidad de llevarse de esta forma a la práctica clínica.^{14,15}

El principio radica en la premisa de la no homogeneidad de las características mecánicas del tejido pulmonar y la adición de energía administrada al mismo por el ventilador mecánico.¹⁶

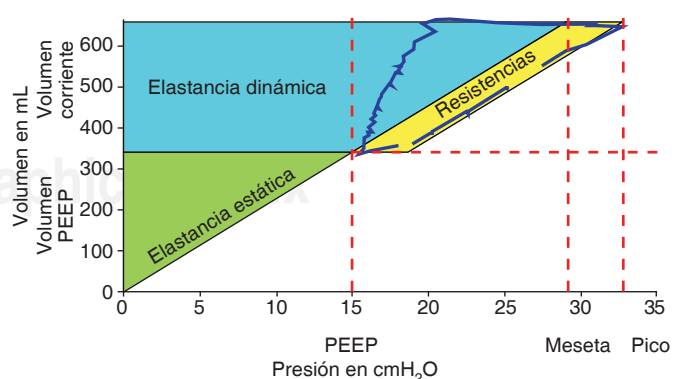
La propuesta matemática se describe entonces mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Poder mecánico}_{rs} = FR \cdot \left\{ \frac{\Delta V^2}{2} \left[\frac{1}{EL_{rs}} + FR \cdot \frac{(1+I:E)}{60} \cdot R_{aw} \right] + \Delta V \cdot PEEP \right\}$$

En donde «rs» = todo lo que ocurre en el «sistema respiratorio» (del inglés *respiratory system*), FR = frecuencia respiratoria, ΔV = volumen corriente, EL_{rs} = elastancia en el sistema respiratorio, I:E = relación inspiración/espiración, R_{aw} = resistencia en la vía aérea (del inglés *resistance, airway*) y PEEP = presión positiva al final de la espiración (del inglés *positive end-expiratory pressure*).¹⁵

La figura 1 está compuesta por un triángulo (con un componente verde y uno azul) al que se agrega un paralelogramo (amarillo) a la derecha. El cateto que corresponde al eje de las ordenadas del triángulo grande representa el volumen total (es decir, el volumen corriente (Vt) + el volumen otorgado por la PEEP), mientras que el cateto que se corresponde con el eje de las abscisas representa la presión de la vía aérea desde PEEP, presión meseta y presión pico. La pendiente de la hipotenusa representa la distensibilidad del sistema (en nuestro caso, 1,200 mL/30 cmH₂O = 40 mL/cmH₂O). El área de este gran triángulo es la energía total elástica presente a la presión de la meseta y es igual a (1,200 mL × 30 cmH₂O)/2 × 0,000098 = 1,764 Joules.¹⁵

Esta energía elástica total tiene dos componentes: el triángulo más pequeño (elastancia estática, verde),



Tomado de: Gattinoni L, Tonetti T, Cressoni M, Cadringher P, Herrmann P, Moerer O, et al. Ventilator-related causes of lung injury: the mechanical power. *Intensive Care Med.* 2016;42(10):1567-1575.

Figura 1. Representación gráfica de la ecuación de poder mecánico.

que representa la energía suministrada una sola vez cuando se aplica la PEEP, y el trapecio más grande del rectángulo (elastancia dinámica, azul), cuyas áreas representan la energía elástica entregada en cada respiración normal. Obsérvese que el trapecio rectangular es el resultado de la suma de dos componentes (ambos azules): un rectángulo cuya área es $V_t \times PEEP$ (tercer componente de la ecuación del poder mecánico) y un triángulo cuya área es $V_t \times \Delta P_{aw} \times 1/2$, igual a $ELrs \times V_t \times 1/2$ (primer componente de la ecuación del poder mecánico). El tercer componente de la ecuación del poder mecánico es el área del paralelogramo amarillo, que corresponde a las fuerzas resistivas, cuya área es igual a $(P_{peak} - P_{plat}) \times V_t$.

