



Correlación entre el índice de masa corporal y valor de poder mecánico en pacientes bajo ventilación mecánica

Correlation between body mass index and mechanical power value in patients under mechanical ventilation

Correlação entre índice de massa corporal e valor da potência mecânica em pacientes sob ventilação mecânica

José Salvador Guzmán Casas,* Elida Morán Guel,* Javier Adrián Reyes Rodríguez,* Hugo Benjamín Gurrola García,* Edgardo Gutiérrez Ceballos,* Guadalupe Saraid Rodríguez Rojo*

RESUMEN

Introducción: la obesidad es una enfermedad causada por un exceso o una distribución anormal del tejido adiposo, conformando el principal problema de salud pública en México. El poder mecánico de la ventilación es un concepto que describe la compleja relación entre el aparato respiratorio y el ventilador mecánico en términos de entrega de energía. Este valor ha sido propuesto como meta de protección ventilatoria; sin embargo, debido a las características del paciente obeso, se teoriza que dicho valor puede verse influenciado en relación con el índice de masa corporal (IMC).

Objetivo general: evaluar la correlación entre el índice de masa corporal y valor de poder mecánico en pacientes bajo ventilación mecánica en la unidad de cuidados intensivos de la UMAE 71.

Material y métodos: se ejecutó un estudio observacional, prospectivo, de tipo correlación, en adultos bajo ventilación mecánica atendidos en la unidad de cuidados intensivos adultos (UCIA), del 01 de junio al 30 de agosto de 2024. Se incluyeron las siguientes variables de estudio: edad, género, IMC y poder mecánico. El tamaño de muestra (14 pacientes) se calculó mediante la fórmula de correlación simple en un grupo. Se evaluó el coeficiente de correlación r de Pearson entre IMC y poder mecánico.

Resultados: se encontró una correlación entre el poder mecánico-IMC de 35% ($p = 0.214$); poder mecánico-talla se encontró una correlación de 85% ($p < 0.001$), poder mecánico-presión resistiva 49% ($p = 0.075$), poder mecánico-presión pico 0.740 ($p = 0.002$), poder mecánico-volumen tidal 0.737 ($p = 0.003$).

Conclusión: a pesar del fundamento teórico no se encontró correlación entre el IMC y el poder mecánico; sin embargo, el análisis de esta fórmula nos permite dilucidar que la talla es un factor con una alta correlación con el poder mecánico y nos lleva a cuestionar el valor de esta meta de protección pulmonar y su aplicabilidad en pacientes de nuestro medio.

Palabras clave: índice de masa corporal, poder mecánico, obesidad.

ABSTRACT

Introduction: obesity is a disease caused by an excess or abnormal distribution of adipose tissue, making up the main public health problem in Mexico. The mechanical power of ventilation is a concept that describes the complex relationship between the respiratory system and the mechanical ventilator in terms of energy delivery. This value has been proposed as a goal of ventilatory protection, however, due to the characteristics of the obese patient; It is theorized that this value may be influenced in relation to body mass index (BMI).

Objective: to evaluate the correlation between body mass index and mechanical power value in patients under mechanical ventilation in the intensive care unit of the UMAE 71.

Material and methods: an observational, prospective, correlation-type study will be carried out in adults under mechanical ventilation treated in the adult intensive care unit (AICU), from June 01 to August 30, 2024. The following study variables will be included: age, gender, BMI and mechanical power. The Pearson r correlation coefficient between BMI and mechanical power will be evaluated.

Results: a correlation was found between mechanical power-BMI of 35% ($p = 0.214$); mechanical power-height a correlation of 85% was found ($p < 0.001$), Mechanical Power- Resistive pressure 49% ($p = 0.075$), mechanical power-peak pressure 0.740 ($p = 0.002$), mechanical power-tidal volume 0.737 ($p = 0.003$).

Conclusions: despite the theoretical foundation, no correlation was found between BMI and mechanical power; However, the analysis of this formula

allows us to elucidate that height is a factor with a high correlation with mechanical power and leads us to question the value of this lung protection goal and its applicability in patients in our environment.

Keywords: body mass index, mechanical power, obesity.

