



Poder mecánico como predictor de mortalidad en los pacientes con diagnóstico de neumonía por SARS-CoV-2 que recibieron ventilación mecánica invasiva

Mechanical power as a predictor of mortality in patients diagnosed with SARS-CoV-2

pneumonia who received invasive mechanical ventilation

Potência mecânica como preditor de mortalidade em pacientes diagnosticados com pneumonia por SARS-CoV-2 que receberam ventilação mecânica invasiva

Luis Mario Avendaño González,* Luis Ángel Moran Nares,* Jorge Samuel Cortes Roman,* Juan Marcelo Huanca Pacaje,* Miguel Martín Alejandro Guizar,† Abisai Cortes Guillen*

RESUMEN

Introducción: Las fuerzas mecánicas generadas durante la ventilación mecánica por la interacción entre el ventilador y el sistema respiratorio pueden dañar al pulmón en un proceso que se ha denominado lesión inducida por el ventilador. El grado de lesión se ha relacionado con la cantidad de energía transferida desde el ventilador mecánico al sistema respiratorio dentro de un periodo de tiempo determinado, denominado poder mecánico; datos experimentales basados en tomografías sugieren que el poder mecánico mayor de 12 J/min podría generar lesión. Se proyecta como otra de las variables a controlar dentro de las estrategias de protección pulmonar, determinado en estudios experimentales como un umbral de energía a partir del cual inician los cambios mecánicos en el pulmón que pueden conducir a lesión inducida por el ventilador.

Material y métodos: Se realizó un estudio retrospectivo, analítico, comparativo, se incluyeron todos los pacientes con diagnóstico de neumonía por SARS-CoV-2 que requieren ventilación mecánica invasiva; en un periodo de tiempo comprendido de marzo-agosto de 2021 que ingresaron a la Unidad de Cuidados Intensivos y utilizaron el poder mecánico como variable para predecir la mortalidad.

Resultados: La población estudiada se compuso de 67 pacientes; se evaluó la asociación entre el poder mecánico alto a las 48 horas y la mortalidad, se documentó que 49.25% (n = 33) de los casos que mantuvieron el poder mecánico alto en 48 horas murieron, 28.35% (n = 19) con poder mecánico alto no se asoció con mortalidad, 8.95% (n = 6) que no mantuvieron cálculo de poder mecánico alto murieron y 13.43% (n = 9) de los pacientes con poder mecánico menor a 12 J/min no murieron. Se realizó una prueba de asociación con χ^2 de Pearson en la que se obtiene un valor de p = 0.105, por lo que no existe diferencia estadísticamente significativa y no se corrobora la asociación entre la mortalidad de los pacientes con poder mecánico alto (> 12 J/min) a las 48 horas.

Conclusión: El poder mecánico puede considerarse como otra variable a controlar como estrategia de protección pulmonar del paciente con infección por SARS-CoV-2, basado en que la energía transmitida al pulmón tiene mayor impacto en los pacientes que reciben ventilación mecánica por un intervalo de tiempo mayor de siete días, con un promedio de estancia en la Unidad de Cuidados Intensivos 12.3 + 6.2 días y el promedio de días de ventilación mecánica invasiva 9.2 + 5.6.

Palabras clave: Poder mecánico, lesión pulmonar inducida por el ventilador, protección pulmonar, SARS-CoV-2.

ABSTRACT

Introduction: The mechanical forces generated during mechanical ventilation by the interaction between the ventilator and the respiratory system can damage the lung in a process that has been called ventilator induced injury. The degree of injury has been related to the amount of energy transferred from the mechanical ventilator to the respiratory system within a given period of time, called mechanical power, experimental data based on tomographies suggest that mechanical power greater than 12 J/min could generate injury. It is projected as another variables to control within lung protection strategies, determining in

experimental studies as an energy threshold from which mechanical changes in the lung begin that can lead to ventilator induced injury.