Se optó por presentar el modelo matemático mediante la fórmula anterior, pues su significado puede ser más fácil de comprender, ya que sus componentes reflejan la configuración de un ventilador mecánico común. Se simplifica la ecuación anterior, pero ahora de la siguiente manera:¹⁵

$$\text{Poder mecánico}_{rs} = (0.098) \cdot (FR \cdot \Delta V) \cdot (P_{pico} - 1/2 \cdot \Delta P)$$

El Dr. J. J. Marinni propuso después una simplificación de esta fórmula sin tomar en cuenta los componentes dependientes del flujo y la resistencia, conocida como «poder de distensión».¹⁶

$$PD = (0.098) \cdot (P_{PL} - PEEP) \cdot V_t \cdot FR$$

En donde PD = poder de distensión, PEEP = presión positiva al final de la espiración; V_t = volumen corriente; FR = frecuencia respiratoria. Se emplea la constante de 0.098 para transformar unidades en Julios.

Ambas fórmulas no son equivalentes, por supuesto; la diferencia se debe a que la fórmula de PM toma en cuenta elementos de resistencia de la vía aérea, mientras que si eliminamos el componente resistivo —lo que se puede hacer en el programa del poder mecánico al solicitar que la fórmula se realice mediante la premisa (presión meseta = presión pico estimada)— las fórmulas no son tan distintas.

Ya en diversos estudios experimentales, bajo la premisa de la importancia de la cantidad de energía entregada al sistema respiratorio en la unidad de tiempo (Joule/min), se han dispuesto valores para determinar el umbral en el que se podría evitar el provocar VILI, calculando un poder mecánico no mayor a 12 J/min; esto, en pacientes que se encuentran bajo ventilación mecánica invasiva en modalidades controladas (siempre y cuando las variables a controlar lo permitan).¹⁷

Variables modificables durante la ventilación mecánica y su importancia en la generación de lesión pulmonar.

Meseta, PEEP y volumen corriente

Acorde a las fórmulas, los principales componentes que aumentan el poder son el volumen corriente y la presión de distensión (meseta-PEEP); el siguiente componente es la frecuencia respiratoria y, por último, la PEEP. En ese orden cognitivo debemos preocuparnos por el nivel de daño que cause el ventilador al pulmón.¹⁵

Frecuencia respiratoria y flujo

Es importante mencionar que dos elementos que varían al momento de ser tomados en cuenta, de acuerdo a diferentes autores y que no forman parte de las metas de protección pulmonar establecidas como seguras en estudios de investigación, han sido la frecuencia respiratoria y el flujo. Por lo tanto, es común que tratando de proteger al pulmón con las metas de presión más establecidas (meseta-volumen, presión de conducción alveolar, PEEP), el poder de distensión sea no protector debido a la frecuencia respiratoria alta necesaria para mantener ventilación en presencia de distensibilidad muy disminuida. Por ejemplo, las medias de frecuencia respiratoria en el estudio *ARDS Network* eran de 30 respiraciones por minuto,⁴ con poder de distensión calculado a partir de las medias de 21 J/min, valor alto, principalmente por la frecuencia respiratoria.

De manera experimental, Hotchkiss ya había advertido que la frecuencia respiratoria alta por sí sola podía ser causante de lesión pulmonar. Laffey¹¹ y el grupo LUNG SAFE reportaron que la frecuencia respiratoria es menor en el grupo de sobrevivientes versus no sobrevivientes de síndrome de dificultad respiratoria aguda —ARDS, por sus siglas en inglés— (frecuencia respiratoria 20 ± 6 versus 21 ± 11 respectivamente). Este mismo estudio demostró que la presión pico mayor de 27 también se asocia a una mayor mortalidad en ARDS.