RESUMO

Introdução: a obesidade é uma doença causada pelo excesso ou distribuição anormal do tecido adiposo, constituindo o principal problema de saúde pública no México. A potência mecânica da ventilação é um conceito que descreve a complexa relação entre o sistema respiratório e o ventilador mecânico em termos de fornecimento de energia. Esse valor tem sido proposto como um objetivo de proteção ventilatória, no entanto, devido às características do paciente obeso, considera-se que esse valor pode ser influenciado em relação ao IMC.

Objetivo geral: avaliar a correlação entre o índice de massa corporal e o valor da potência mecânica em pacientes sob ventilação mecânica na unidade de terapia intensiva.

Material e métodos: será realizado um estudo observacional, prospectivo, do tipo correlação, em adultos sob ventilação mecânica atendidos na UTI, no período de 1o de junho a 30 de agosto de 2024. Serão incluídas as seguintes variáveis do estudo: idade, sexo, IMC e Potência Mecânica. O tamanho da amostra (14 pacientes) foi calculado pela fórmula de correlação simples em um grupo. Será avaliado o coeficiente de correlação r de Pearson entre IMC e potência mecânica.

Resultados: foi encontrada correlação entre Potência Mecânica-IMC de 35% ($p = 0.214$); foi encontrada correlação Potência Mecânica-Altura de 85% ($p < 0.001$), Potência Mecânica-Pressão Resistiva 49% ($p = 0.075$), Potência Mecânica-Pressão de pico 0.740 ($p = 0.002$), Potência Mecânica-Volume corrente 0.737 ($p = 0.003$).

Conclusão: apesar da fundamentação teórica, não foi encontrada correlação entre IMC e potência mecânica; contudo, a análise desta fórmula permite elucidar que o tamanho é um fator com elevada correlação com a potência mecânica e nos leva a questionar o valor desta meta de proteção pulmonar e sua aplicabilidade em pacientes do nosso meio.

Palavras-chave: índice de massa corporal, potência mecânica, obesidade.

Abreviaturas:

IMC = índice de masa corporal

PEEP = Presión positiva al final de la espiración (positive end-expiratory pressure)

SDRA = síndrome de dificultad respiratoria aguda

UCIA = unidad de cuidados intensivos adultos

INTRODUCCIÓN

Obesidad en ventilación mecánica

La obesidad, especialmente la obesidad abdominal (distribución androide) y la obesidad severa, da como resultado alteración de la anatomía y fisiología respiratoria, por lo tanto, condiciona una vía aérea difícil, así como asincronías ventilatorias durante la ventilación mecánica.

La obesidad parece estar asociada con un incremento del riesgo de síndrome de dificultad respiratoria aguda¹ e infecciones (predominantemente neumonía).²

En pacientes ventilados, la obesidad incrementa los días de estancia en UCIA, así como los días de ventilación mecánica.³

* Medicina del Enfermo en Estado Crítico. UMAE No. 71, Instituto Mexicano del Seguro Social, Torreón, Coahuila, México.

Recibido: 20/09/2024. Aceptado: 25/09/2024.

Citar como: Guzmán CJS, Morán GE, Reyes RJA, Gurrola GHB, Gutiérrez CE, Rodríguez RGS. Correlación entre el índice de masa corporal y valor de poder mecánico en pacientes bajo ventilación mecánica. Med Crit. 2024;38(7):536-541. <https://dx.doi.org/10.35366/119523>

Sin embargo, se ha observado que, aunque la obesidad incrementa la morbilidad, parece ser protectora contra la mortalidad como se ha evidenciado en pacientes con enfermedad coronaria,⁴ diabetes tipo 2,⁵ así como en pacientes críticamente enfermos.^{6,7} A este fenómeno se le ha nombrado la paradoja de la obesidad.

Modificaciones respiratorias en el paciente obeso:

Las alteraciones ventilatorias del paciente con obesidad se caracterizan por un aumento del trabajo respiratorio, así como disminución del intercambio gaseoso; lo anterior se explica principalmente por la disminución del volumen pulmonar, causado por un desplazamiento craneal del diafragma, por un incremento de masa tisular en el abdomen y de tejido adiposo torácico.⁸

En múltiples estudios, la frecuencia respiratoria espontánea se ha documentado de 15 a 21 respiraciones por minuto en pacientes mórbidamente obesos (BMI > 40 kg/m²), cuando es cercana a 10 a 12 respiraciones por minuto en pacientes no obesos.⁹ Además, la presión intraabdominal se eleva debido al incremento del depósito del tejido adiposo visceral.

