

Análise da eficácia das equações para o cálculo da potência mecânica pulmonar: Revisão integrativa

Ludmilla Pinto Guiotti Cintra Abreu

Mestrando em Engenharia Biomédica pela UnB

Ronaldo Gonçalves Abreu

Mestrando em Engenharia Biomédica pela UnB

Glécia Virgolino da Silva Luz

Doutora em Engenharia Biomédica pela UnB

RESUMO

A Potência Mecânica (MP) pulmonar foi interpretada como a força aplicada pelo ventilador para deslocar um volume de ar dentro dos pulmões deformando o epitélio e o endotélio celular, por unidade de tempo, expressa dimensionalmente em Joules por segundo (J/s) ou Joules por minuto (J/min). Essa força aplicada gera energia, e o grau de transferência energética pode levar ao dano direto da membrana capilar alveolar e a mecanotransdução, que é a conversão de um estímulo mecânico em sinais bioquímicos e moleculares; além de ser dependente dos parâmetros ventilatórios ajustados à beira leito. A MP é importante por ser um parâmetro do ventilador que tem sido associado à mortalidade. Portanto o objetivo desta revisão é analisar a eficácia das equações para o cálculo da potência mecânica pulmonar. Trata-se de uma revisão integrativa abrangente, com busca nas seguintes bases de dados: BVS (BIREME), BVS (LILACS), CINAHL (EBSCO), Cochrane Library, Embase, IEEEExplore, PEDro, PubMed / MEDLINE, SciELO, ScienceDirect, Scopus e Web of Science (Clarivate Analytics). Foram encontrados 08 artigos elegíveis que propuseram cálculos da MP. Observou-se que os estudos com essa temática iniciaram a partir de 2016 com uma equação proposta por Gattinoni, sendo a quantidade de pesquisas relativamente pequena embora a MP seja uma variável associada a mortalidade. Identificou-se seis equações distintas, sendo 3 utilizadas em volume controlado e 3 a pressão controlada. Pode-se concluir que o cálculo da MP é importante para proteção pulmonar, pode ser utilizado a beira leito sem interrupção da ventilação e deve fazer parte da prática clínica. E por fim, as equações simplificadas são mais práticas de serem aplicadas e são altamente precisas, se comparadas ao padrão ouro de medição.

Palavras-chave: Potência mecânica pulmonar, Cálculo, Efetividade, Ventilação Mecânica.

1 INTRODUÇÃO

A ventilação mecânica (VM) é uma terapia de suporte vital (Silva et al., 2019), que assegura fluxo e volume de gases aos pulmões e atenua o trabalho respiratório (Wsr). Um mecanismo utilizado desde o século XVIII para tratar a Síndrome do Desconforto Respiratório Agudo (SDRA). Nos anos de 1980 observou-se que pulmões com SDRA eram heterogêneos, apresentando densas atelectasias, que resultavam em área de troca gasosa e insuflação mecânica limitada, surgindo o conceito de “baby lung” - relacionando essa limitação de pressão nos alvéolos à complacência pulmonar (Brochard; Bersten, 2019; Carvalho; Beda; Carvalho, 2019).

Já em 1990, por recomendações, a pressão de platô que avalia a pressão alveolar, foi iniciada na prática clínica (Brochard; Bersten, 2019). Além disso, foram descritos mais dois mecanismos de lesão pulmonar, o atelectrauma que ocorre pela abertura cíclica e colapso das regiões previamente colapsadas, e o biotrauma que seria a resposta inflamatória iniciada ou exacerbada pela ventilação mecânica. Então concluíram que para minimizar a lesão pulmonar induzida pelo ventilador (VILI) era preciso calcular o volume corrente (VT) através do peso predito do paciente, e que a relação desse volume com as dimensões do pulmão aerado (Cst) – denominado de Pressão de Distensão VT/Cst – era o índice que melhor analisaria o pulmão funcional (Carvalho; Beda; Carvalho, 2019).

Destaca-se que em estudos mais recentes a pressão de distensão pulmonar é a variável ventilatória mais fortemente relacionada à mortalidade e que alterações superiores a 15cmH₂O afetam o desfecho clínico do paciente (Bellani et al., 2016; Carvalho; Beda; Carvalho, 2019). Também observou-se recentemente que a frequência respiratória de repetição (RR) durante a ventilação mecânica controlada contribui para VILI. Assim, unificaram essas variáveis ventilatórias, sugerindo uma descrição matemática que chamaram de Potência Mecânica, em inglês, “Mechanical Power” (MP) (Carvalho; Beda; Carvalho, 2019).