En los casos más graves de ARDS,⁹ aquellos que incluso han requerido ECMO (oxigenación de membrana extracorpórea), la diferencia entre presión pico-PEEP > 21 cmH₂O se relaciona con mayor mortalidad. Dado que la presión pico difiere de la presión meseta exclusivamente por el nivel de flujo provocado en la vía aérea, es posible que el flujo por sí solo también contribuya a la lesión pulmonar, especialmente en los casos más graves (mayor inhomogeneidad) y cuando las presiones pico son mayores de 27 y la diferencia presión pico-PEEP es mayor de 21. Estudios experimentales ya habían advertido del flujo como causa de lesión pulmonar.¹⁸ Es importante mencionar que sólo la fórmula de PM propuesta por Gattinoni toma en consideración el componente de flujo como generador de lesión pulmonar.

Medidas para disminuir la inhomogeneidad en relación con el poder ventilatorio

A la cabecera del paciente tenemos dos formas de disminuir la inhomogeneidad del pulmón lesionado. La primera de ellas es la posición prono, y la segunda, la titulación de la PEEP. Cuando se revisa un trabajo en el cual el objetivo de protección es el decúbito prono, observamos que en cuanto al PD calculado a partir de las medias reportadas en el estudio no parece haber diferencia entre sobrevivientes y no sobrevivientes, lo que quizá significa que los cambios de distribución homogénea son el factor determinante en la menor mortalidad. Por último, es particularmente notorio que en los estudios negativos para mortalidad de PEEP alto versus bajo no hay diferencia en ambos grupos en el poder de distensión calculado a partir de las medias reportadas. El beneficio de pronar a un paciente con SIRA (síndrome de insuficiencia respiratoria aguda) o titular la PEEP depende de si estas maniobras disminuyen la inhomogeneidad del pulmón; debemos encontrar una forma de probar este concepto a la cabecera del enfermo.^{3,4,19,20}

Maed demostró de manera matemática lo que posteriormente Gattinoni encontró de manera experimental¹⁹ y Guerin evidenció en pacientes reales: aplicar más de 13 J/min al pulmón nunca es una buena idea.⁸ La lesión pulmonar requiere dos componentes: un exceso de presión aplicada por el ventilador (un exceso de poder) y también un pulmón inhomogéneo (combinación de alveolos abiertos, colapsados y sobredistendidos). Alcanzar la meta de cada uno de los componentes de la fórmula del PD y analizar la protección pulmonar de manera global con la fórmula final debe ser una prioridad de la ventilación mecánica protectora. Nosotros consideramos que el algoritmo aquí propuesto puede ser empleado de una manera didáctica para aprender a establecer parámetros de ventilación mecánica, minimizando el daño pulmonar con el conocimiento y las herramientas que tenemos hasta el momento.

Ventilación modalidad asisto-proporcional (VAP)

La ventilación asistida es necesaria en pacientes con impulso respiratorio normal o aumentado que no pueden mantener una adecuada respiración espontánea por debilidad muscular y/o anormal mecánica respiratoria; su empleo representa hasta 50% del tiempo total de soporte ventilatorio.

Es fundamental en ventilación asistida una adecuada interacción entre el paciente y el respirador, punto con frecuencia subestimado y que puede prolongar la retirada definitiva de este último. La ventilación proporcional asistida es un modo de ventilación diseñado para mejorar la sincronía con el respirador, aunque tie-

ne otras utilidades, como el estudio de la estabilidad del centro respiratorio.²¹ Este modo de ventilación no impone un patrón respiratorio, sino que se programa un porcentaje de asistencia; por lo tanto, es el propio centro respiratorio del paciente lo que determina el patrón de ventilación más adecuado, con lo que mejora la interacción con el respirador.²⁰ Para ello, se precisa medir la mecánica respiratoria del paciente y estimar las demandas de flujo y volumen. Durante la VAP es necesario programar un grado de asistencia que evite esfuerzo o reposo excesivos, por el riesgo tanto de fatiga como de atrofia muscular, respectivamente. Aunque de forma habitual las variables que definen el patrón respiratorio se utilizan para valorar el esfuerzo que realiza el paciente, esta aproximación en pacientes críticos es, al menos, cuestionable. El objetivo de nuestro estudio fue determinar, en VAP, el mínimo grado de asistencia respiratoria relacionado con un trabajo respiratorio mayor que el fisiológico y los cambios en el patrón respiratorio con diferentes grados de asistencia respiratoria.

