

O MONITORAMENTO DA MECÂNICA PULMONAR NA VENTILAÇÃO MECÂNICA E SUA RELAÇÃO COM LESÃO PULMONAR

Aline Graziela Duarte Dias¹; Daniela Fátima Rocha da Silva²; Juliana Aliani Mayrink Souza³; Laila Cristina Moreira Damázio⁴

RESUMO

DIAS, A.G.D.; SILVA, D.F.R.; SOUZA, J.A.M.; DAMÁZIO, L.C.M. O monitoramento da mecânica pulmonar na ventilação mecânica e sua relação com lesão pulmonar. **Perspectivas Online: Biológicas & Saúde**, v. 11, n. 40, p. 54 - 69, 2021.

Introdução: A ventilação mecânica (VM) é utilizada para auxiliar na ventilação de um paciente crítico em diversas situações clínicas, porém, o manejo incorreto está associado as Lesões Pulmonares Induzidas pelo Ventilador (LPIV), principalmente quando se trata de paciente com comprometimento pulmonar. A Síndrome do Desconforto Respiratório Agudo (SDRA) é uma condição que tem seu tratamento diretamente relacionado a VM, uma vez que o ventilador mecânico reduz o desconforto respiratório. Estratégias de VM protetora vêm sendo utilizadas devido aumento da taxa de sobrevida, e tais estratégias visam ao Volume Corrente (VC) com números menores e PEEP elevadas evitando o colapso alveolar e reduzindo as tensões em tecidos pulmonares prevenindo as lesões induzidas por um manejo incorreto da VM. **Objetivo:** Investigar a relação entre o monitoramento da mecânica pulmonar durante a utilização da ventilação

mecânica e a ocorrência de lesão pulmonar induzida pela ventilação. **Métodos:** Revisão sistemática utilizando as bases de dados da Biblioteca Virtual de Saúde, MEDLINE, Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde (LILACS). Os descritores foram: “ventilação mecânica”, “lesão pulmonar induzida por ventilação mecânica”, “mecânica respiratória”. Foi utilizado o operador booleano “AND”, selecionados artigos nas línguas portuguesas, inglesas e espanhol nos últimos 10 anos. **Conclusão:** Para um bom prognóstico, é necessário o reconhecimento da condição pulmonar, a interação multidisciplinar, o conhecimento das condições clínicas da patologia e o manejo correto dos parâmetros ventilatórios. A VM protetora se mostrou benéfica afim de evitar as LPIV, preconizando VC baixo e monitorização da DP.

Palavras-chave: Respiração Artificial; Lesão Pulmonar Induzida por Ventilação Mecânica; Mecânica Respiratória

¹UNIPAC – Fundação Presidente Antônio Carlos – Barbacena MG; email: aline.duarte.dias@hotmail.com ;

²UNIPAC – Fundação Presidente Antônio Carlos – Barbacena MG; email: danizinha.bq@hotmail.com ;

³UNIPAC – Fundação Presidente Antônio Carlos – Barbacena MG; email: juliana.mayrink@hotmail.com ;

⁴ Doutora em Biologia Celular e Estrutural; email: lailacmdamazio@gmail.com .

Data de recebimento: 28/10/2021.

Aceito para publicação: 06/11/2021.

Data de Publicação 21/12/2021.

MONITORING PULMONARY MECHANICS IN MECHANICAL VENTILATION AND ITS RELATIONSHIP TO LUNG INJURY

Aline Graziela Duarte Dias¹; Daniela Fátima Rocha da Silva²; Juliana Aliani Mayrink Souza³; Laila Cristina Moreira Damázio⁴

ABSTRACT

DIAS, A.G.D.; SILVA, D.F.R.; SOUZA, J.A.M.; DAMÁZIO, L.C.M. monitoring pulmonary mechanics in mechanical ventilation and its relationship to lung injury. **Perspectivas Online: Biológicas & Saúde**, v. 11, n. 40, p. 54 - 69, 2021.

Introduction: Mechanical ventilation (MV) is used to assist in the ventilation of a critically ill patient in various clinical situations, however, incorrect management is associated with Ventilator-Induced Lung Injuries (IVLP), especially when it comes to a patient with pulmonary impairment. ARDS is a condition that has its treatment directly related to MV, since the mechanical ventilator reduces respiratory discomfort. Protective MV strategies have been used due to the increased survival rate, and such strategies aim at Tidal Volume (VT) with lower numbers and high PEEP, avoiding alveolar collapse and reducing tensions in lung tissues, preventing injuries induced by incorrect MV management.

Objective: To investigate the relationship between monitoring lung mechanics during the use of mechanical ventilation and the

Keywords: Respiration Artificial; Ventilator-Induced Lung Injury; Respiratory Mechanics.

occurrence of ventilation-induced lung injury. **Methods:** Systematic review using the databases of the Virtual Health Library, MEDLINE, Latin American and Caribbean Health Sciences Literature (LILACS). The descriptors were: “mechanical ventilation”, “mechanical ventilation-induced lung injury”, “respiratory mechanics”. The Boolean operator “AND” was used, selected articles in Portuguese, English and Spanish in the last 10 years. **Conclusion:** For a good prognosis, recognition of the pulmonary condition, multidisciplinary interaction, knowledge of the clinical conditions of the pathology and correct management of ventilatory parameters are necessary. Protective MV proved to be beneficial in order to avoid LPIV, recommending low TV and PD monitorin

¹UNIPAC – President Antônio Carlos Foundation – Barbacena MG; email: aline.duarte.dias@hotmail.com ;

² UNIPAC – President Antônio Carlos Foundation – Barbacena MG; email: danizinha.bq@hotmail.com ;

³ UNIPAC – President Antônio Carlos Foundation – Barbacena MG; email: juuliana.mayrink@hotmail.com ;

⁴ PhD in Cellular and Structural Biology; email: lailacmdamazio@gmail.com .