Material and methods: A retrospective, analytical, comparative study was carried out. All patients with a diagnosis of SARS-CoV-2 pneumonia who required invasive mechanical ventilation were admitted; In a period of time between March-August 2021, they were admitted to the intensive care unit and used mechanical power as a variable to predict mortality.

Results: The studied population consisted of 67 patients; the association between high mechanical power at 48 hours and mortality was evaluated, it was documented that 49.25% (n = 33) of the patients who maintained high mechanical power in 48 hours died, 28.35% (n = 19) with power high mechanical was not associated with mortality, 8.95% (n = 6) who did not have high mechanical power calculation died and 13.43% (n = 9) of patients with mechanical power less than 12 J/min survived. An association test was performed with Pearson's χ^2 in which a p value of 0.105 was obtained, so there is no statistically significant difference and the association between the mortality of the patients is not corroborated with high mechanical power (> 12 J/min) at 48 hours.

Conclusion: Mechanical power can be considered as another variable to control as a lung protection strategy for patients with SARS-CoV-2 infection, based on the fact that the energy transmitted to the lung has a greater impact on patients who receive mechanical ventilation for an interval time greater than seven days, with an average stay in the intensive care unit 12.3 + 6.2 days and the average days of invasive mechanical ventilation 9.2 + 5.6.

Keywords: Mechanical power, ventilator-induced lung injury, lung protection, SARS-CoV-2.

RESUMO

Introdução: As forças mecânicas geradas durante a ventilação mecânica pela interação entre o ventilador e o sistema respiratório podem lesar o pulmão em um processo que tem sido chamado de lesão induzida pelo ventilador. O grau de lesão tem sido relacionado à quantidade de energia transferida do ventilador mecânico para o sistema respiratório em um determinado período de tempo, denominado potência mecânica. Dados experimentais baseados em tomografia sugerem que potência mecânica superior a 12 J/min pode gerar lesão. Ele é projetado como mais uma das variáveis a serem controladas dentro das estratégias de proteção pulmonar, determinando em estudos experimentais como um limiar de energia a partir do qual se iniciam as alterações mecânicas no pulmão que podem levar à lesão induzida pelo ventilador.

Material e métodos: Realizou-se um estudo retrospectivo, analítico e comparativo, foram admitidos todos os pacientes com diagnóstico de pneumonia por SARS-CoV-2 que necessitaram de ventilação mecânica invasiva; em um período de março a agosto de 2021 que foram internados na unidade de terapia intensiva e utilizaram a potência mecânica como variável para prever mortalidade.

Resultados: A população do estudo foi composta por 67 pacientes; Foi avaliada a associação entre alta potência mecânica em 48 horas e mortalidade, foi documentado que 49.25% (n = 33) dos pacientes que mantiveram potência mecânica alta em 48 horas morreram, 28.35% (n = 19) com potência mecânica alta não foi associado à mortalidade, 8.95% (n = 6) que não mantiveram o cálculo de alta potencia mecanica morreram e 13.4% (n = 9) dos pacientes com potencia mecanica menor que 12 J/min nao morreram. Realizou-se um teste de associação com o χ^2 de Pearson, no qual se obtém um valor de p de 0.105, portanto não há diferença estatisticamente significativa e a associação entre mortalidade do paciente não é corroborada com alta potência mecânica (> 12 J/min) em 48 horas.

Conclusão: A potência mecânica pode ser considerada mais uma variável a ser controlada como estratégia de proteção pulmonar para pacientes com infecção por SARS-CoV-2, tendo em vista que a energia transmitida ao pulmão tem maior

* Hospital Regional de Alta Especialidad ISSSTE Veracruz. México.

† Hospital Central Sur de Alta Especialidad Pemex. Ciudad de México.

Recibido: 21/10/2021. Aceptado: 30/10/2021.