A MP foi interpretada como a força aplicada pelo ventilador para deslocar um volume de ar dentro dos pulmões deformando o epitélio e o endotélio celular, por unidade de tempo, expressa dimensionalmente em Joules por segundo (J/s) ou Joules por minuto (J/min) (Carvalho; Beda; Carvalho, 2019; Gattinoni et al., 2016). Essa força aplicada gera energia, e o grau de transferência energética pode levar ao dano direto da membrana capilar alveolar e a mecanotransdução, que é a conversão de um estímulo mecânico em sinais bioquímicos e moleculares; além de ser dependente dos parâmetros ventilatórios ajustados a beira leito (Silva et al., 2019). A MP é importante por ser um parâmetro do ventilador que tem sido associado à mortalidade em pacientes sem SDRA (Silva; Rocco; Pelosi, 2020).

Uma das descrições matemáticas mais abrangentes para a MP, permite quantificar seus componentes elásticos, resistivos e volumétricos, separadamente, e prever mudanças (Silva et al., 2019). É descrita como (MP = 0,098 x RR x W_{sr}), em que 0,098 é o fator que converte LxcmH₂O em Joules, RR é a frequência respiratória de repetição, e W_{sr} é o trabalho respiratório (Gattinoni et al., 2016). Quando são inseridas as variáveis do W_{rs} na fórmula da MP, a descrição matemática é dada por:

$$MP = 0,098 \times RR \times \{ VT^2 \times \{ \frac{1}{2} \times E_{sr} + RR \times [(1 + I:E) / (60 \times I:E)] \times R_w \} + VT \times PEEP \};$$

sendo VT o volume corrente, E_{sr} o recuo elástico do sistema respiratório, I:E a razão entre os tempos inspiratório e expiratório, R_w a resistência total do sistema respiratório, e PEEP a pressão positiva expiratória final (Carvalho; Beda; Carvalho, 2019; Gattinoni et al., 2016). A MP é calculada em ventilação

mecânica controlada a volume, onde não há sobreposição de ações musculares e o fluxo é constante, referindo-se a fase inspiratória, não mensurando impactos sobre a fase expiratória [3]. Alguns autores colocam que pode ser mensurada em volume ou pressão controladas, e na utilização dos mesmos parâmetros ventilatórios, as potências são diferentes, sendo maiores a volume (Silva et al., 2019).

Portanto o objetivo desta pesquisa é analisar a eficácia das equações para o cálculo da MP pulmonar.

2 METODOLOGIA

Trata-se de uma revisão integrativa estruturada de acordo com o acrônimo PICO (Araújo, 2020), onde o P (População) foram adultos ventilados por VM; o I (Interesse) foi o uso do cálculo da MP; Co (Contexto) foi a eficácia, a praticidade e viabilidade das equações utilizadas. E priorizou-se essa metodologia pelo fato de proporcionar uma síntese de estudos heterogêneos e de ser abrangente sobre uma temática específica, além de sintetizar informações de diferentes fontes fortalecendo a base de evidências científicas e fornecendo suporte para a tomada de decisões em saúde (WEISE et al., 2020).

Para a busca dos estudos foi elaborada uma string geral: ("mechanical power" AND "mechanical ventilation" AND ("hospital mortality" OR "ventilator induced lung injury")) adaptada a cada base de dados conforme sua especificidade. As bases pesquisadas foram: BVS (BIREME), BVS (LILACS), CINAHL (EBSCO), Cochrane Library, Embase, IEEEXplore, PEDro, PubMed / MEDLINE, SciELO, ScienceDirect, Scopus e Web of Science (Clarivate Analytics), segundo a Tabela 1.

Tabela 1 – Buscas nas bases de dados e quantidade de estudos identificados.

BASE DE DADOS	STRING ESPECÍFICA	QUANTIDADE DE ESTUDOS
BVS (BIREME)	Title, abstract, subject: "mechanical power" AND "ventilation" AND "hospital mortality"	19
BVS (LILACS)	Title, abstract, subject: "mechanical power" AND "ventilation"	14
CINAHL (EBSCO)	AB "mechanical power" AND AB "mechanical ventilation"	223
Cochrane Library	("mechanical power"):ti,ab,kw AND (lung):ti,ab,kw	65
Embase	('hospital mortality'/exp OR 'hospital mortality' OR 'in-hospital mortality'/exp OR 'in-hospital mortality' OR 'mortality risk'/exp OR 'mortality risk') AND ('artificial ventilation'/exp OR 'mechanical ventilator'/exp OR 'ventilator weaning'/exp OR 'lung compliance'/exp OR 'one lung ventilation'/exp OR 'lung volume'/exp OR 'total lung capacity'/exp OR 'acute lung injury'/exp OR 'lung injury'/exp OR 'ventilator induced lung injury'/exp OR 'adult respiratory distress syndrome'/exp OR 'ventilator associated complication'/exp OR 'lung ventilation perfusion ratio'/exp OR 'positive pressure ventilation'/exp OR 'lung ventilation'/exp) AND ('mechanical power'/exp OR 'mechanical power'):ab	48
IEEEXplore	("Abstract": "Mechanical power") AND ("Abstract": "Mechanical ventilation")	71
PEDro	Abstract & Title: adult Subdiscipline: cardiothoracics Title Only: mechanical ventilation	23
	("mechanical power"[Title/Abstract] AND ("hospital mortality"[Title/Abstract] OR	