Receipt: 28/10/2021

Accepted for publication: 06/11/2021.

Date of Publicação 21/12/2021.

1. INTRODUÇÃO

A ventilação mecânica (VM) é comumente utilizada para auxiliar na ventilação de um paciente crítico em diversas situações clínicas^{1,2}, porém, o manejo incorreto da VM está intimamente associado as Lesões Pulmonares Induzidas pelo Ventilador (LPIV), principalmente quando se trata de paciente com algum comprometimento pulmonar prévio.³

Um dos principais conceitos a se esclarecer é sobre o movimento durante a VM de um paciente em suporte ventilatório. A pressão aplicada no sistema respiratório desse paciente em questão se dá pela soma de duas pressões: a pressão gerada pelo respirador e a pressão gerada pela musculatura respiratória. As variáveis envolvidas na pressão aplicada para ocorrer a ventilação de forma adequada são: pressão do sistema respiratório, pressão na abertura das vias aéreas, pressão gerada pela musculatura respiratória, volume, fluxo, resistência de vias aéreas, complacência do sistema respiratório e Pressão Expiratória Final Positiva (PEEP).^{4,5}

Vale ressaltar, que ao manusear a ventilação de um paciente de forma passiva, ou seja, quando a ventilação está inteiramente controlada pelo respirador, a pressão desenvolvida pela musculatura respiratória se torna insignificante. As estratégias de ventilação mecânica protetora vêm sendo utilizadas devido a associação com os benefícios e aumento da taxa de sobrevivência em pacientes com comprometimento pulmonar, mais especificamente a Síndrome do Desconforto Respiratório Agudo (SDRA). Tais estratégias visam a utilizar Volume Corrente (VC) com números mais baixos, de acordo com o peso predito do paciente, PEEP mais elevadas para evitar o colapso alveolar em pacientes que possuem alguma condição em que haja áreas não aeradas, objetivando reduzir as tensões geradas nos tecidos pulmonares onde em taxas elevadas podem causar lesões induzidas por um manejo incorreto da ventilação mecânica.³

A SDRA é uma condição que tem seu tratamento, na forma aguda, diretamente relacionado a VM, uma vez que o auxílio do ventilador mecânico durante a ventilação do paciente proporciona a redução do desconforto respiratório, porém o manejo incorreto dessa terapia traz consequências significativas para o indivíduo.⁶

A primeira definição de SDRA aconteceu em 1967, quando *Ashbaugh et al.* apresentaram 12 pacientes com sintomas semelhantes, sendo eles: início agudo de taquipneia, hipoxemia e redução de complacência. Atualmente, *Murray et al.* apresentaram um diagnóstico baseado em quatro pontos relevantes: radiografia de tórax, hipoxemia, nível de PEEP utilizado e complacência estática do sistema respiratório. Após observação desses componentes, a pontuação entre 0,1 e 2,5 caracteriza SDRA leve ou moderada, e acima de 2,5, SDRA grave. Para a confirmação do diagnóstico, é necessário a presença de infiltrados bilaterais e hipoxemia.⁵

Tendo em vista que a ventilação fisiológica acontece por meio de movimentos da caixa torácica e tecidos pulmonares, podemos entender a importância da monitorização da mecânica respiratória durante uma ventilação na qual o paciente está completamente dependente, pois o termo “mecânica” se caracteriza pela análise do movimento, variações de energia e forças que atuam sobre um corpo específico, objeto ou sistema. Dessa forma, podemos presumir a importância da monitorização da mecânica respiratória de um paciente em ventilação mecânica devido a um comprometimento pulmonar, tendo em vista que o sistema respiratório se dá por variações de pressões e constante movimento para se manter em pleno funcionamento, ofertando oxigênio para todos os tecidos de forma fisiológica.⁵

Entretanto, o manejo incorreto da ventilação mecânica, principalmente em pacientes que possuem uma lesão pulmonar aguda ou a SDRA, pode causar lesões significativas e, como

consequência, um pior prognóstico para o paciente. Por isso, a monitorização da mecânica respiratória durante a VM auxilia em um maior entendimento do prognóstico e da forma correta de ajustar os parâmetros ventilatórios de forma segura e protetora do paciente com suas devidas particularidades.⁵

Apesar dos inúmeros benefícios dessa terapia em pacientes com a SDRA, ela pode causar LPIV, como o barotrauma e o volutrauma sendo eles decorrentes de altos volumes e altas pressões. Diante deste contexto, os ajustes realizados na VM associado a outras estratégias como a posição prona são imprescindíveis para obter um melhor prognóstico.⁷

Estudos apontam que a VM é essencial no âmbito hospitalar, uma vez que proporciona um aumento significativo da recuperação dos pacientes com insuficiência respiratória aguda ou crônica, pois permite diminuir o trabalho respiratório facilitando as trocas gasosas, porém, a VM pode exacerbar ou iniciar uma LPIV, sendo capaz de aumentar a taxa de mortalidade.⁸

Portanto, o objetivo desta pesquisa foi investigar a relação entre o monitoramento da mecânica pulmonar durante a utilização da ventilação mecânica e a ocorrência de lesão pulmonar induzida pela ventilação. Assim, o estudo contribuirá para o maior conhecimento sobre a devida utilização da VM a fim de evitar a LPIV.