Los pacientes obesos tienen un decremento en la distensibilidad torácica y pulmonar, una reducción en la capacidad residual funcional y un incremento del trabajo respiratorio comparado con los pacientes no obesos.¹⁰

En pacientes obesos existe un incremento en la formación de atelectasias debido a los efectos negativos del peso de la pared torácica y la grasa abdominal en la distensibilidad pulmonar; estas atelectasias son mayormente exacerbadas por la posición supina y después de la anestesia general y la ventilación mecánica.¹¹ Presentándose además disminución de la capacidad residual funcional, lo cual se ha documentado de 5 a 15% por cada 5 kg/m²,¹² en el índice de masa corporal y de la oxigenación arterial, la cual disminuye con el incremento del peso, mayormente debido a que el consumo de oxígeno y el trabajo respiratorio está incrementado en pacientes obesos.¹³ En reposo, el consumo de oxígeno es 1.5 veces mayor en pacientes obesos que en pacientes no obesos.

Poder mecánico como concepto

El poder mecánico de la ventilación es un concepto que describe la compleja relación entre el aparato respiratorio y el ventilador mecánico en términos de entrega de energía.¹⁴

Las características elásticas y resistivas del sistema respiratorio de un paciente se combinan con la configuración del ventilador y se expresan como la energía total, utilizada para distender el sistema respiratorio al administrar una respiración; la tasa de entrega de ener-

gía define el concepto de poder mecánico,¹⁵ la energía por respiración es el producto del valor absoluto de presión multiplicado por la variación de volumen (volumen tidal programado).

Al observar la fórmula del poder mecánico (véase desglose algebraico en *Anexos*), podemos inferir que el poder mecánico es resultado de la suma de productos, por lo que, al tener un incremento en alguna de las variables, ésta modificará el valor total. Cada componente de la ecuación del movimiento en efecto es una presión. El primero es la elastancia del sistema respiratorio, el segundo el componente resistivo y por último la presión positiva al final de la espiración (PEEP, *positive end-expiratory pressure*) asignado.

En la *Figura 1* se representa la energía que debe ser aplicada al sistema respiratorio para incrementar su volumen, por encima del volumen residual y podemos observar una representación de la ecuación de poder mecánico, que está compuesta por un triángulo grande (en color verde + azul) al que se añade un paralelogramo a la derecha (amarillo).

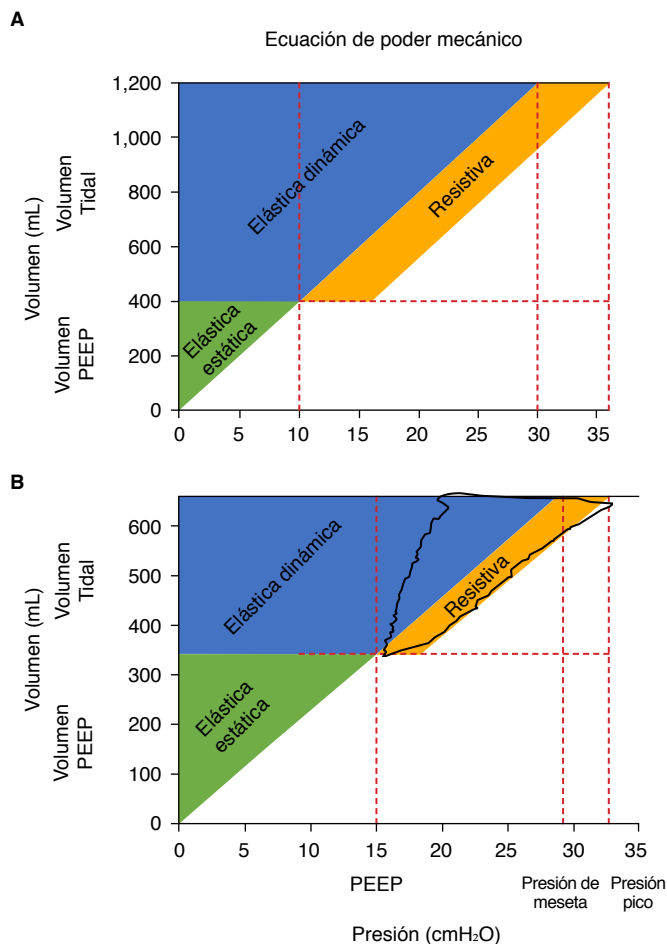


Figura 1: Representación de la ecuación de poder mecánico.