La VAP se adapta instantáneamente a los cambios en la demanda ventilatoria y mejora la interacción paciente-ventilador. La VAP se fundamenta en la ecuación del movimiento y suministra la presión en las vías aéreas según el porcentaje de soporte pautado. La asistencia se genera en proporción a la presión total necesaria para vencer la presión del retroceso elástico del sistema respiratorio y la caída resistiva de presión en las vías aéreas.

Con el cálculo que aporta el ventilador mecánico en modalidad VAP de distensibilidad y resistencia, es posible obtener el estimado de la presión meseta en el paciente con el *drive* respiratorio íntegro, mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Presión meseta} = (Vt / Crs) + \text{PEEP total}$$

De esta forma, es posible determinar cuál es el poder mecánico de pacientes bajo ventilación mecánica invasiva en modalidad espontánea VAP y realizar una comparación entre el valor obtenido en pacientes en modalidad espontánea y aquellos en modalidad controlada.

Sin embargo, la determinación del poder mecánico ha sido considerada únicamente en pacientes que se encuentran bajo ventilación mecánica invasiva en modalidades asisto-controladas, hasta donde es estimado no exceder de 12 Joules/min para evitar lesión pulmonar por causa del ventilador mecánico.

Este trabajo pretende determinar un valor objetivo que, bajo el contexto de su equivalencia estimada en condiciones cuasifisiológicas, permitirá obtener una meta a seguir en pacientes en quienes se desee conservar medidas de protección pulmonar y progresar para retirar de la ventilación invasiva.

MATERIAL Y MÉTODOS

Diseño. Se trata de un estudio descriptivo, observacional, retrospectivo, de cohortes, transversal.

Universo de estudio: Pacientes con ventilación mecánica invasiva en modalidad espontánea y controlada, ingresados en la Unidad de Terapia Intensiva del Centro Médico ABC.

Tamaño de la muestra: 60 pacientes.

Criterios de selección: *Criterios de inclusión:* Pacientes mayores de edad. Pacientes bajo ventilación mecánica invasiva en modalidad espontánea y controlada. Pacientes que tuvieron extubación exitosa, sin presentar datos de falla respiratoria en las siguientes 72 horas. *Criterios de exclusión:* Ausencia de registro de la hoja de parámetros ventilatorios. Expediente incompleto.

Definiciones

Poder mecánico: se refiere a la energía entregada por unidad de tiempo al sistema respiratorio por parte del ventilador mecánico, medida en Joules/minuto.

Ventilación asistida proporcional: es una modalidad ventilatoria espontánea que aporta un soporte en proporción al esfuerzo inspiratorio del paciente, se adapta instantáneamente a los cambios en la demanda ventilatoria y mejora la interacción paciente-ventilador.

Ventilación mecánica en modalidad controlada: es una modalidad ventilatoria en la que se someterá al paciente al control absoluto de las diferentes variables del ciclo ventilatorio.

Descripción de procedimientos

Se solicitaron los permisos pertinentes al Comité de Ética del Hospital ABC; previa aprobación del protocolo, se procedió a recolectar los datos de los pacientes ingresados a la terapia intensiva de ambos campus durante el periodo comprendido de agosto de 2015 a agosto de 2017.

Estos registros fueron seleccionados según los criterios de inclusión y exclusión especificados. Los datos fueron inicialmente registrados en la hoja de captura y luego, en una base de datos electrónica del programa Microsoft Excel.

Análisis estadístico

En primer lugar se llevó a cabo un análisis descriptivo de las variables categóricas y de las numéricas empleando medidas de tendencia central y desviaciones estándar.