2. MÉTODOS

O presente estudo é uma revisão sistemática⁹ que utilizou as bases de dados da Biblioteca Virtual de Saúde (BVS/BIREME), MEDLINE, Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde (LILACS) e outros periódicos. Para construção da pergunta norteadora da pesquisa foi utilizada a ferramenta do acrônimo PICO¹⁰, onde o P embasou na pesquisa de pacientes com comprometimento do tipo lesão pulmonar por ventilação mecânica; o I se referiu aos padrões ventilatórios utilizados em pessoas que obtiveram revesão de quadros respiratórios graves; o C que se refere aos pacientes que apresentam lesão pulmonar por ventilação mecânica; O se refere aos parâmetros respiratórios controlados na VM que permitem gerar benefícios na respiração dos pacientes. Assim, os descritores usados para as bases de dados foram: “ventilação mecânica”, “lesão pulmonar por ventilação mecânica”, “mecânica respiratória”. Foram usados nas combinações dos descritores com a utilização do operador booleano “AND”, as mesmas nas línguas portuguesas, inglesas e espanhol nos últimos 10 anos. Foi realizado este recorte de 10 anos para seleção de estudos mais atuais na área da pesquisa.

A fase 1 da revisão consistiu em buscar de artigos produzidos a partir de 2010, em português, inglês e espanhol, os quais compuseram o conjunto inicial desta revisão mediante leitura dos resumos/abstracts. Nesta fase foram identificados 34 estudos. Permaneceram na composição da revisão aqueles que se adequaram ao tema proposto e que estiveram disponíveis na íntegra. Foram excluídas comunicações de eventos acadêmicos e artigos que não abordaram o tema proposto.

A fase 2 envolveu os estudos remanescentes da fase 1, os quais foram analisados mediante os critérios de: (1) técnica empregada pelos autores em relação aos resultados obtidos e (2) análise dos efeitos encontrados nos estudos. Nesta fase foram encontrados 12 artigos.

3. RULTADOS

Para melhor compreensão, os artigos foram descritos a partir do autor, objetivo principal, métodos e resultados na tabela 1.

Tabela 1. Resultados dos artigos analisados.

Ano	Autor/	Objetivo	Métodos	Resultados
Kacmarek et al. 2016 ¹¹		Comparar o protocolo de rede da Síndrome do Desconforto Respiratório Agudo (SDRA) usando níveis baixos de pressão expiratória final positiva decremental com a técnica de pulmão aberto.	Foi realizado ensaio clínico, randomizado controlado, em uma rede de 20 UTI's, selecionados 99 pacientes para abordagem de pulmão aberto e 101 para protocolo de rede de síndrome do desconforto respiratório agudo, cujo relação PaO ₂ /FiO ₂ permanecendo maior ou igual a 200 mmHg, todos os ventiladores padronizados com Fio ₂ ≥ 0,5, pressão expiratória final positiva ≥ 10 cm H ₂ O ventilados com um volume corrente de 4 a 8 ml/Kg do peso predito.	A abordagem pulmonar aberta melhorou a oxigenação e a pressão de direção, porém há necessidade de um estudo maior que aborde manobras de recrutamento e um ensaio de pressão expiratória final positiva decremental
Loring e Malhotra, 2015 ¹²		Verificar se a pressão motriz, ou DP, medida em pacientes diagnosticados com SDRA, durante o período de ventilação mecânica em modo pressão de suporte estão independentemente ligadas ao aumento da mortalidade em UTI's.	Foram selecionados pacientes maiores de 18 anos, com pelo menos 4 dias de ventilação mecânica, sendo pelo menos 1 dia em modo controlado e 3 dias em modo ventilação assistida e diagnosticados com SDRA. Durante os três primeiros dias de VM assistida foram associadas a pressão de pico, pressão motriz e complacência do sistema respiratório e o índice de mortalidade na UTI. Também foram avaliados a complacência do sistema respiratório e se o volume do pulmão agravou, onde 34	A pressão motriz mais alta e uma menor complacência estão relacionados a aumento da mortalidade, a pressão de platô, pressão motriz e complacência do sistema respiratório podem também ser medidas durante a ventilação espontânea.

(22%) dos pacientes de 154 vieram a óbito.

Neumann,
2016⁶

Verificar se o volume corrente usado de acordo com a área ventilável é melhor do que o peso ideal.

Análise de revisão realizada através de artigos selecionados, com pacientes diagnosticados com síndrome de desconforto respiratório agudo, levando em consideração o modo ventilatório, o cálculo do peso ideal, valor de PEEP e relação PaO₂/FiO₂.

A pressão de conformidade deve ser o parâmetro de maior relevância durante a ventilação mecânica pois permite um melhor prognóstico, aumento de sobrevivência e desfechos satisfatórios.

Villar *et al.*,
2017¹³

Testar se a pressão motriz é superior às variáveis que a definem na previsão de resultados em pacientes com SDRA.

Análise secundária de dados de 478 pacientes, 24 horas após o diagnóstico da síndrome da angústia respiratória aguda, enquanto ventilados com ventilação de proteção.