PEEP = *positive end-expiratory pressure*.

Tomado de: Gattinoni L, et al.¹⁴

En dicho triángulo el cateto izquierdo representa el total de volumen, mientras que el cateto superior representa la presión meseta. La hipotenusa representa la distensibilidad del sistema. El área del triángulo grande es la energía elástica total presente al nivel de presión meseta.

La energía elástica total tiene dos componentes: el triángulo pequeño (verde, elasticidad estática) que representa la energía entregada sólo una vez al aplicar PEEP; y el trapecioide rectangular (azul, elasticidad dinámica) cuya área representa la energía elástica representada en cada respiración.

Es importante destacar que el trapecioide rectangular resulta de la suma de dos componentes (ambos en azul), un rectángulo cuya área es volumen tidal multiplicado por PEEP (tercer componente de la ecuación de poder mecánico [PM]) y un triángulo cuya área es igual a volumen tidal multiplicado por el incremento de presión dividido entre 2, lo que es igual a la elastancia por el volumen tidal dividida entre 2 (primer componente de la fórmula).

El segundo componente de la fórmula de poder mecánico es el área del paralelogramo (amarillo), que es la presión resistiva. El tercer componente es el PEEP (sin embargo, este cambio de volumen se aplica en solo una ocasión; por lo que el producto es igual a cero. No obstante, se sigue considerando esta presión en la suma final). De acuerdo con lo anterior, podemos calcular la energía por respiración multiplicando (cada componente de la fórmula) por la variación de volumen.

De esta manera se representa en el artículo original en lo relativo a ejemplificarlo con parámetros programables del ventilador mecánico; sin embargo, se nos presenta en el suplemento electrónico 1 del artículo original el componente algebraico empleado, nuestro equipo realizó la simplificación algebraica para conocer el origen de los componentes de la fórmula original.

Poder mecánico como meta de síndrome de dificultad respiratoria aguda (SDRA)

La ventilación mecánica es una maniobra que salva vidas,¹⁶ aunque gran parte de los esfuerzos actuales se dirigen a evitar la lesión asociada a la ventilación mecánica. En estudios previos, se han descrito como estrategias de protección pulmonar la presencia de volumen tidal bajo,¹⁷⁻¹⁹ PEEP alto²⁰ así como parámetros en lo relativo a la distensibilidad como el valor presión meseta^{21,22} o el uso de la *driving pressure*.^{23,24} Sin embargo, no se había estudiado de manera clínica el efecto de la frecuencia respiratoria, por lo tanto, se estableció un modelo teórico que engloba dichas variables en un concepto que mide la energía transferida del ventilador mecánico al paciente.

Sobre la base de los principios termodinámicos básicos, esta hipótesis atribuye la lesión pulmonar a la tasa de transferencia de energía (potencia mecánica) del ventilador al paciente. Esta disipación de energía dentro de los pulmones puede provocar producción de calor, inflamación y deformación disruptiva de las células y la matriz extracelular.²⁵ Este modelo ha sido importante debido a que incluye los componentes de la ecuación del movimiento alveolar; sin embargo, carece de validación clínica, por lo que el conocimiento de las alteraciones ventilatorias ocasionadas por el incremento del índice de masa corporal (IMC) nos orientaría a un pensar en un incremento del poder mecánico asociado a dicha variable, debido a un incremento en el poder resistivo, se teoriza según lo encontrado en estudios previos y relacionado con el concepto de la paradoja de la obesidad, por lo que ante tal supuesto, habría que ajustar el valor meta de poder mecánico por IMC; asimismo, se han documentado modelos clínicos en los que se ha establecido que las fórmulas simplificadas que excluyen el poder resistivo son equivalentes; lo cual según se teoriza cambia en relación con variables externas como el IMC.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se ejecutó un estudio observacional, prospectivo, de tipo correlación, en adultos bajo ventilación mecánica atendidos en la UCIA del 01 de junio a 30 de agosto de 2024. Se incluyeron las siguientes variables de estudio: edad, género, IMC y poder mecánico y las variables necesarias para el cálculo de éste. El tamaño de muestra (14 pacientes) se calculó mediante la fórmula de correlación simple en un grupo con una correlación estimada de 0.5.