Las variables categóricas fueron representadas como frecuencias absolutas y relativas. La correlación

fue estimada con coeficiente de Pearson (r). La concordancia fue calculada mediante el grado de acuerdo global expresado en porcentaje por el coeficiente de correlación intraclase (CCI). Todas las pruebas de hipótesis fueron consideradas significativas, con un error alfa ajustado menor al 5% a dos colas.

Los datos obtenidos fueron incluidos en una base de datos destinada para tal fin y analizados con el paquete estadístico STATA SE 11.0.

RESULTADOS

Se incluyeron datos de 60 pacientes bajo ventilación mecánica invasiva, 30 de ellos en la modalidad espontánea: ventilación asisto-proporcional (VAP), de los cuales 100% tuvo retiro de la ventilación exitoso; 30 pacientes como controles emparejados en modalidades controladas, con edad de 65 (DE \pm 15) años, 63% hombres; y parámetros generales: frecuencia respiratoria (FR) media de 18 (DE \pm 5.5) min⁻¹, Vt medio de 0.46 (DE \pm 0.1) Lts, Crs media de 55 (DE \pm 22) mL/cm H₂O, PEEPt de 7.6 (DE \pm 3.3) cm H₂O, presión pico (Ppico) 20.4 (DE \pm 6.9) cm H₂O, Ppl de 17.05 (DE \pm 5.8) cm H₂O.

Todas las comparaciones entre el poder ventilatorio de pacientes con modalidad controlada fueron mayores, comparados con los pacientes en modalidad espontánea (VAP) por cualquiera de los tres métodos calculados.

Todas las comparaciones al calcular el poder mecánico fueron menores en pacientes en modalidad espontánea versus pacientes ventilados con modalidad controlada, determinando los siguientes valores: 6.98 (DE \pm 1.69) versus 18.49 (DE \pm 8.20) J/min ($p < 0.001$), 7.17 (DE \pm 1.67) versus 20.92 (DE \pm 9.05) J/min ($p < 0.001$) y de 4.6 (DE \pm 1.64) versus 12.33 (DE \pm 7.04) J/min ($p < 0.001$) en las fórmulas 1, 2 y 3, respectivamente, con un valor promedio para los pacientes en modalidad espontánea de 6.25, valor obtenido de la tercera columna del Cuadro I.

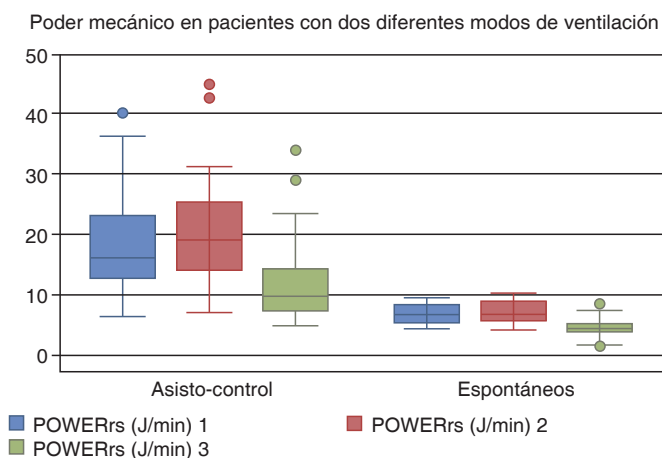
Se aprecia en la gráfica la diferencia de la magnitud del poder mecánico en modalidad controlada y espontánea (Figura 2), posible correlación de valores menores de poder mecánico y, por ende, de variables medidas por el ventilador en pacientes en modalidad espontánea que en pacientes en modalidades controladas.

Correlación y concordancia del cálculo del poder mecánico

Al utilizar sólo el grupo de pacientes con modalidad espontánea, encontramos alta correlación y concordancia entre los tres cálculos, siendo mucho más elevadas entre las fórmulas 1 y 2, con $r = 0.81$, $p < 0.001$ y un coeficiente de correlación intraclase de 90%, con menor grado de correlación y concordancia entre las fórmulas

Cuadro I. Poder mecánico en dos modalidades de ventilación diferentes, calculado por tres ecuaciones distintas.