O volume corrente e a pressão expiratória final positiva não tiveram impacto na mortalidade. Identificou-se um valor de corte de pressão de platô de 29 cm H₂O, acima do qual um incremento ordinal foi acompanhado por um incremento do risco de morte. Identificou-se um valor de corte de pressão motriz de 19 cm H₂O, onde um incremento ordinal foi acompanhado por um incremento do risco de morte. A pressão de platô foi melhor do que a pressão motriz em relação ao índice de mortalidade, após o início da SDRA.

Amato <i>et al.</i> , 2015 ¹⁴	Verificar se estratégias de ventilação mecânica que usam platô mais baixo, volumes correntes mais baixos e PEEP, podem melhorar a sobrevida em pacientes com a SDRA.	Análise de mediação multinível avaliando dados individuais de 3.562 pacientes com SDRA inscritos em nove estudos randomizados, de acordo com o driving pressure.	Indivíduos portadores da SDRA possuem uma área reduzida do pulmão para realizar a troca gasosa, sendo assim, ao ventilar um paciente com esse comprometimento é necessário manipular com a definição de um “pulmão de bebê”.
Saddy, 2011 ⁵	Presumir a importância da monitorização da mecânica respiratória de um paciente em ventilação mecânica devido a um comprometimento pulmonar, tendo em vista que o sistema respiratório se dá por variações de pressões e constante movimento para se manter em pleno funcionamento, ofertando oxigênio para todos os tecidos de forma fisiológica.	Estudo envolvendo 53 pacientes com SDRA, dividido em dois grupos, um com tratamento convencional, sendo VC 12ml/kg; PEEP mínima para PaO ₂ normal e PaCO ₂ entre 35 e 38mmHg, e outro grupo com tratamento com ventilação protetora, sendo PEEP titulada observando a curva pressão X volume e mantida 2cmH ₂ O acima do ponto de inflexão da curva, VC menor que 6ml/kg, e o gradiente de pressão acima da PEEP. Manobras de recrutamento alveolar com CPAP de 35-40 cmH ₂ O por 40 segundos.	O estudo demonstra redução de 71% da mortalidade em pacientes ventilados de forma protetora.
Needham <i>et al.</i> , 2014 ¹⁵	Avaliar a associação da mortalidade na UTI, de acordo com o volume corrente inicial e com a variação do volume corrente durante o tempo em ventilação mecânica.	Foram avaliados 482 pacientes com SDRA monitorando volume corrente duas vezes ao dia, avaliado peso predito e outros preditores de mortalidade.	Foi evidenciado que a ventilação titulada com volume corrente mais baixo reduz a taxa de mortalidade.

Bastos-Netto
et al. 2021¹⁶

O estudo objetivou correlacionar a VM protetora e a mortalidade em pacientes com fator de risco para SDRA e identificar ajustes de associação de parâmetros ventilatórios considerados não protetores nesses pacientes.

O estudo foi conduzido em uma UTI clínico cirúrgica com nove leitos de um hospital universitário na cidade de Juiz de Fora. Em pacientes com idade maior ou igual a 18 anos, admitidos na UTI que apresentavam pelo menos um fator de risco para o desenvolvimento de SDRA: pneumonia, sepse, choque, aspiração por conteúdo gástrico, pancreatite, transfusão de componentes do sangue, trauma, contusão pulmonar e lesão pulmonar por inalação ou quase afogamento. Todos foram ventilados por um ventilador semelhante com início no modo pressão controlada, podendo ser modificado para pressão de suporte se o paciente encontrava estável e mais acordado. Foram divididos em dois grupos, sendo um de ventilação protetora e outro de ventilação não protetora. Foram inclusos no estudo 116 pacientes, analisados durante 7 dias sendo monitorado parâmetros ventilatórios duas vezes ao dia.

Foi identificado que não existe relação entre VM não protetora e aumento da mortalidade, por outro lado a VM protetora mostrou ser eficaz baseada na DP, onde a DP elevada nos primeiros 7 dias associou-se a uma maior mortalidade e o ajuste da DP em VM protetora, mostrou-se mais eficaz quando associada a monitorização do VT em pacientes com risco de SDRA.

Tucci *et al.*,
2011³

Verificar se o manejo incorreto da VM está intimamente associado às lesões pulmonares induzidas pelo ventilador.

Artigo de revisão sobre LPIV em pulmões doentes e pulmões saudáveis.

Pacientes com pulmões saudáveis apresentaram uma expansão homogênea, distribuindo as tensões igualmente para todas as fibras pulmonares, alguns fatores contribuem para o surgimento de LPIV em

respostas aos processos inflamatórios, como por exemplo, cirurgias necessitando de anestesia geral, tempo de VM prolongado, a utilização de PEEP abaixo do fisiológico, aumento do espaço morto e da resistência vascular periférica.