PubMed / MEDLINE	"Ventilatory parameters"[Title/Abstract] OR (Ventilators[Title/Abstract] AND mechanical[Title/Abstract]) OR "Mechanical Ventilator"[Title/Abstract] OR "Mechanical Ventilators"[Title/Abstract] OR "Pulmonary Ventilator"[Title/Abstract] OR "Pulmonary Ventilators"[Title/Abstract] OR Respirator[Title/Abstract] OR Respirators[Title/Abstract] OR Ventilator[Title/Abstract] OR (Ventilator[Title/Abstract] AND Mechanical[Title/Abstract]) OR (Ventilator[Title/Abstract] AND Pulmonary[Title/Abstract]) OR Ventilators[Title/Abstract] OR "Ventilators Pulmonary"[Title/Abstract])	193
SciELO	Expression: "mechanical power" AND "lung" Filters applied: (Collections: *) (Journal: *) (Language: *) (Year of publication: *) (SciELO Thematic Areas: *) (WoS Thematic Areas: *) (Citable and non-citable: *) (Type of literature: *)	13
ScienceDirect	Title, abstract, keywords: ("mechanical power" AND ("hospital mortality" OR "Ventilatory parameters" OR (Ventilators AND mechanical) OR "Mechanical Ventilator" OR "Pulmonary Ventilator" OR Respirator OR Ventilator)	26
Scopus	TITLE-ABS-KEY ("mechanical power" AND ("hospital mortality" OR "Ventilatory parameters" OR (ventilators AND mechanical) OR "Mechanical Ventilator" OR "Mechanical Ventilators" OR "Pulmonary Ventilator" OR "Pulmonary Ventilators" OR respirator OR respirators OR ventilator OR (ventilator AND mechanical) OR	246

Fonte: Elaborado pela autora com dados da pesquisa (2024). Utilizado apenas filtros de busca avançada e sem limite temporal – buscas por títulos, resumos e palavras-chaves. As buscas foram realizadas pela autora L.P.G.C.A., no período de 20 de janeiro de 2024. *Filtro: Estudos com resultados.

Para a seleção das publicações elegíveis para esta revisão considerou-se os critérios de inclusão: estudos publicados nos últimos 10 anos; em inglês, português ou espanhol e que abordassem a temática proposta. E para os critérios de exclusão foram considerados: referências duplicadas, estudos não disponíveis para leitura completa, dissertações e teses, e resumos simples e expandidos.

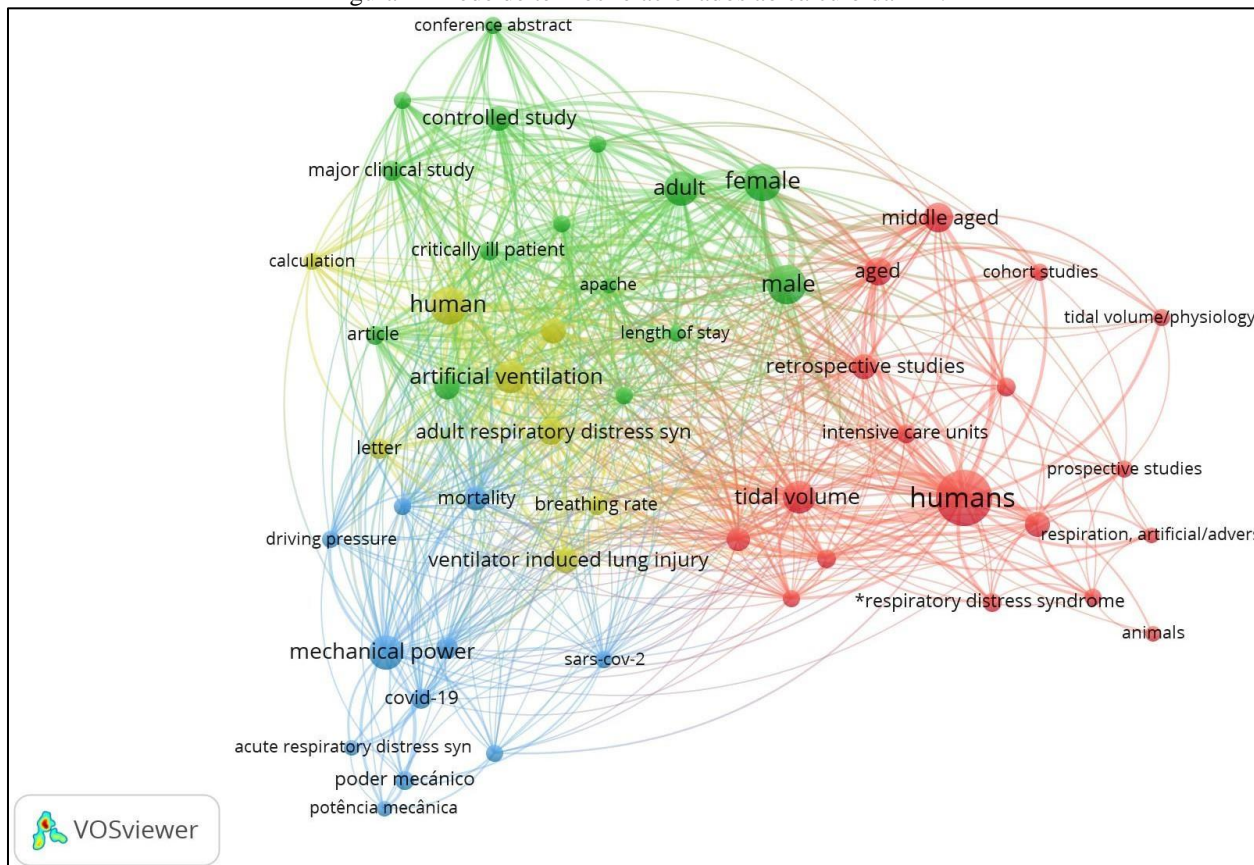
As referências duplicadas foram removidas utilizando o software Rayyan – Intelligent Systematic Review (OUZZANI et al., 2016). Da mesma forma, foi utilizado este software para seleção dos estudos elegíveis na Fase 1 (leitura de títulos e resumos) e na Fase 2 (leitura completa do texto) realizadas por dois revisores de forma independente, sendo respectivamente L.P.G.C.A e R.G.A. As inconformidades foram removidas através de discussão sobre a temática. E por fim, para a organização do quantitativo de publicações elegíveis em cada fase foi utilizado o Fluxograma PRISMA 2020 (PAGE et al., 2021).