Se empleó el programa estadístico SPSS v25.0, con la utilización de estadística descriptiva, las variables cualitativas se expresan en frecuencias y porcentajes. Se probó la normalidad de la distribución mediante la prueba de Kolmogórov-Smirnov, se tomó como significativo el valor de $p < 0.05$. Se evaluó el coeficiente de correlación r de Pearson entre las variables incluidas y el valor de poder mecánico.

RESULTADOS

Durante el periodo comprendido entre 01 de junio al 30 de agosto de 2024 fueron evaluados un total de 16 de los cuales 14 presentaron fueron incluidos en el estudio. La recolección de datos se realizó a través de la medición al ingreso de los parámetros antropométricos y las variables necesarias para el cálculo del valor de poder mecánico.

Características basales de población

De los 14 pacientes evaluados, a todas las variables cuantitativas se les aplicaron pruebas de normalidad,

Tabla 1: Características basales de población.

Variables	Mínimo-máximo	Media \pm DE
Edad	18-70	45.29 \pm 17.81
Talla	1.54-1.90	1.66 \pm 0.94
Peso	52-133	83.32 \pm 22.95
IMC	21.05-47.84	30.04 \pm 6.68
Vol tidal	280-580	422.50 \pm 99.173
F. resp.	16-22	18.14 \pm 1.460
PEEP	5-8	5.57 \pm 0.93
P. meseta	10-19	14.74 \pm 2.60
P. Pico	17-30	22.36 \pm 4.54
Driving pressure	5-13	9.17 \pm 2.41
Presión resistiva	2.0-15.4	7.68 \pm 3.50
Poder mecánico	7.00-22.80	13.29 \pm 4.33
Sexo, n (%)		
Hombre	7 (50)	
Mujer	7 (50)	

F. resp. = frecuencia respiratoria. IMC = índice de masa corporal. P. meseta = presión meseta. P. pico = presión pico. Vol tidal = volumen tidal.

presentando distribución normal, por lo que se aplicó media y desviación estándar (Tabla 1). Entre ellas, la edad obtuvo una media de 45.29 ± 17.81 , la talla obtuvo una media de 1.66 ± 0.94 , el IMC 30.04 ± 6.68 , volumen tidal 422.50 ± 99.17 , presión meseta 14.74 ± 2.60 , presión resistiva 7.68 ± 3.50 , poder mecánico 13.29 ± 4.33 . El resto de variables se pueden observar en la Tabla 1.

Nuestra variable cualitativa se reportó con base en su frecuencia y porcentaje (Tabla 1), siendo la variable sexo que en 50% (7) correspondía a pacientes de sexo femenino, mientras que 50% (7) al sexo masculino.

Correlación de Pearson

Al tratarse de variables de distribución normal, se realizó un modelo de correlación de Pearson, se encontró una correlación entre el poder mecánico-IMC de 35% ($p = 0.214$); poder mecánico-talla se encontró una correlación de 85% ($p < 0.001$), poder mecánico-presión resistiva 49% ($p = 0.075$), poder mecánico-presión pico 0.740 ($p = 0.002$), poder mecánico-volumen tidal 0.737 ($p = 0.003$). El resto de variables se pueden observar en la Tabla 2.

DISCUSIÓN

El poder mecánico es un modelo que se ha propuesto para identificar la lesión pulmonar asociada a la ventilación mecánica; sin embargo, podría definirse como la suma de productos entre la distensibilidad pulmonar, la presión resistiva y el PEEP; dentro de estas variables es tomado en cuenta el cambio de volumen, lo que puede traducirse como el volumen tidal programado; Pelosi en su artículo titulado How I ventilate an obese patient refiere que el valor meta propuesto para minimizar VILI se encuentra entre 17-20 J/min; sin embargo, desconociéndose si el paciente con obesidad toleraría mayores