Citar como: Avendaño GLM, Moran NLÁ, Cortes RJS, Huanca PJM, Alejandro GMM, Cortes GA. Poder mecánico como predictor de mortalidad en los pacientes con diagnóstico de neumonía por SARS-CoV-2 que recibieron ventilación mecánica invasiva. Med Crit. 2022;36(4):210-214. <https://dx.doi.org/10.35366/105791>

impacto em pacientes que recebem ventilação mecânica por um intervalo de tempo superior a 7 dias, com média de permanência na unidade de terapia intensiva 12.3 + 6.2 dias e média de dias de ventilação mecânica invasiva 9.2 + 5.6.

Palavras-chave: Potência mecânica, lesão pulmonar induzida pelo ventilador, proteção pulmonar, SARS-CoV-2.

INTRODUCCIÓN

La infección por SARS-CoV-2 es un virus de ARN monocatenario con un diámetro de 80 a 120 nanómetros y puede cursar asintomática, con síntomas leves, moderados o desarrollar síndrome de dificultad respiratoria aguda que condicione disfunción orgánica múltiple.^{1,2} La transmisión se produce a través de gotas respiratorias por contacto directo con la cara y en menor grado a través de superficies contaminadas, se estima que entre 48-62% de la transmisión puede ocurrir por portadores presintomáticos.^{3,4} El periodo de incubación para la infección por el virus SARS-CoV-2 es aproximadamente de cinco días, 97.5% de las personas que desarrollan los síntomas lo harán dentro de los 11.5 días posteriores a la infección; síntomas comunes en pacientes hospitalizados incluyen fiebre, tos seca, disnea, fatiga, mialgias, náuseas/vómitos o diarrea, cefalea, rinorrea. La anosmia y ageusia pueden ser los únicos síntomas de presentación en aproximadamente 3% de las personas que cursan con la infección.⁴ Anormalidades en los laboratorios incluyen linfopenia, elevación de marcadores inflamatorios (proteína C reactiva; ferritina; factor de necrosis tumoral, interleucina 1, interleucina 6) y alteración en los parámetros de coagulación (prolongación del tiempo de protrombina, trombocitopenia, elevación del dímero D); descripciones radiográficas incluyen infiltrados periféricos bilaterales; tomografía de tórax de alta resolución muestra imágenes en vidrio deslustrado y/o consolidación; la prueba para el diagnóstico se basa en la detección del ARN del SARS-CoV-2 mediante la reacción en cadena de la polimerasa con transcripción inversa a partir de muestras respiratorias.⁵ Se concluye que 75% de los pacientes requieren oxígeno suplementario, 5% requiere ventilación mecánica invasiva como piedra angular en la terapéutica mejorando la hipoxemia, hipercapnia y reducción del trabajo respiratorio; sin embargo, las fuerzas mecánicas generadas durante la ventilación mecánica por la interacción entre el ventilador y el sistema respiratorio pueden dañar al pulmón en un proceso que se ha denominado lesión inducida por el ventilador, datos experimentales basados en tomografías sugieren que el poder mecánico mayor de 12 J/min podría generar lesión inducida por el ventilador, no hay bases de datos que corroboren esta información en humanos.⁶ La gravedad de la lesión inducida por el ventilador depende de la configuración del ventilador resultando de la interacción entre lo que el ventilador administra al parénquima pulmonar y la forma en que el parénquima pulmonar lo acepta.^{7,8}

Las causas de lesión inducida por el ventilador incluyen barotrauma, volutrauma, atelectrauma, miotrauma y ergotrauma, que concluyen en una vía común biotrauma incrementando el riesgo de disfunción orgánica múltiple.⁹⁻¹³ El grado de lesión inducida por el ventilador se ha relacionado con la cantidad de energía transferida desde el ventilador mecánico al sistema respiratorio dentro de un periodo de tiempo determinado, denominado poder mecánico. Durante la ventilación mecánica controlada, la energía mecánica se compone de los parámetros establecidos por el médico a la cabecera, tales como el volumen tidal, flujo de aire inspiratorio, frecuencia respiratoria y el nivel de presión positiva al final de la espiración, además de varias variables dependientes del paciente, como la presión máxima, meseta y de conducción.¹⁴