Utilizou-se um modelo de tabela padronizado para a extração de dados dos estudos elegíveis. Os dados extraídos foram: autor, ano e país do estudo; delineamento; fórmula utilizada; objetivo do estudo e desfechos para a o paciente em ventilação mecânica invasiva. O desfecho principal analisado foi a efetividade no cálculo da potência mecânica pulmonar. E por fim, utilizou-se o software VOSviewer 1.6.18 (CWTS, 2023) para a análise bibliométrica dos estudos elegíveis quanto à ocorrência na literatura científica de suas palavras-chaves, assim como a relação e força entre elas.

3 RESULTADOS

Estudos com a temática de cálculo da MP e sua eficácia a beira leito foram observados a partir de 2016, sendo a quantidade relativamente pequena. Na Figura 1 estão representados a co-ocorrência entre os termos encontrados nas publicações elegíveis para esta revisão. Além disso, pode-se observar na mesma figura, o inter-relacionamento entre os termos e o número mínimo de ocorrências destes para 5, o que resultou em um total de 52 termos.

Figura 1 - Rede de termos relacionados ao cálculo da MP.

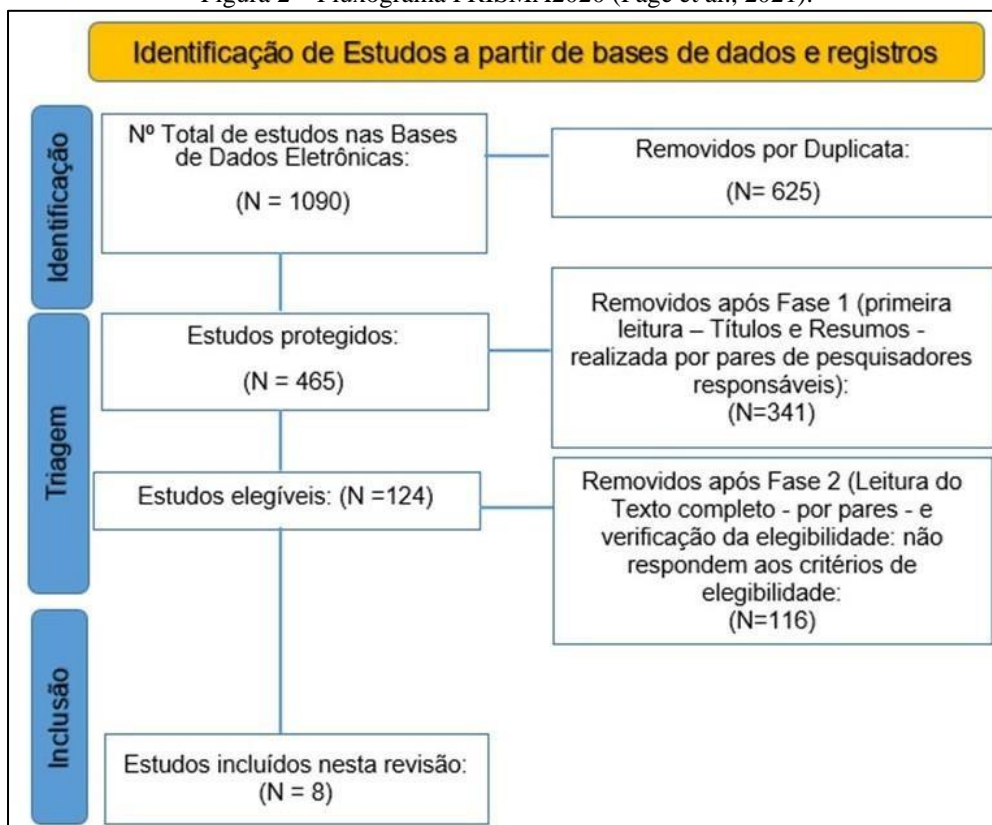


Fonte: Elaboração própria dos autores no software VOSviewer 1.6.18 (CWTS, 2023). Acesso em 01 de agosto de 2024.

Ao identificar os termos mais citados pode-se sugerir que são áreas de pesquisa já consolidadas e de interesse significativo para a comunidade científica. Além disso, esses achados indicam direções futuras para investigação.

Nesta revisão foram encontrados 1090 estudos nas bases de dados pesquisadas, sendo 625 duplicados e um total de 457 que não atendiam aos critérios de elegibilidade após a Fase 1 e 2, permanecendo para extração de dados apenas 8 artigos, conforme descrito na Figura 2.

Figura 2 – Fluxograma PRISMA2020 (Page et al., 2021).



Fonte: Elaboração própria dos autores, com dados da pesquisa (2024).

Quanto as características dos estudos incluídos 100% (N=8) abordavam equações para o cálculo da MP, sendo que a maioria 75% (N=6) comparavam a eficácia da fórmula e sua praticidade na aplicação a beira leito. Ainda foi possível observar uma superioridade no quantitativo de ensaios clínicos não randomizados (ECNR), sendo 62,5% (N=5) dos artigos elegíveis, seguidos pelos observacionais 25% (N=2). E houve ainda uma predominância da Alemanha como país de publicação sobre o tema com 37,5% (N=3).

Destaca-se o objetivo principal dos estudos foi analisar a precisão, a praticidade e a eficácia das equações disponíveis na literatura para aplicação a beira leito na prática clínica. E é importante enfatizar que a primeira equação abrangente proposta foi realizada por Gattinoni em 2016 e, portanto, é a fórmula a ser comparada nos demais artigos incluídos. E ainda, até o momento esse cálculo não é realizado de forma automática pelos ventiladores mecânicos, sendo necessário o cálculo manual do profissional responsável (Trinkle et al., 2022).