	Asisto-control		Espontáneos		p
	Media	DE	Media	DE	
POWERrs (J/min) 1	18.49	8.20	6.98	1.69	< 0.001
POWERrs (J/min) 2	20.92	9.05	7.17	1.67	< 0.001
POWERrs (J/min) 3	12.33	7.04	4.60	1.64	< 0.001

**Figura 2.** Se muestra la diferencia de la magnitud del poder mecánico calculada en pacientes que se encuentran bajo ventilación mecánica invasiva en modalidad controlada y en espontánea (VAP).

2 y 3, $r = 0.65$ y acuerdo de 46%. Correlación y concordancia del cálculo de poder mecánico (Cuadro II).

El coeficiente de correlación interclase muestra el porcentaje de la medición que coincide entre dos mediciones; 1 y 2 coinciden en 90%, 2 y 3 coinciden en 40%.

CONCLUSIONES

Es posible determinar cuál es el poder mecánico (mediante un modelo matemático que puede englobar las posibles causas de lesión pulmonar) otorgado por el ventilador en pacientes bajo ventilación mecánica invasiva en modalidad espontánea VAP (ventilación asistoproporcional).

Después de analizar los datos de 60 pacientes, la posibilidad de determinar un valor promedio del poder mecánico en pacientes bajo ventilación mecánica invasiva en modalidad espontánea puede permitir obtener un parámetro como objetivo a seguir bajo el contexto de su equivalencia estimada en condiciones cercanas a las fisiológicas y, sobre todo, en pacientes en quienes se desea conservar medidas de protección pulmonar y progresar para retirar de la ventilación invasiva.

Posiblemente haya asociación entre un valor del poder mecánico como el determinado y la posibilidad de poder progresar a un paciente de la ventilación mecánica

Cuadro II. Se representan los valores como coeficientes de correlación de Pearson y, entre paréntesis, el acuerdo global representado en porcentaje, calculado mediante coeficientes de correlación intraclase (CCI); todos los contrastes con $p < 0.001$.

Correlación y concordancia entre tres métodos de poder ventilatorio*		
	POWERrs (J/min) 1	POWERrs (J/min) 2
POWERrs (J/min) 2	0.81 (90%)	
POWERrs (J/min) 3	0.734 (53%)	0.65 (46%)

*Aparecen únicamente las fórmulas que tuvieron correlación significativa.

nica invasiva para su retiro, pues el valor determinado fue realizado en condiciones fisiológicas y 100% de los pacientes que se encontraron en modalidad espontánea fueron extubados exitosamente, por lo que con seguridad valdrá la pena continuar investigando respecto a estos resultados.