La mecanotransducción puede depender de la cantidad de energía transferida desde el ventilador mecánico a los pulmones del paciente; convirtiendo un estímulo mecánico en señales intracelulares bioquímicas y moleculares.¹⁵⁻¹⁸

La energía necesaria para mover los pulmones desde su posición de reposo (capacidad residual funcional) a un punto dado de la curva presión-volumen (PV) puede ser dada por las contracciones musculares que generan presión, como se observa durante la respiración espontánea o artificialmente por un ventilador mecánico que genera presión en las vías respiratorias.⁸ En física, la energía mecánica es la suma de las energías cinética y potencial, este concepto teórico es aplicable a la fisiología respiratoria. En este contexto, la energía mecánica depende de la posición donde comienza el esfuerzo inspiratorio dentro de la curva presión-volumen del sistema respiratorio y de la fuerza impulsora ejercida por los músculos respiratorios para generar el movimiento de la pared torácica.¹⁸ La cantidad de energía transferida del ventilador al paciente se mide en Joules (J), mientras que la potencia se define como la cantidad de energía transferida por unidad de tiempo (J/min). Existen diversas formas de calcular el poder mecánico con diferentes grados de complejidad, la estimación del poder mecánico con este método depende en gran medida de la técnica utilizada para realizar la curva presión-volumen, la cual permite su aplicabilidad en la práctica clínica y se deriva de la ecuación del movimiento más de la adición de la presión positiva al final de la espiración, multiplicado por la frecuencia respiratoria, la resistencia de la vía aérea y el tercer componente es igual a la energía necesaria para superar la tensión de las fibras debido a la presión positiva al final de la espiración. Para el cálculo se utilizó la fórmula propuesta por Gatinnioni y su equipo: poder mecánico (J/min) = 0.098 × (frecuencia respiratoria) × (volumen tidal) × [presión pico – (presión de conducción/2)].⁸ En condiciones de bajo flujo, la influencia de las propiedades resistivas se reducirá y las propiedades elásticas del sistema respi-

ratorio serán el componente principal del cálculo de la energía mecánica.¹⁸

El poder mecánico se proyecta como otra de las variables a controlar dentro de las estrategias de protección pulmonar, determinado en estudios experimentales como un umbral de energía a partir del cual inician los cambios mecánicos en el pulmón que pueden conducir a lesión inducida por el ventilador.⁸ En los estudios existentes de medición del poder mecánico en humanos, el valor umbral que potencialmente se asocia con el desarrollo de lesión inducida por el ventilador varía entre los estudios; en el análisis de 8.207 pacientes de dos cohortes observacionales de las bases de datos MIMIC-III y eICU, quienes recibieron ventilación mecánica por al menos 48 horas, la mediana de poder mecánico a las 24 horas fue de 21.4 (16.2-28.1) J/min en el MIMIC-III y de 16.0 (11.7-22.1) J/min en el eICU; en el desenlace primario, mortalidad hospitalaria, incluso con volumen corriente bajo el poder mecánico se asoció de forma independiente con mortalidad hospitalaria por cada aumento de 5 J/min, OR: 1.06; IC 95%: 1.01-1.11, $p = 0.021$ en el MIMIC-III, y OR: 1.10; IC 95%: 1.02-1.18, $p = 0.010$ en el eICU.¹⁸

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó un estudio retrospectivo, analítico, comparativo, se incluyeron todos los pacientes con diagnóstico de neumonía por SARS-CoV-2 que requieren ventilación mecánica invasiva, en un periodo de tiempo comprendido del primero de marzo al 31 de agosto de 2021 que ingresaron a Unidad de Cuidados Intensivos en el Hospital Regional de Alta Especialidad ISSSTE Veracruz y utilizaron el poder mecánico como variable para predecir la mortalidad. Como criterio de exclusión se tomaron expedientes incompletos de pacientes que ingresen a la Terapia Intensiva con diagnóstico de neumonía por SARS-CoV-2, casos que no requieran ventilación mecánica invasiva y expedientes con prueba negativa para SARS-CoV-2. Se plasmaron los datos en una base de Excel donde se registraron parámetros de gravedad, mecánica pulmonar, modos ventilatorios, a las 24, 48 y 72 horas para su posterior análisis estadístico.