As características dos estudos elegíveis para esta revisão, assim como os principais desfechos apresentados são descritos na Tabela 1.

Tabela 1- Características e desfechos dos estudos elegíveis.

Autor/País de Publicação e Ano	Delineamento do estudo	Objetivo do estudo	Cálculo utilizado pelo estudo	Desfechos relacionados a PMP
Aşar et al., 2020. (Turquia)	Observacional	Desenvolver uma equação para calcular a MP dinâmica à beira leito de cabeceira (MPdyn) para ventiladores modernos usando o parâmetro do Trabalho Respiratório do Ventilador (WOBv).	Equação de Gattinoni X Proposta pelo artigo	<ul style="list-style-type: none"> - As equações não tiveram valores estatisticamente diferentes para pacientes em volume controlado, e a equação proposta por este artigo pode ser facilmente usada a beira leito. - A limitação deste estudo é que não comparou a equação proposta ao método geométrico (padrão ouro) para essa medição, por não possuir equipamentos.
Chi; He; Long, 2021. (China)	ECNR	Introduzir e validar um substituto simples para o cálculo da MP sem qualquer intervenção em pacientes ventilados com ou sem síndrome do desconforto respiratório agudo (SDRA).	Equação de Gattinoni X Proposta pelo artigo	<ul style="list-style-type: none"> - Comparou pacientes a ventilação volume controlado com fluxo constante. - A equação proposta permite o cálculo a beira leito sem interrupção da ventilação. - A potência total é o principal causador da VILI.
Chiumello et al., 2020. (Itália)	Observacional	Comparar os métodos atualmente disponíveis para o cálculo de MP durante a ventilação controlada por volume e pressão, comparando diferentes equações com o método de referência geométrica, para entender se as fórmulas de substituição mais fáceis de usar eram adequadas para a prática clínica cotidiana.	<p><u>Volume Controlado:</u> Fórmula Abrangente de Gattinoni X Simplificada de Gattinoni</p> <p><u>Pressão Controlada:</u> Fórmula Abrangente Van der Meijden X Simplificada de Becher</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Tanto para pacientes em volume controlado quanto em pressão controlada as formulas de MP podem ser utilizadas na prática clínica pois aproximam bem do método de referência. - Um uso amplo da MP deve ser encorajado na prática clínica para promover proteção pulmonar contra a VILI. - Para volume controlado a formula simplificada é de alta utilidade clínica e é prática. - A desvantagem da formula de Van der