Cavalcanti <i>et al.</i> , 2018 ¹⁷	Determinar se o recrutamento pulmonar associado à titulação da PEEP com melhor complacência do sistema respiratório diminui a mortalidade em 28 dias de pacientes diagnosticados com SDRA moderada a grave em comparação com uma estratégia convencional de PEEP baixa.	Ensaio randomizado, realizado em 120 UTI's, observando adultos com SDRA moderada a grave.	O recrutamento pulmonar com PEEP titulada em comparação com PEEP baixa, aumentou a mortalidade por todas as causas em pacientes diagnosticados com SDRA moderada a grave.
Simonis <i>et al.</i> , 2018 ¹⁸	Identificar fatores significativamente modificáveis associados à evolução de pacientes com SDRA.	Estudo de coorte prospectivo multicêntrico internacional de 935 pacientes submetidos a ventilação mecânica, diagnosticados com SDRA.	A variante P _{máx} mais alta está associada com maior mortalidade intra-hospitalar em pacientes críticos necessitados de suporte ventilatório mecânico por razões diferentes da SDRA.
Bellani <i>et al.</i> , 2019 ¹⁹	Verificar se a pressão motriz e a complacência do sistema respiratório associam-se ao aumento da mortalidade durante a ventilação mecânica.	Estudo de coorte realizado com 154 pacientes com SDRA, onde foi a pressão de platô durante os primeiros três dias de ventilação assistida. Também foi avaliada as associações entre a pressão de	A pressão motriz mais alta e uma menor complacência do sistema respiratório em pacientes sob ventilação mecânica, aumentam a mortalidade.

condução, complacência do sistema
respiratório e taxa de mortalidade.

4. DISCUSSÃO

Os componentes envolvidos na ventilação protetora podem parecer um dilema para alguns especialistas, tendo que vista que um componente bom para evitar as lesões pulmonares pode ocasionar alterações prejudiciais em tecidos adjacentes. Por exemplo, a utilização da PEEP, se utilizada em valores maiores, evita-se o colapso alveolar, porém pode causar hiperdistensão alveolar em tecidos que permanecem sem alterações teciduais. Outro exemplo é a pressão de platô, que também aumenta se a PEEP estiver em valores elevados. A VM deve ser orientada de forma individualizada, levando em consideração as condições pulmonares de cada indivíduo, para que não ocorra o aparecimento de uma nova condição grave, a LPIV que poderá evoluir para um pior prognóstico.²⁰

A LPIV tem como consequência o aparecimento ou agravamento de um quadro de lesão pulmonar aguda ou de SRDA, e ambas comprometem significativamente o sistema respiratório do paciente, tendo em vista que possuem início agudo, presença de infiltrados bilaterais e distúrbios nas trocas gasosas, onde a relação entre pressão parcial de oxigênio e a fração inspirada de oxigênio tem como resultado um número menor que 200 mmHg, caracterizando uma relação abaixo do esperado. Os mecanismos da LPIV se dão pelo volutrauma e o atelectrauma, que se caracterizam pela hiperdistensão de alvéolos e capilares, e excesso de tensão em regiões pulmonares não aeradas, respectivamente. Durante a inspiração de um paciente sem comprometimento pulmonar, a tensão é distribuída de forma homogênea entre as fibras pulmonares. Em um pulmão comprometido devido alguma condição de restrição ventilatória, a expansão não ocorre de forma homogênea, e sim, heterogênea, com isso há um aumento de tensão excessiva em regiões colapsadas e uma deformação nos tecidos os quais estão realizando as trocas de forma fisiológica. Em células alveolares, a deformação tecidual pode liberar mediadores inflamatórios, as interleucinas, que atraem neutrófilos, gerando o início do processo inflamatório aumentando a lesão pulmonar. Se ocorrer de forma excessiva, pode levar a uma descontinuidade de tecidos epiteliais e endoteliais, podendo levar a morte tecidual.³

Tendo em vista que as LPIV ocorrem devido ao manejo incorreto de parâmetros ventilatórios, como por exemplo, o volume corrente elevado, causando uma pressão inspiratória alta em pulmões com um comprometimento significativo. A VM protetora é a principal estratégia objetivando a redução dessas lesões causadas pelo ventilador, e conseqüentemente, a mortalidade em pacientes com SRDA. Atualmente, a estratégia mais utilizada para prevenir o volutrauma se dá em utilizar VC baixo, em geral, 6ml/kg do peso ideal, e PEEP elevada a ponto de prevenir o colapso de áreas pouco ou não aeradas, evitando o atelectrauma. Vale ressaltar, que o VC deve ser baseado no peso ideal, ou seja, no sexo e altura do paciente e não no peso em que ele se encontra no momento da escolha dos parâmetros ventilatórios.³

A ventilação protetora baseia-se em um volume minuto < ou igual a 8 ml/ Kg e uma pressão motriz ou Driving pressure (DP) < ou igual a 14-15 cmH²O. (6) Estudos demonstram a necessidade de utilizar um VC baixo em pacientes com comprometimento pulmonar, mais especificamente portadores de SDRA, com o objetivo de reduzir a mortalidade nos pacientes em questão. Porém, ainda existem barreiras que dificultam o reconhecimento precoce da SDRA, isso combinado com um manejo incorreto da VM contribui para um pior prognóstico. Acredita-se que o uso de VC mais elevado nas primeiras horas da VM em paciente nessas condições já se torna um risco para maximizar o surgimento de lesões nos tecidos pulmonares.¹⁵

Um estudo realizado por Amato *et al.*⁴, teve como principal objetivo analisar a pressão motriz, tendo em vista que a complacência do sistema respiratório de um paciente com SDRA se encontra significativamente reduzida, e o VC baixo, isoladamente, não fornece a proteção necessária.