Los datos se examinaron mediante el software SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*) v. 25.0 para los diferentes análisis estadísticos. Para analizar la significancia de los resultados obtenidos para la asociación entre mortalidad y poder mecánico alto al menos una vez (medición de 24, 48 y 72 horas), se utilizó una prueba exacta de Fisher al tener un número < 5 en una de las casillas. Para analizar la asociación entre poder mecánico elevado a las 48 horas y mortalidad se utilizó una χ^2 de Pearson con una corrección de continuidad de Yates al tratarse de una tabla de 2×2 . Para todos

los casos, los datos se representaron como proporciones en porcentajes. Se consideran como significativos todos los valores con una $p < 0.05$.

RESULTADOS

Durante el periodo comprendido de marzo a agosto de 2021 ingresaron 70 pacientes a la Unidad de Cuidados Intensivos en el Hospital Regional de Alta Especialidad ISSSTE Veracruz, se obtuvieron un total de 70 expedientes pero sólo 67 cumplieron con criterios de selección, en los cuales se evaluó la asociación entre mortalidad a las 48 horas y poder mecánico elevado (> 12 J/min).

En la *Tabla 1* se evaluó la asociación entre el poder mecánico alto a las 48 horas y la mortalidad en los pacientes con COVID-19, en el que se documentó que 49.25% ($n = 33$) de los pacientes que mantuvieron el poder mecánico alto en 48 horas murieron, 28.35% ($n = 19$) con poder mecánico alto no se asoció con mortalidad, 8.95% ($n = 6$) que no mantuvieron cálculo de poder mecánico alto murieron y 13.43% ($n = 9$) de los pacientes con poder mecánico menor a 12 J/min no murieron.

En la *Tabla 2* se evaluó la asociación entre la mortalidad y poder mecánico elevado en al menos una medición a las 24, 48 y 72 horas a través de χ^2 de Pearson, en el que se observó que 53.73% ($n = 36$) de los pacientes sí presentó una asociación entre el poder mecánico elevado y la mortalidad; en 38.80% ($n = 26$) de los pacientes con poder mecánico elevado no se asociaron con la mortalidad, 4.47% ($n = 3$) murieron sin tener poder mecánico elevado y 2.98% ($n = 2$) no tuvieron cálculo del poder mecánico y no murieron.

Tabla 1: Poder mecánico alto 48 horas vs mortalidad.

	Mortalidad dicotómica, n (%)		
	Sí	No	Total
Poder			
Sí	33 (49.25)	19 (28.35)	52 (77.6)
No	6 (8.95)	9 (13.43)	15 (22.4)
Total	39	28	67

Tabla 2: Asociación entre mortalidad y poder mecánico elevado (> 12 J/min) en al menos una medición (24, 48, 72 horas).

	Mortalidad dicotómica, n (%)		
	Sí	No	Total
Poder mecánico al menos una			
Sí	36 (53.73)	26 (38.80)	62 (92.53)
No	3 (4.47)	2 (2.98)	5 (7.46)
Total	39	28	67

Tabla 3: Pruebas de asociación.

	Valor	gl	p
Chi-cuadrado de Pearson*	2.634	1	0.105
Corrección de continuidad	1.758	1	0.185
Prueba exacta de Fisher**	–	1	1.000

* χ^2 de Pearson para una tabla de 2×2 con corrección de continuidad de Yates donde obtenemos una $p >$ donde se compara la asociación de mortalidad y el poder mecánico elevado a las 48 horas.

** Prueba exacta de Fisher realizada para prueba de asociación de poder mecánico en al menos una medición (24, 48 y 72 horas) y mortalidad.