				<p>Meijden é que depende do fluxo, e quando está em pressão controlada o fluxo não é constante, portanto é estimado. A consequência clínica é que a fórmula simplificada a pressão controlada também tem um alto grau de precisão e pode ser usada com segurança à beira leito sem necessidade de cálculos complexos.</p> <ul style="list-style-type: none">- É necessário conscientizar que altas frequências respiratórias prejudicam o pulmão pois faz parte da soma de energias liberadas pelo ventilador.
<p>Gattinoni et al., 2016. (Alemanha)</p>	<p>ECNR</p>	<p>Analisar as causas relacionadas a lesão pulmonar induzida pelo ventilador e se podem ser unificadas em uma única variável denominada de MP. Avaliar se a MP medida pelas alças pressão-volume pode ser computada a partir de seus componentes: volume corrente (VT) / pressão de condução (Paw), fluxo, pressão expiratória final positiva (PEEP) e frequência respiratória (RR).</p>	<p>Equação de Gattinoni</p>	<ul style="list-style-type: none">- Introduz o cálculo da MP através de variáveis simples da ventilação.- A MP medida pelo P-V <i>loop</i> pode ser computada a partir de seus componentes: VT / driving pressure (ΔP_{aw}), fluxo, PEEP e frequência respiratória (RR).- A MP aumenta exponencialmente com VT, ΔP_{aw} e fluxo, bem como com RR e linearmente com a PEEP.- Essa equação pode ser implementada a um software do ventilador.- Enfatiza que a MP é apenas parte do problema, a outra parte é representada pelas condições do pulmão.- Considerar a MP como um todo pode fornecer melhores informações do que



				considerar os seus componentes separadamente.
Gattinoni et al., 2017. (Alemanha)	Revisão	Compreender de forma mais completa a mecânica pulmonar da SDRA e sua interação com o ventilador.	Equação de Gattinoni	<ul style="list-style-type: none">- Efeitos das alterações da pressão transpulmonar são responsáveis pela VILI, enquanto que alterações da pressão pleural são responsáveis pela hemodinâmica.- O conhecimento do tamanho funcional do pulmão permitiria a estimativa quantitativa da tensão.- Encontrar um limiar de segurança para a MP, normalizado para o volume pulmonar funcional e a heterogeneidade dos tecidos, pode ajudar a definir com precisão os limites de segurança da ventilação.- Equação proposta relaciona a fase inspiratória da ventilação porém é bem possível que a fase expiratória possa desempenhar algum efeito.
Giosa et al., 2019. (Alemanha)	ECNR e <i>In vivo</i>	Comparar as fórmulas de referência e a proposta para o cálculo da MP em ventilação controlada a volume.	Equação de Gattinoni X Proposta pelo artigo	<ul style="list-style-type: none">- A complexidade da computação matemática da MP é um dos principais fatores que atrasam seu uso clínico.- Equação proposta é uma alternativa simples e precisa às mais complexas disponíveis até o momento. Não precisa de nenhuma intervenção clínica no ventilador. Limitações são a falta de normalização e a sua aplicação a todo o sistema respiratório (incluindo a parede torácica) e

				não apenas ao parênquima pulmonar.
Trinkle et al., 2022. (EUA)	ECNR	Apresentar uma nova equação de MP e avaliar sua precisão comparada a outras três equações publicadas na literatura para pacientes em PCV.	Equação de Becher simplificada X Equação de Becher X Van der Meijden X Equação proposta neste artigo (modelo linear)	<ul style="list-style-type: none"> - A maioria dos ventiladores não calculam de forma automática a MP. - Há a necessidade de uma equação simples para esse cálculo a beira leito. - Existem várias equações de MP para pacientes em volume controlado, mas não há para pressão controlada. - Maior precisão e praticidade da equação proposta neste artigo (modelo linear), se comparada as outras. <ul style="list-style-type: none"> - P-V loop é o “padrão ouro” para o cálculo preciso da MP. - MP é um parâmetro promissor para proteção pulmonar na ventilação. <p>Equação Becher simplificada incorre em erros quando o tempo de subida da inspiração é diferente de zero</p>
Wu et al., 2022. (Taiwan)	ECNR	Analisar a precisão de cálculo de MP de ventilação por uma equação comumente usada.	Equação de Gattinoni X Área do loop PV	<ul style="list-style-type: none"> - Medição de Gattinoni foi restrita a fase inspiratória, enquanto a área do P-V loop mede fases inspiratórias e expiratórias. <p>Gattinoni sugere que PEEP alta pode aumentar a MP e a chance de VILI, não sendo comprovada em outros estudos posteriores (clínicos e <i>in vivo</i>)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Incorporar a PEEP ao cálculo da MP é contraditório a lei básica da física, pois a PEEP seria uma pressão estática sem deslocamento de líquidos.