Realizado de forma randomizada, o estudo teve primeiramente 336 pacientes com SDRA testados de várias formas e estratégias de VM, sempre com VC limitado. Em seguida, uma amostra de 861 pacientes com comprometimento pulmonar agudo foi dividida em dois grupos: um com volume total elevado, e o outro com volume total baixo. E por fim, o estudo mais recente apresentado tinha como amostra 2.365 pacientes com SDRA, no qual foi comparado a PEEP alta com PEEP baixa. Foram testados os componentes da VM como um todo, sendo eles: VT, pressão de platô, PEEP e gradiente de pressão.⁴

Os estudos de Loring e Malhotra¹², demonstraram que as variáveis independentes, VT e PEEP, não tiveram relevância quanto o gradiente de pressão, se tratando de pacientes com SDRA ventilados de forma protetora. Os valores baixos de VT associados a PEEP alta somente, apresentaram benefícios se o gradiente de pressão estivesse reduzido, principalmente nos tecidos pulmonares de pacientes com SDRA, os quais se encontram lesionados e com pouca área de troca gasosa fisiológica. Vale ressaltar, que em pacientes com SDRA, a complacência pulmonar se encontra próximo ao valor da normalidade, tendo em vista que as lesões causadas pela doença têm como consequência uma redução da área preservada para troca gasosa, e não da alteração dos tecidos pulmonares em sua matriz, ou seja, o pulmão não se encontra “rígido”, e sim, pequeno. O gradiente de pressão, ou seja, a variação de pressão gerada nos tecidos pulmonares durante a ventilação cíclica, se caracteriza como a quantidade de deformação do parênquima pulmonar imposta nas unidades ventiladas durante um ciclo respiratório. Diante disso, foi observado que tal variação predispõe a lesões mais do que o ajuste de VT de acordo com o peso predito. A explicação para tal afirmação se dá pelo fato do tecido pulmonar ser capaz de sofrer alongamento sustentado sem causar danos permanentes. Tais danos estão mais ligados ao estiramento de forma cíclica e em grandes amplitudes, por isso a variação de pressão durante um ciclo respiratório predispõe a mais danos pulmonares do que o volume ajustado.¹²

Outra forma de observar o sucesso do tratamento utilizando VM, é observar e mensurar a relação $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$. Pacientes que apresentam relação menor que 200 são candidatos a abordagem pulmonar aberta que consiste em recrutamento pulmonar e titulação da PEEP, quanto menor a relação supracitada, pior o prognóstico e maior o índice de mortalidade. A melhor forma de titular a PEEP é primeiramente recrutar o pulmão para mantê-lo aberto para sustentar os benefícios, e logo após determinar a PEEP que gera melhor complacência pulmonar e menor DP.³

O recrutamento pulmonar utilizado de forma não consciente causa hiperdistensão alveolar, instabilidade hemodinâmica, hipoxemia transitória e pneumotórax, e nos pacientes sem SDRA determinada, é extremamente prejudicial causando lesões irreversíveis. Durante a aplicação da manobra de recrutamento associado a titulação da PEEP em volume assistido/controlado, o paciente deve estar sedado e com bloqueador neuromuscular em bomba de infusão contínua para não gerar barotrauma ou volutrauma. Portanto, a monitorização do paciente durante esse procedimento é essencial, pois não é possível prever a tolerância ou não. Após esse procedimento, a PEEP só deve ser alterada após 24 horas ou se houver piora da mecânica respiratória e redução da oxigenação. Quando FiO_2 chegar a 40% e houver a necessidade de diminuir a PEEP deve-se reduzir dois pontos a cada 8 horas. Os pacientes que não responderam a nenhum dos dois protocolos, era implementado a posição prona para otimizar a oxigenação.³

No estudo de Amato *et al.*¹⁴ foram analisados dois grupos, um com tratamento convencional, sendo VC 12ml/kg; PEEP mínima para PaO₂ normal e PaCO₂ entre 35 e 38mmHg, e outro grupo em tratamento com ventilação protetora, sendo PEEP titulada, VC menor que 6ml/kg, e o gradiente de pressão acima da PEEP. As manobras de recrutamento alveolar por 40 segundos também foram utilizadas. Neste estudo foi demonstrado que ocorreu uma redução significativa da mortalidade em 71% dos pacientes ventilados de forma protetora. Esses dados corroboram com o estudo de Villar *et al.*¹¹ que desenvolveu um estudo com 95 pacientes, VC e as pressões de vias aéreas controladas, pressões inspiratórias de 35-40 cmH₂O durante o recrutamento alveolar. Como resultado, o estudo também concluiu uma redução da mortalidade dentro da UTI, redução do tempo de VM e menor incidência de falência orgânica extrapulmonar.

Já no estudo de Needham *et al.*¹⁵, onde foi analisada a VM de forma protetora, com VC baixo foram selecionados 520 pacientes em 13 hospitais distintos. Para a inclusão dos pacientes no presente estudo, foram avaliados detalhadamente os prontuários médicos e radiografia de tórax. Como critérios de inclusão, foram definidos a VM e a relação PaO₂/FiO₂ menor que 300. Os pacientes com condições neurológicas ou trauma cranioencefálico foram excluídos. Foram considerados como critérios de exclusão os seguintes componentes: ressecção pulmonar prévia, transferência de outro hospital com SDRA < 24horas, em VM por mais de 5 dias anteriores ao surgimento da SDRA, ordem médica limitando o uso da terapia de suporte de vida ou comorbidades com baixa expectativa de vida (< 6 meses), deficiência cognitiva e endereço variável. Após a análise dos indivíduos de acordo com os critérios de inclusão, foram selecionados 482 pacientes, onde 169 vieram a óbito durante sua internação e a idade média dos pacientes foi de 53 anos, sendo 56% do sexo masculino, 74% com sepse como causa do óbito.