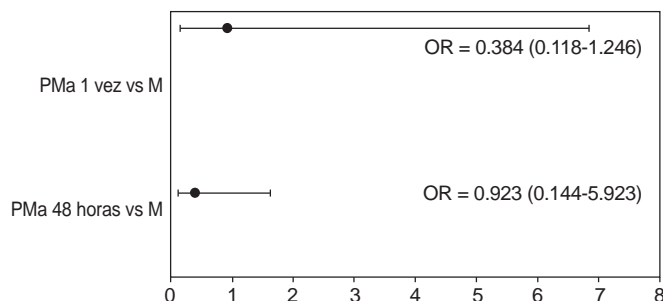


Figura 1: Asociación mortalidad. Diagrama de efectos comparando poder mecánico elevado al menos una vez (medición de 24, 48 y 72 horas) y mortalidad. Comparación de poder mecánico elevado a las 48 horas y mortalidad. OR = odds ratio; PMA 1 vez = poder mecánico alto al menos una vez; PMA 48 h = poder mecánico alto a las 48 horas; M = mortalidad.

En la [Tabla 3](#) se realiza prueba de asociación con χ^2 de Pearson en la que se obtiene un valor de $p = 0.105$, por lo que no existe diferencia estadísticamente significativa y no se corrobora la asociación entre mortalidad con poder mecánico alto (> 12 J/min) a las 48 horas; se realiza prueba de Fisher para la asociación de poder mecánico en al menos una medición con valor de $p = 1.0$, por lo que se considera que no cuenta con diferencia estadísticamente significativa.

En la [Figura 1](#) se representa el OR (odds ratio) de la asociación entre la mortalidad y el poder mecánico alto en al menos una medición (24, 48, 72 horas), se observa que el valor de OR es de 0.384 manteniéndose sobre la unidad (0.118-1.246), por lo que no existe asociación. En el caso de la medición del poder mecánico alto a las 48 horas y la mortalidad, se obtiene el valor de OR de 0.923 manteniéndose sobre la unidad (0.144-5.923), por lo que se demuestra que no existe asociación entre medición del poder mecánico a las 48 horas y la mortalidad.

DISCUSIÓN

Diversos estudios experimentales han desarrollado el concepto de poder mecánico para evaluar el desarrollo de lesión inducida por el ventilador a través de diversas fórmulas, sin evaluar la tendencia de que

su incremento puede condicionar una elevación en la mortalidad de los pacientes que reciben ventilación mecánica invasiva.

Datos actuales muestran un estudio de cohorte que incluyó 91 casos que recibieron ventilación mecánica invasiva con infección por SARS-CoV-2 en tres centros, realizado en Pereira, Colombia, donde no encontraron asociación entre el poder mecánico y mortalidad mediante el análisis de regresión de Cox para el riesgo de muerte; este hallazgo podría relacionarse con las variables de nuestra población, probablemente por ello no encontramos diferencias significativas en mortalidad, en donde la magnitud del poder mecánico de acuerdo con los parámetros iniciales no fue capaz de predecir la mortalidad, pero a las 48 horas demostró tener capacidad predictiva con un riesgo relativo muy similar, lo que permite interpretar como una probabilidad de fallecer 0.49 veces más que quienes se mantuvieron por debajo de 12 J/min calculado con la fórmula del Dr. Gattinoni; lo anterior adquiere mucho valor, ya que cuando se aplica la fórmula en forma exclusiva a una población que estuvo bajo ventilación mecánica invasiva más de siete días, la elevación del poder mecánico se asoció con una mortalidad seis veces mayor con diferencia estadísticamente significativa.

CONCLUSIONES

El análisis realizado permite proyectar al poder mecánico como otra variable a controlar dentro de la estrategia de protección pulmonar del paciente con infección por SARS-CoV-2 que recibe ventilación mecánica invasiva, basado en el concepto categórico de que la energía transmitida al pulmón mediante un cálculo que puede realizarse a la cabecera del enfermo tiene mayor impacto en los pacientes que reciben ventilación mecánica por un intervalo de tiempo mayor de siete días, con un promedio de estancia en la Unidad de Cuidados Intensivos 12.3 ± 6.2 días y el promedio de días de ventilación mecánica invasiva 9.2 ± 5.6 .