				- Alguns estudos mostraram relação da MP com a mortalidade de pacientes.
--	--	--	--	--

Fonte: Elaborado pelos autores com dados da pesquisa (2024). Legenda: ECR – Ensaio Clínico Randomizado; ECNR – Ensaio Clínico Não Randomizado; EUA – Estados Unidos da América; MAV2 - Modo de Ventilação Adaptativa 2; MP – Potência Mecânica; PCV – Ventilação Controlada a Pressão; PEEP – Pressão Expiratória Final Positiva; P-V – Pressão-volume; VILI – Lesão Pulmonar Induzida pelo Ventilador; VT – Volume Corrente.

4 DISCUSSÃO

A MP é uma variável importante na proteção pulmonar de pacientes ventilados mecanicamente de forma invasiva. A literatura científica aponta que um aumento acima de 12J/min através do aumento da RR acima de 35bpm foi associado a maior taxa de VILI, considerando pulmões não lesados e lesionados (Cressoni et al., 2016; Samary et al., 2016; 10]. A limitação neste valor absoluto de potência, para prática clínica, ocorre quando se considera o volume e tamanho pulmonar, e o RR utilizado (Samary et al., 2016). Como observado, também, pela literatura, os valores de 12 a 13 J/min não seria um limite, mas poderia ser usado beira leito para definir parâmetros com menor risco para os pacientes (Brochard; Bersten, 2019).

Ainda nesta vertente, altos valores desta MP estão relacionados a mortalidade hospitalar em pacientes internados em terapia intensiva e ventilados mecanicamente por um mínimo de 48h (Serpa-Neto et al., 2018; Silva et al., 2019). A MP pulmonar é provavelmente o principal determinante da VILI (Huhle et al., 2018), bem como da ativação de marcadores de inflamação e estresse alveolar na SDRA (Samary et al., 2016). Apesar da MP ser um avanço, e ser uma variável global da interação entre pulmão e o VM, a literatura sugere mais estudos (Carvalho; Beda; Carvalho, 2019; Samary et al., 2016). As equações existentes até o momento estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2 – Descrição das equações para o cálculo da MP publicadas até o momento pela literatura científica.

	Nome das Equações	Fórmulas
VCV	Gattinoni et al. (Abrangente)	$MP = 0,098 \times RR \times \{ VT^2 \times \{ \frac{1}{2} \times Esr + RR \times [(1 + I:E) / (60 \times I:E)] \times R_w \} + VT \times PEEP \}$
	Gattinoni et al. (Simplificada)	$MP = 0,098 \times RR \times [P_{pico} - (P_{platô} / 2 - PEEP / 2)] + VT \times PEEP$
	Giosa et al.	$MP = 0,1 \times RR \times [P_{pico} / 2 + PEEP / 2 + F / 12] + VT$
PCV	Van der Meijden	$MP = 0,098 \times RR \times P_{insp} \times (1 - T_{insp} / \pi) + VT \times PEEP$
	Becher et al. (Abrangente)	$MP = 0,098 \times RR \times (PEEP + P_{insp}) \times \Delta V - (P_{insp})^2 \times C \times (0,5 - RxC / T_{slope}) + (RxC / T_{slope})^2 \times (1 - e^{-T_{slope} / RxC})$
	Becher et al. (Simplificada)	$MP = (0,098 \times RR \times P_{insp}) + VT \times PEEP$

Fonte: Elaborado pelos autores com dados da pesquisa (2024).



A MP a volume controlado tem na sua formula simplificada grande utilidade clínica e praticidade. Um uso mais amplo deste cálculo deve ser encorajado na prática para proteção pulmonar contra VILI. A desvantagem na equação de Van der Meijden se encontra na dependência do fluxo, sendo que se o paciente estiver ventilando a pressão controlada esse fluxo é variável. A fórmula simplificada para uso a pressão controlada também tem alto grau de precisão e pode ser usada com segurança à beira leito, além de apresentar maior praticidade (Chiumello et al., 2020).

E por fim, verifica-se que a complexidade da computação matemática da MP é um dos principais fatores que atrasam seu uso clínico (Giosa et al., 2019).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A MP é uma variável ainda pouco utilizada na prática clínica, porém a literatura científica aponta um grande valor por ser um parâmetro de proteção pulmonar em pacientes ventilados mecanicamente de forma invasiva. Além disso é um parâmetro que se avaliado reduz mortalidade intra-hospitalar.

Ainda não foi pactuado uma única fórmula para uso a beira leito, embora estudos tragam a importância deste uso. Verificou-se nesta revisão que as equações simplificadas são mais precisas, mais práticas e de fácil compreensão se comparadas as demais. Também, pode ser observado que há fórmulas simplificadas tanto para pacientes ventilados a volume controlado quanto a pressão controlada.

Por fim, observa-se a necessidade de mais estudos para definir a equação mais eficaz para cada modo ventilatório e que esta sejam unificadas para prática clínica, assim como mantenha a praticidade, a segurança e a precisão para uso a beira leito.