Durante este estudo, foram realizadas 11.558 configurações de parâmetros ventilatórios, duas vezes ao dia, sendo que a PEEP permaneceu com média de 5 e o VC com média de 6ml/kg. Foram observados que os VC's mais baixos utilizados após o início da SDRA foi associado a uma menor taxa de mortalidade dentro da UTI em pacientes com o comprometimento pulmonar, em comparação com VC's maiores. Outro achado deste estudo foi que após o aumento de 1ml/kg do peso predito, os pacientes apresentaram um aumento de 23% na taxa de mortalidade. Sendo assim, o uso de uma VM protetora utilizada de forma individual, isto é, baseada no peso predito e não no peso real do paciente em questão, e de forma segura, com o conhecimento e interação profissional, melhoram significativamente a sobrevida do paciente. Neste caso o VC elevado poderá ter causado hiperdistensão dos alvéolos, levando a micro ou macro lesões nos tecidos, liberando mediadores inflamatórios e resultando em disfunção pulmonar e extrapulmonar.¹⁵

Um estudo realizado por Bastos-Netto *et al.*¹⁶ que objetivou correlacionar a VM protetora e a mortalidade em pacientes com fator de risco para SDRA e identificar ajustes entre as associações de parâmetros ventilatórios considerados não protetores nesses pacientes não foi possível afirmar se existiu uma relação entre VM não protetora e o aumento da mortalidade. Porém, foi evidenciado que a VM protetora se mostrou eficaz baseada na DP e que quando a DP estava elevada nos primeiros 7 dias ocorreu aumento da mortalidade. Foram incluídos neste estudo 116 paciente, sendo que, em um grupo foi realizada a VM protetora, e no outro foi utilizada a VM não protetora. Estes pacientes foram observados por sete dias.

Simonis *et al.*¹⁸ realizaram um estudo cujo objetivo foi identificar variáveis respiratórias modificáveis que contribuem para piora do paciente grave sob o uso de VMI sem diagnóstico de SDRA. Dos 935 indivíduos que participaram da amostra, os que se recuperaram, apresentaram uma melhor mecânica respiratória quando comparados aos que faleceram. O VC,

a relação $\text{PaO}_2 / \text{FiO}_2$ e os níveis de PaCO_2 também foram menores. Através deste estudo, pode-se observar que o uso de pressões elevadas está associado ao aumento de mortalidade intrahospitalar em pacientes graves sem SDRA.

Segundo Tucci *et al.*³, outra estratégia bastante utilizada, é a conhecida *open lung approach*, que consiste em utilizar manobras de recrutamento alveolar e ajuste da PEEP para minimizar áreas colapsadas. Após as manobras, a PEEP é ajustada para evitar um novo colapso alveolar. Essa estratégia melhora as trocas gasosas e auxilia na redução do dano pulmonar devido a abertura e fechamento cíclicos dos alvéolos durante a ventilação. Apesar dos pacientes com pulmões saudáveis apresentarem uma expansão homogênea, distribuindo as tensões igualmente para todas as fibras pulmonares, alguns fatores contribuem para o surgimento de LPIV em respostas a processos inflamatórios, como por exemplo, cirurgias que necessitam de anestesia geral, tempo de VM prolongado, a utilização de PEEP abaixo do fisiológico, aumento do espaço morto e da resistência vascular periférica; esses são fatores que predispõem pacientes em VM por causas não pulmonares a desenvolverem atelectasias, hiperdistensão alveolar e abertura e fechamento cíclicos dos alvéolos e pequenas vias aéreas, causando processos inflamatórios e deixando o pulmão com uma expansão heterogênea.

Bellani *et al.*¹⁹ publicou um estudo com o objetivo de verificar se a DP e a complacência do sistema respiratório, medidos em pacientes diagnosticados com SDRA, estariam ligadas ao aumento da mortalidade em UTI's. E pode-se concluir que uma DP mais alta associada a uma menor complacência estão relacionadas com o aumento da mortalidade dos pacientes.⁹

Existem diversas variáveis a se analisar durante a monitorização da mecânica pulmonar em pacientes submetidos a VM que, isoladamente, não são capazes de evitar LPIV. Porém, com o conhecimento adequado das patologias associado ao conceito de cada variável e suas implicações, o prognóstico tende a ser favorável para o paciente.

5. CONCLUSÃO

A pressão de platô e DP quando comparadas, possibilitam desfechos favoráveis na VM da SDRA moderado a grave, entretanto, a pressão de platô isolada não pode ser considerada um bom marcador para avaliar a distensão e tensão alveolar. Já a DP, caracterizada pela diferença entre pressão de platô e PEEP, revela um fator preditor para evitar a lesão pulmonar que consequentemente minimiza a taxa de mortalidade.

Em relação ao ajuste da PEEP, há controversas, pois valores de PEEP mais elevados ajudam a prevenir a LPIV reduzindo o colapso alveolar, melhorando a complacência pulmonar e reduzindo as tensões e deformações. Contudo, gera hiperdistensão alveolar em áreas que não estão colapsadas.