valores,²⁶ ya que en estados de incremento del IMC se ha observado un aumento en la presión resistiva debido al peso de la grasa torácica sobre la pared torácica, el desplazamiento craneal del diafragma y la tendencia a una mayor frecuencia respiratoria en este grupo, por otro lado Amato en su artículo nombrado *Ventilatory variables and Mechanical Power in Patients with Acute Respiratory Distress Syndrome*²⁷ concluyó que el poder mecánico sí tiene asociación con la mortalidad, durante la ventilación en modo asisto-controlado en SDRA; aunque encontró un modelo similar sólo tomando la *driving pressure* y la frecuencia respiratoria, excluyendo de esta manera la presión resistiva, por lo que al tomar el artículo de Gattinoni *Ventilator-Related causes of lung injury: The mechanical power*,¹⁴ quien encontró que este incrementa exponencialmente con el volumen tidal y con el incremento de la *driving pressure*, en este estudio se decidió evaluar el incremento de la presión resistiva y su repercusión en el incremento de la variable de estudio (IMC) y el incremento subsecuente del poder mecánico debido a lo anterior; sin embargo, sin poder identificar una correlación significativa entre dichas variables. Al analizar los componentes de la fórmula del IMC (talla y peso) y siendo el primero un determinante de las fórmulas actualmente empleadas para la programación del volumen tidal (peso predicho y peso ideal), se puede concluir que a mayor talla, mayor el volumen tidal a programar, y como se había descrito el incremento de volumen tidal aumenta exponencialmente el poder mecánico; lo relevante en este estudio es que existe una correlación significativa entre la talla y el valor de poder mecánico, algo que puede ser explicado matemáticamente debido a que el poder mecánico es una suma de productos; sin embargo, en nuestro país la media de talla es menor a la media mundial, por lo que se necesitarán estudios enfocados para decidir la aplicabilidad de esta variable como meta de protección pulmonar en pacientes latinoamericanos.

CONCLUSIONES

A pesar del fundamento teórico no se encontró correlación entre el IMC y el poder mecánico; sin embargo,

Tabla 2: Correlación de Pearson entre poder mecánico y otras variables.

Poder mecánico	Correlación de Pearson	p
Índice de masa corporal	0.354	0.214
Talla	0.850	< 0.001
P. resistiva	0.491	0.075
Presión pico	0.740	0.002
Volumen tidal	0.737	0.003
Peso	0.662	0.010
Driving pressure	0.520	0.057

el análisis de esta fórmula nos permite dilucidar que la talla es un factor con una alta correlación con el poder mecánico y nos lleva a cuestionar el valor de esta meta de protección pulmonar y su aplicabilidad en pacientes de nuestro medio.