REFERENCIAS

1. Joost WW, Rhodes A, Cheng AC, Peacock SJ, Peascott HC. Pathophysiology, transmission, diagnosis, and treatment of coronavirus disease 2019 (COVID-19) a review. *JAMA*. 2020;324(8):782-793.
2. Lai CC, Shih TP, Ko WC, Tang HJ, Hsueh PR. Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) and coronavirus disease-2019 (COVID-19): The epidemic and the challenges. *Int J Antimicrob Agents*. 2020;55(3):105924.
3. Fosbol EL, Butt JH, Astergaard L, Andersson Ch, Selmer C, Kragholm K, et al. Association of angiotensin-converting enzyme inhibitor or angiotensin receptor blocker use with COVID-19 diagnosis and mortality. *JAMA*. 2020;324(2):168-177.
4. Lu R, Zhao X, Li J, Niu P, Yang MS, Wu H, et al. Genomic characterisation and epidemiology of 2019 novel coronavirus: implications for virus origins and receptor binding. *Lancet*. 2020;395(20):565-574.

5. Senzi A, Bindi M, Cappellini I, Zamidei L, Consales G. COVID-19 and VILI: developing a mobile app for measurement of mechanical power at a glance. *Intensive Care Med Exp.* 2021;9(1):6.
6. Coppola S, Caccioppola A, Froio S, Formenti P, De Giorgis V, Galanti V, et al. Effect of mechanical power on intensive care mortality in ARDS patients. *Crit Care.* 2020;24(1):246.
7. Marini JJ. Evolving concepts for safer ventilation. *Crit Care.* 2019;23(Suppl 1):114.
8. 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.
9. Kumar A, Pontoppidan H, Falke KJ, Wilson RS, Laver MB. Pulmonary barotrauma during mechanical ventilation. *Crit Care Med.* 1973;1(4):181-186.
10. Dreyfuss D, Soler P, Basset G, Saumon G. High inflation pressure pulmonary edema. Respective effects of high airway pressure, high tidal volume, and positive end-expiratory pressure. *Am Rev Respir Dis.* 1988;137(5):1159-1164.
11. Protti A, Maraffi T, Milesi M, Votta E, Santini A, Pugin P, et al. Role of strain rate in the pathogenesis of ventilator-induced lung edema. *Crit Care Med.* 2016;44(9):e838-e845.
12. 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.
13. Gattinoni L, Pesenti A, Avalli L, Rossi F, Bombino M. Pressure-volume curve of total respiratory system in acute respiratory failure. Computed tomographic scan study. *Am Rev Respir Dis.* 1987;136(3):730-736.
14. Silva PL, Ball L, Rocco PRM, Pelosi P. Power to mechanical power to minimize ventilator-induced lung injury? *Intensive Care Med Exp.* 2019;7(Suppl 1):38.
15. Silva PL, Negrini D, Rocco PR. Mechanisms of ventilator-induced lung injury in healthy lungs. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol.* 2015;29(3):301-313.
16. Cruz FF, Ball L, Rocco PRM, Pelosi P. Ventilator-induced lung injury during controlled ventilation in patients with acute respiratory distress syndrome: less is probably better. *Expert Rev Respir Med.* 2018;12(5):403-414.
17. Moraes L, Silva PL, Thompson A, Santos CL, Santos RS, Fernandes MVS, et al. Impact of different tidal volume levels at low mechanical power on ventilator-induced lung injury in rats. *Front Physiol.* 2018;9:318.
18. Serpa Neto A, Deliberato RO, Johnson AEW, Bos LD, Amorim P, Pereira SM, et al. Mechanical power of ventilation is associated with mortality in critically ill patients: an analysis of patients in two observational cohorts. *Intensive Care Med.* 2018;44(11):1914-1922.

Patrocinios: Ninguno.

Conflicto de intereses: Ninguno.

Correspondencia:

Luis Mario Avendaño González

E-mail: warrio29@gmail.com