REFERÊNCIAS

- AŞAR, S. et al. Bedside dynamic calculation of mechanical power: A validation study. *Journal of Critical Care*, v. 56, p. 167–170, 2020. DOI: 10.1016/j.jcrc.2019.12.027.
- BELLANI, G. et al. Epidemiology, patterns of care, and mortality for patients with acute respiratory distress syndrome in intensive care units in 50 countries. *JAMA*, v. 315, n. 8, p. 788–800, fev. 2016.
- BROCHARD, L.; BERSTEN, A. Mechanical Power: A Biomarker for the Lung? *Anesthesiology*, v. 130, p. 9-11, 2019.
- CARVALHO, A. R. S.; BEDA, A.; CARVALHO, N. Potência mecânica: um novo conceito na lesão pulmonar induzida pela ventilação mecânica. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FISIOTERAPIA CARDIORRESPIRATÓRIA E FISIOTERAPIA EM TERAPIA INTENSIVA; MARTINS, J. A.; REIS, L. F. F.; ANDRADE, F. M. D. (orgs.). PROFISIO Programa de Atualização em Fisioterapia em Terapia Intensiva Adulto: Ciclo 10. Porto Alegre: Artmed Panamericana, 2019. p. 113–126. (Sistema de Educação Continuada a Distância, v. 2).
- CHI, Y.; HE, H.; LONG, Y. A simple method of mechanical power calculation: using mean airway pressure to replace plateau pressure. *J Clin Monit Comput*, v. 35, n. 5, p. 1139-1147, 2021. DOI: 10.1007/s10877-020-00575-y.
- CHIUMELLO, D. et al. Bedside calculation of mechanical power during volume- and pressure-controlled mechanical ventilation. *Crit Care*, v. 24, n. 1, p. 417, 2020. DOI: 10.1186/s13054-020-03116-w.
- CRESSONI, M. et al. Mechanical power and development of ventilator-induced lung injury. *Anesthesiology*, v. 124, p. 1100–1108, 2016.
- CWTS. VOSviewer Software Leiden Centre for Science and Technology Studies. CWTS Leiden Ranking, 2023. Disponível em: <https://www.vosviewer.com/download>. Acesso em: 01 ago. 2024.
- GATTINONI, L. et al. Ventilator-related causes of lung injury: the mechanical power. *Intensive Care Med*, v. 42, n. 10, p. 1567-1575, 2016. DOI: 10.1007/s00134-016-4505-2.
- GATTINONI, L. et al. The future of mechanical ventilation: lessons from the present and the past. *Crit Care*, v. 21, n. 1, p. 183, 2017. DOI: 10.1186/s13054-017-1750-x.
- GIOSA, L. et al. Mechanical power at a glance: a simple surrogate for volume-controlled ventilation. *Intensive Care Med Exp*, v. 7, n. 1, p. 61, 2019. DOI: 10.1186/s40635-019-0276-8.
- HUHLE, R. et al. Is mechanical power the final word on ventilator-induced lung injury? — no. *Ann Transl Med*, v. 6, n. 19, p. 1–6, 2018.
- OUZZANI, M. et al. Rayyan-a web and mobile app for systematic reviews. *Systematic Reviews*, v. 5, n. 1, p. 1–10, 2016.
- PAGE, M. J. et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, v. 372, p. n. 29, mar. 2021.
- SAMARY, C. S. et al. Ventilator-induced lung injury: power to the mechanical power. *Anesthesiology*, v. 125, p. 1070–1071, 2016.



SERPA-NETO, A. 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*, v. 44, p. 1914, 2018.

SILVA, P. L. et al. Power to mechanical power to minimize ventilator-induced lung injury? *Intensive Care Medicine Experimental*, v. 7, Suppl 1, p. 38, 2019.

SILVA, P. L.; ROCCO, P. R. M.; PELOSI, P. Ten reasons to use mechanical power to guide ventilator settings in patients without ARDS. In: VINCENT, J.-L. (ed.). *Annual Update in Intensive Care and Emergency Medicine 2020*. Springer, 2020. p. 37-50.

TRINKLE, C. A. et al. Simple, accurate calculation of mechanical power in pressure controlled ventilation (PCV). *ICMx*, v. 10, p. 22, 2022. DOI: 10.1186/s40635-022-00448-5.

WEISE, A. et al. Assessing context suitability (generalizability, external validity, applicability or transferability) of findings in evidence syntheses in healthcare—An integrative review of methodological guidance. *Research Synthesis Methods*, v. 11, n. 6, p. 760–779, 2020. DOI: 10.1002/jrsm.1453.

WU, S. H. et al. Accuracy of calculating mechanical power of ventilation by one commonly used equation. *J Clin Monit Comput*, v. 36, n. 6, p. 1753-1759, 2022. DOI: 10.1007/s10877-022-00823-3.