REFERENCIAS

- Zhi G, Xin W, Ying W, Guohong X, Shuying L. "obesity paradox" in acute respiratory distress syndrome: a systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2016;11(9):e0163677. Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27684705/>
- Dobner J, Kaser S. Body mass index and the risk of infection - from underweight to obesity. *Clin Microbiol Infect*. 2018;24(1):24-28. Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28232162/>
- Zhao Y, Li Z, Yang T, Wang M, Xi X. Is body mass index associated with outcomes of mechanically ventilated adult patients in intensive critical units? A systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2018;13(6):e0198669. Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29883469/>
- De Schutter A, Lavie CJ, Milani RV. The impact of obesity on risk factors and prevalence and prognosis of coronary heart disease-the obesity paradox. *Prog Cardiovasc Dis*. 2014;56(4):401-408. Available in: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pcad.2013.08.003>
- Carnethon MR, De Chavez PJD, Biggs ML, Lewis CE, Pankow JS, Bertoni AG, et al. Association of weight status with mortality in adults with incident diabetes. *JAMA*. 2012;308(6):581-590. Available in: <https://jamanetwork.com/journals/jama/fullarticle/1309174>
- Hogue CW Jr, Stearns JD, Colantuoni E, Robinson KA, Stierer T, Mitter N, et al. The impact of obesity on outcomes after critical illness: a meta-analysis. *Intensive Care Med*. 2009;35(7):1152-1170. Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19189078/>
- Akinnusi ME, Pineda LA, El Solh AA. Effect of obesity on intensive care morbidity and mortality: a meta-analysis. *Crit Care Med*. 2008;36(1):151-158. Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18007266/>
- De Jong A, Wrigge H, Hedenstierna G, Gattinoni L, Chiumello D, Frat J-P, et al. How to ventilate obese patients in the ICU. *Intensive Care Med*. 2020;46(12):2423-2435. Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33095284/>
- Chlif M, Keochkerian D, Choquet D, Vaidie A, Ahmaidi S. Effects of obesity on breathing pattern, ventilatory neural drive and mechanics. *Respir Physiol Neurobiol*. 2009;168(3):198-202. Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19559105/>
- Pelosi P, Croci M, Ravagnan I, Vicardi P, Gattinoni L. Total respiratory system, lung, and chest wall mechanics in sedated-paralyzed postoperative morbidly obese patients. *Chest*. 1996;109(1):144-151. Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8549177/>
- Eichenberger A-S, Proietti S, Wicky S, Frascarolo P, Suter M, Spahn DR, et al. Morbid obesity and postoperative pulmonary atelectasis: an underestimated problem. *Anesth Analg*. 2002;95(6):1788-1792. Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12456460/>
- Jones RL, Nzekwu M-MU. The effects of body mass index on lung volumes. *Chest*. 2006;130(3):827-833. Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16963682/>
- Kress JP, Pohlman AS, Alverdy J, Hall JB. The impact of morbid obesity on oxygen cost of breathing (VO₂RESP) at rest. *Am J Respir Crit Care Med*. 1999;160(3):883-886. Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10471613/>
- 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. Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27620287/>
- Tharp WG, Neilson MR, Breidenstein MW, Harned RG, Chatfield SE, Friend AF, et al. Effects of obesity, pneumoperitoneum, and body position on mechanical power of intraoperative ventilation: an observational study. *J Appl Physiol*. 2023;134(6):1390-1402. Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37022962/>
- Paudel R, Trinkle CA, Waters CM, Robinson LE, Cassity E, Sturgill JL, et al. Mechanical power: a new concept in mechanical ventilation. *Am J Med Sci*. 2021;362(6):537-545. Available in: <http://dx.doi.org/10.1016/j.amjms.2021.09.004>
- Amato MBP, Barbas CSV, 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. Available in: <http://dx.doi.org/10.1056/nejm199802053380602>
- Brower RG, Matthay MA, Morris A, Schoenfeld D, Thompson BT, Wheeler A. 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(18):1301-1308. Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10793162/>
- 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):1311-1318. Available in: <http://dx.doi.org/10.1097/01.ccm.0000215598.84885.01>
- Briel M, Meade M, Mercat A, Brower RG, Talmor D, Walter SD, et al. Higher vs lower positive end-expiratory pressure in patients with acute lung injury and acute respiratory distress syndrome: Systematic review and meta-analysis. *JAMA*. 2010;303(9):865-873. Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20197533/>
- Jardin F. Tidal volume reduction in patients with acute lung injury when plateau pressures are not high. *Am J Respir Crit Care Med*. 2006;173(6):685b-686. Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16522768/>
- Villar J, Martín-Rodríguez C, Domínguez-Berrot AM, Fernández L, Ferrando C, Soler JA, et al. A quantile analysis of plateau and driving pressures: effects on mortality in patients with acute respiratory distress syndrome receiving lung-protective ventilation. *Crit Care Med*. 2017;45(5):843-850. Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28252536/>
- Amato MBP, Meade MO, Slutsky AS, Brochard L, Costa ELV, Schoenfeld DA, et al. Driving pressure and survival in the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med*. 2015;372(8):747-755. Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25693014/>
- Neto AS, Hemmes SNT, Barbas CSV, Beiderlinden M, Fernandez-Bustamante A, Futier E, et al. Association between driving pressure and development of postoperative pulmonary complications in patients undergoing mechanical ventilation for general anaesthesia: a meta-analysis of individual patient data. *Lancet Respir Med*. 2016;4(4):272-280. Available in: [http://dx.doi.org/10.1016/s2213-2600\(16\)00057-6](http://dx.doi.org/10.1016/s2213-2600(16)00057-6)
- 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. Available in: <http://dx.doi.org/10.1097/aln.0000000000001056>
- Ball L, Pelosi P. How I ventilate an obese patient. *Crit Care*. 2019;23(1):176. Available in: <https://doi.org/10.1186/s13054-019-2466-x>
- Costa ELV, Slutsky AS, Brochard LJ, Brower R, Serpa-Neto A, Cavalcanti AB, et al. Ventilatory variables and mechanical power in patients with acute respiratory distress syndrome. *Am J Respir Crit Care Med*. 2021;204(3):303-311. Available in: <http://dx.doi.org/10.1164/rccm.202009-3467oc>

Conflicto de intereses: sin conflicto de intereses.

Correspondencia:

José Salvador Guzmán Casas

E-mail: chavaplusk@hotmail.com

Anexos

Poder mecánico, análisis algebraico.