BIBLIOGRAFÍA

- Ranieri VM, Rubenfeld GD, Thompson BT, Ferguson ND, Caldwell E, Fan E, et al. Acute respiratory distress syndrome: the Berlin definition. *JAMA*. 2012;307(23):2526-2533.
- Amato MB, Barbas CS, Medeiros DM, Magaldi RB, Schettino GP, Lorenzi-Filho G, et al. Effect of a protective-ventilation strategy on mortality in the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med*. 1998;338(6):347-354.
- Villar J, Kacmarek RM, Pérez-Méndez L, Aguirre-Jaime A. A high positive end-expiratory pressure, low tidal volume ventilatory strategy improves outcome in persistent acute respiratory distress syndrome: A randomized controlled trial. *Crit Care Med*. 2006;34(5):1-8.
- The Acute Respiratory Distress Syndrome Network. Ventilation with lower tidal volumes as compared with traditional tidal volumes for acute lung injury and the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med*. 2000;342:1301-1308.
- Ferguson ND, Frutos-Vivar F, Esteban A, Anzueto A, Alia I, Bower G, et al. Airway pressure, tidal volume, and mortality in patients with acute respiratory distress syndrome. *Crit Care Med*. 2005;33(1):21-30.
- Jardin F, Vieillard-Baron A. Is there a safe plateau pressure in ARDS? The right heart only knows. *Intensive Care Med*. 2007;33(3):444-447.
- Amato MB, Meade MO, Slutsky AS, Brochard L, Costa EL, Schoenfeld DA, et al. Driving pressure and survival in the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med*. 2015;372:747-755.
- Guérin C, Papazian L, Reignier J, Ayzac L, Loundou A, Forel JM, et al. Effect of driving pressure on mortality in ARDS patients during lung protective mechanical ventilation in two randomized controlled trials. *Critical Care*. 2016;20:384.
- Li-Chung Chiu, Han-Chung Hu, Chen-Yiu Hung, Chih-Hao Chang, Feng-Chun Tsai, Cheng-Ta Yang, et al. Dynamic driving pressure associated mortality in acute respiratory distress syndrome with extracorporeal membrane oxygenation. *Ann Intensive Care*. 2017;7:12.
- Gattinoni L, Carlesso E, Caironi P. Stress and strain within the lung. *Curr Opin Crit Care*. 2012;18(1):42-47.
- Laffey JG, Bellani G, Pham T, Fan E, Madotto F, Bajwa EK, et al. Potentially modifiable factors contributing to outcome from acute respiratory distress syndrome: the LUNG SAFE study. *Intensive Care Med*. 2016;42:1865-1876.
- Chiumello D, Carlesso E, Cadringer P, Caironi P, Valenza F, Polli F, et al. Lung stress and strain during mechanical ventilation for acute respiratory distress syndrome. *Am J Respir Crit Care Med*. 2008;178:346-355.

13. Protti A, Maraffi T, Milesi M, Votta E, Santini A, Pugini P, et al. Role of strain rate in the pathogenesis of ventilator-induced lung edema. *Crit Care Med*. 2016;44(9):e838-e845.
14. Cressoni M, Gotti M, Chiurazzi C, Massari D, Algieri I, Amini M, et al. Mechanical power and development of ventilator-induced lung injury. *Anesthesiology*. 2016;124(5):1100-1108.
15. Gattinoni L, Tonetti T, Cressoni M, Cadringer P, Herrmann P, Moerer O, et al. Ventilator-related causes of lung injury: the mechanical power. *Intensive Care Med*. 2016;42(10):1567-1575.
16. Marini JJ, Jaber S. Dynamic predictors of VILI risk: beyond the driving pressure. *Intensive Care Med*. 2016;42(10):1597-1600.
17. Guérin C, Reignier J, Richard J, Beuret P, Gacouin A, Boulain T, et al. Prone positioning in severe acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med*. 2013;368:2159-2168.
18. Fujita Y, Fujino Y, Uchiyama A, Mashimo T, Nishimura M. High peak inspiratory flow can aggravate ventilator-induced lung injury in rabbits. *Med Sci Monit*. 2007;13(4):BR95-100.
19. Mead J, Takishima T, Leith D. Stress distribution in lungs: a model of pulmonary elasticity. *J Appl Physiol*. 1970;28(5):596-608.
20. Cressoni M, Chiurazzi C, Gotti M, Amini M, Brioni M, Algieri I, et al. Lung inhomogeneities and time course of ventilator-induced mechanical injuries. *Anesthesiology*. 2015;123(3):618-627.
21. Suarez-Sipmann. Ventilación asistida proporcional. *Med Intensiva*. 2014;38(4):249-260.

Conflicto de intereses: Declaración de ausencia de conflicto de intereses. No existe ninguna situación de conflicto de intereses real, potencial o evidente, de índole comercial, financiera o de otro tipo en la realización y presentación de este trabajo de investigación.

Correspondencia:

Dr. José Israel Gómez Ramírez
Bolívar Núm. 8, Dpto. 408, Col. Centro,
Deleg. Cuauhtémoc, 06000, Cd. de México.
E-mail: drpp_06@hotmail.es