Logo, para um desfecho positivo em pacientes que utilizam VMI dentro do ambiente de UTI é necessário o reconhecimento da condição em que o pulmão se encontra, a interação multidisciplinar da equipe responsável, o conhecimento adequado das condições clínicas da patologia em questão e suas particularidades, além do manejo correto dos ajustes dos parâmetros ventilatórios de acordo com o peso predito do paciente. A VM de forma protetora tem se mostrado mais benéfica no quesito de evitar as LPIV, preconizando VC's baixos e monitorização da DP.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, D.B.S., et al. Efeitos da compressão torácica e hiperinsuflação com o ventilador sobre os fluxos expiratórios e inspiratório em pacientes ventilados mecanicamente: ensaio clínico cruzado randomizado. **Anais da Revista Perspectivas Online: Biológicas e Saúde - Anais do VI CICC**, v.8, n.27, Supl., 2018.
- AMATO, M. B. P. et al. Driving Pressure and Survival in the Acute Respiratory Distress Syndrome. **New England Journal of Medicine**, v. 372, n. 8, p. 747–755, 2015.
- BASTOS-NETTO, C. et al. Protective mechanical ventilation in patients with risk factors for ARDS: Prospective cohort study. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 47, n. 1, p. 1–8, 2021.
- BELLANI, G. et al. Driving Pressure Is Associated with Outcome during Assisted Ventilation in Acute Respiratory Distress Syndrome. **Anesthesiology**, v. 131, n. 3, p. 594–604, 2019.
- CAVALCANTI, A. B. et al. Effect of lung recruitment and titrated Positive End-Expiratory Pressure (PEEP) vs low PEEP on mortality in patients with acute respiratory distress syndrome - A randomized clinical trial. **JAMA - Journal of the American Medical Association**, v. 318, n. 14, p. 1335–1345, 2017.
- FRAGA, W.L.A.; MARTINS, S.S.A.; CHICAYBA, L.M.. Análise de diferentes modelagens de resistência sobre a mecânica respiratória e as variáveis ventilatórias: estudo experimental. **Anais da Revista Perspectivas Online: Biológicas e Saúde - Anais do IV Seminário P&D PROVIC/PIBIC I Encontro de Iniciação Científica CNPq**. v.9, nº 30, Sup., 2019
- GALVÃO, T.F.; PANSANI, T.S.A.; HARRAD, D. Principais itens para relatar Revisões sistemáticas e Meta-análises: A recomendação PRISMA. **Epidemiol Serv Saúde**. v. 24, n. 2, p.335-342, 2015.
- HEMÉTRIO, A.C.; AZEVEDO, L.T.R.; CHICAYBAN, L.M. Comparação entre Breath Stacking e Air Stacking sobre a mecânica respiratória e padrão ventilatório em pacientes ventilados mecanicamente. **Anais da Revista Perspectivas Online: Biológicas e Saúde - Anais do VI CICC**, v.8, n. 27, Sup., 2018.
- KACMAREK, R. M. et al. Open lung approach for the acute respiratory distress syndrome: A pilot, randomized controlled trial. **Critical Care Medicine**, v. 44, n. 1, p. 32–42, 2016.
- LORING, S.H., MALHOTRA, A. Driving Pressure and Respiratory Mechanics in ARDS. **The New England Journal of Medicine**, n.19, p.372-378, 2015.
- NARDELLI, L. M.; GARCIA, C. S. N. B.; ROCCO, P. R. M. RBTI - Mecanismos da LPA Induzida pela VM. **Revista Bras. Ter. Intensiva**, v. 19, p. 469–474, 2007.
- NEEDHAM, D. M. et al. Timing of Low Tidal Volume Ventilation and ICU Mortality in ARDS: A Prospective Cohort Study. **American journal of respiratory and critical care medicine**, v. 191, p. 177–185, 2014.
- NEUMANN, P. Kommentar zu: Bedeutung des Compliance-Drucks für das Überleben von ARDS-Patienten mit kontrollierter mechanischer Beatmung. **Anaesthesist**, v. 65, n. 6, p. 467–468, 2016.
- RAICH, A.L.; SKELLY, A.C. Asking the right question: specifying your study question. **Evid Based Spine Care J.**, v. 4, n. 2, p. 68-71, 2013.
- SADDY, F. Avaliação da Mecânica Respiratória na Síndrome do Desconforto Respiratório Agudo. Evaluation of Respiratory Mechanics in Acute Respiratory Distress Syndrome. **Pulmão RJ**, v. 20, n. 1, p. 31–36, 2011.

SCHUCHAT, A. HPV “Coverage”. **New England Journal of Medicine**, v. 372, n. 8, p. 775–776, 2015.

SIMONIS, F. D. et al. Potentially modifiable respiratory variables contributing to outcome in ICU patients without ARDS: a secondary analysis of PRoVENT. **Annals of Intensive Care**, v. 8, n. 1, 2018.

TUCCI, M. R.; BERALDO, M. A; COSTA, E. L. V. Lesão pulmonar induzida pelo ventilador. **Pulmão RJ**, v. 20, n. Lim 09, p. 43–48, 2011.

VALLE PINHEIRO, B. et al. Ventilação mecânica protetora: revisão de ensaios clínicos randomizados. **HU Revista**, v. 45, n. 3, p. 334–340, 2019.

VILLAR, J. et al. A Quantile Analysis of Plateau and Driving Pressures: Effects on Mortality in Patients With Acute Respiratory Distress Syndrome Receiving Lung-Protective Ventilation. **Critical Care Medicine**, v. 45, n. 5, p. 843–850, 2017.