De acuerdo con la ecuación clásica del movimiento alveolar; la presión (P) en el sistema respiratorio es igual a:

$$P = EL_{rs} \cdot \Delta V + R_{aw} \cdot F + PEEP$$

Cada componente de la ecuación del movimiento en efecto es una presión. Siendo el primero la elastancia del sistema respiratorio, el segundo el componente resistivo y por último el PEEP asignado; por lo tanto, obtenemos

1) $EL_{rs} \cdot \Delta V = \Delta P$ (Componente de presión debido al retroceso elástico)

$$EL_{rs} = \frac{P_{plat} - PEEP}{\Delta V}$$

P_{plat} (presión meseta)

Siendo así mismo la distensibilidad del sistema respiratorio que es igual a

$$Distensibilidad_{rs} = \frac{\Delta V}{P_{plat} - PEEP}$$

ya que elastancia es igual a $\frac{1}{Distensibilidad}$

2) $R_{aw} \cdot F = P_{pico} - P_{plat}$ (componente de presión asociado al movimiento)

Siendo $R_{aw} = \frac{P_{pico} - P_{plat}}{F}$

Por lo tanto, se puede representar como:

$$Presión resistiva = \frac{P_{pico} - P_{plat}}{F}$$

El segundo componente de la fórmula de poder mecánico es el área del paralelogramo (amarillo) siendo esta la presión resistiva cuya área es igual a:

$$(P_{pico} - P_{plat}) \cdot VT$$

De acuerdo con lo anterior, podemos calcular la energía por respiración; multiplicando (cada componente de la fórmula) por la variación de volumen; de la siguiente manera:

$$E_{respiracion} = \Delta V (\Delta V \cdot EL_{RS} \cdot 1/2) + \Delta V (R_{aw} \cdot F) + \Delta V (PEEP)$$

El primer término se divide entre dos para aproximarse a la integral de su producto (área 1 triángulo de elastancia); el resto de los términos no requieren corrección.

$$E_{respiracion} = \Delta V^2 (EL_{RS} \cdot 1/2) + \Delta V (R_{aw} \cdot \Delta V / T \text{ insp}) + \Delta V (PEEP)$$

Tomando en cuenta que el término $R_{aw} = \frac{P_{pico} - P_{plat}}{F}$ y $F = \Delta V / T$ inspiratorio

$$\Delta V^2 \cdot EL_{RS} \cdot 1/2 + \Delta V \cdot \frac{(P_{pico} - P_{plat}) \cdot F}{F} + \Delta V \cdot PEEP$$

Al simplificar términos obtenemos

$$\Delta V^2 \cdot EL_{RS} \cdot 1/2 + \Delta V \cdot (P_{pico} - P_{plat}) + \Delta V \cdot PEEP$$

Teniendo en cuenta

$$EL_{RS} = \Delta P_{aw} / \Delta V$$

$$\Delta V^2 (\Delta P_{AW} / \Delta V \cdot 1/2) + \Delta V \cdot (P_{pico} - P_{plat}) + \Delta V \cdot PEEP$$

Al simplificar

$$\Delta V^2 (\Delta P_{AW} / \Delta V \cdot 1/2) + \Delta V \cdot (P_{pico} - P_{plat}) + \Delta V \cdot PEEP$$

$$\Delta V (\Delta P_{AW} \cdot 1/2) + \Delta V \cdot (P_{pico} - P_{plat}) + \Delta V \cdot PEEP$$

Al factorizar

$$\Delta V (\Delta P_{AW} \cdot 1/2 + (P_{pico} - P_{plat}) + PEEP)$$

Siendo que

$$\Delta P_{AW} = P_{plat} - PEEP$$

$$\Delta V ((P_{plat} - PEEP) \cdot 1/2 + (P_{pico} - P_{plat}) + PEEP)$$

$$\Delta V (1/2 P_{plat} - 1/2 PEEP + P_{pico} - P_{plat} + PEEP)$$

Al sumar factores semejantes

$$\Delta V (-1/2 P_{plat} + 1/2 PEEP + P_{pico})$$

$$\Delta V (P_{pico} - 1/2 (P_{plat} - PEEP))$$

Y para expresar el poder mecánico en j/min agregamos 0.098 y multiplicamos por la frecuencia respiratoria.

$$PODER MECÁNICO = 0.098 \cdot FR \cdot \Delta V (P_{pico} - \frac{P_{plat} - PEEP}{2})$$