

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE MEDICINA
PROGRAMA DE RESIDÊNCIA MULTIPROFISSIONAL EM SAÚDE

ALEF APARECIDO ALVES RODRIGUES

**ANÁLISE DA MANOBRA DE RECRUTAMENTO ALVEOLAR NA SÍNDROME DO
DESCONFORTO RESPIRATÓRIO AGUDO COM O AUXÍLIO DA TOMOGRAFIA
POR IMPEDÂNCIA ELÉTRICA – UMA REVISÃO INTEGRATIVA**

UBERLÂNDIA

2020

ALEF APARECIDO ALVES RODRIGUES

**ANÁLISE DA MANOBRA DE RECRUTAMENTO ALVEOLAR NA SÍNDROME DO
DESCONFORTO RESPIRATÓRIO AGUDO COM O AUXÍLIO DA TOMOGRAFIA
POR IMPEDÂNCIA ELÉTRICA – UMA REVISÃO INTEGRATIVA**

Projeto de pesquisa para Trabalho de Conclusão de Residência a ser apresentado ao programa de Atenção ao Paciente em Estado Crítico da Residência Multiprofissional em Saúde da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito para conclusão do programa, sob orientação da Prof.^a Dr.^a Eliane Maria de Carvalho.

UBERLÂNDIA

2020

**ANÁLISE DA MANOBRA DE RECRUTAMENTO ALVEOLAR NA SÍNDROME DO
DESCONFORTO RESPIRATÓRIO AGUDO COM O AUXÍLIO DA TOMOGRAFIA
POR IMPEDÂNCIA ELÉTRICA – UMA REVISÃO INTEGRATIVA**

ALVEOLAR RECRUITMENT MANEUVER IN ARDS GUIDED BY ELECTRICAL
IMPEDANCE TOMOGRAPHY – AN INTEGRATIVE REVIEW

Alef Aparecido Alves Rodrigues¹, Eliane Maria de Carvalho²

- 1- Pesquisador principal, Fisioterapeuta, Residente de Fisioterapia na Atenção ao Paciente em Estado Crítico na Universidade Federal de Uberlândia.
- 2- Orientadora, Fisioterapeuta, Doutora e Coordenadora do Programa de Residência Multiprofissional na Atenção ao Paciente em Estado Crítico e Professor Adjunto IV do Departamento de Fisioterapia da Faculdade de Educação Física da Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, Brasil.

Autor de Correspondência

Nome: Alef Aparecido Alves Rodrigues

Endereço: Rua Santa Edvirges, 123, apto 203 - Bairro Santa Mônica – Uberlândia/MG

E-mail: alefaparecido.20@gmail.com

Telefone: (34) 99212-1511

Instituição responsável pelo envio do artigo: Universidade Federal de Uberlândia

RESUMO

Introdução: A síndrome do desconforto respiratório agudo (SDRA) é um problema clínico comum em pacientes críticos e está associada a alta mortalidade. Avanços no entendimento da fisiopatologia da SDRA proporcionaram a evolução de terapias capazes de auxiliar no manejo da síndrome, como a manobra de recrutamento alveolar. A tomografia por impedância elétrica (TIE) é capaz de monitorizar a ventilação mecânica, de forma contínua e dinâmica, sendo possível monitorar eventos coexistentes em uma manobra de recrutamento. **Objetivo:** Realizar uma revisão integrativa da literatura a fim de se analisar a manobra de recrutamento alveolar na SDRA com o auxílio da tomografia por impedância elétrica. **Método:** Por meio de uma revisão integrativa da literatura, foram admitidos artigos publicados nas bases de dados Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde (LILACS), Medical Literature Analysis and Retrieval System Online (MedLine), PubMed, ScienceDirect e Biblioteca Cochrane. Os artigos foram obtidos por meio das seguintes palavras-chave: “*electrical impedance tomography*”, “*acute respiratory distress syndrome*”, “*PEEP*”, “*mechanical ventilation*”. **Resultados:** De uma análise inicial de 276 artigos potencialmente relevantes, apenas 8 contemplaram os critérios de seleção. Sendo cinco estudos realizados em humanos e três realizados em animais (porcos). **Conclusão:** Os estudos inseridos neste trabalho, em geral, demonstram que as manobras de recrutamento em casos de SDRA, quando guiadas pela tomografia por impedância elétrica representam uma intervenção bastante segura, viável e com desfecho favorável, principalmente no que tange à redução dos efeitos deletérios da lesão pulmonar induzida por ventilação mecânica e na titulação da PEEP ideal, a partir da monitorização da hiperdistensão e colapso alveolar.

Palavras-chaves: Fisioterapia, Ventilação Mecânica, Impedância Elétrica, Síndrome do Desconforto Respiratório Agudo, PEEP

ABSTRACT

Introduction: The acute respiratory distress syndrome (ARDS) is a common clinical problem in critical patients and it is associated to a high mortality. Advances in understanding the ARDS pathophysiology provided the evolution of therapies capable of assisting in the handling of the syndrome, like the alveolar recruitment maneuver. The electrical impedance tomography (EIT) is capable of monitoring mechanical ventilation, continuously and dynamically, making it possible to monitor coexisting events in a recruitment maneuver. **Objective:** Conduct an integrative literature review in order to analyze the alveolar recruitment maneuver in ARDS with the aid of electrical impedance tomography **Method:** Through an integrative literature review, were admitted articles published in the databases Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde (LILACS), Medical Literature Analysis and Retrieval System Online (MedLine), PubMed, ScienceDirect and Cochrane Library. The articles were obtained by the following keywords: “*electrical impedance tomography*”, “*acute respiratory distress syndrome*”, and “PEEP”, “mechanical ventilation. **Results:** From an initial analysis of 276 potentially relevant articles, only eight met the selection criteria. Five studies were fulfilled in humans and three in animals (hogs). **Conclusion:** The studies included to this project, in general, demonstrate that the recruitment maneuver, in cases of ARDS, when guided by electrical impedance tomography represent a very safe, viable intervention and with favorable outcome, mainly with regard to reducing the deleterious effects of lung injury induced by mechanical ventilation and the ideal PEEP titration, from monitoring hyperdistention and alveolar collapse.

Keywords: Physiotherapy, Mechanical Ventilation, Electrical Impedance, Acute Respiratory Distress Syndrome, PEEP

LISTA DE ABREVIATURAS

Cdyn	Complacência Dinâmica
cmH ₂ O	Centímetros de Água
FiO ₂	Fração Inspirada de Oxigênio
FR	Frequência Respiratória
I:E	Relação Inspiração/Expiração
IMC	Índice de Massa Corporal
mmHg	Milímetros de Mercúrio
MRA	Manobra de Recrutamento Alveolar
PaCO ₂	Pressão Parcial de Gás Carbônico
PaO ₂	Pressão Parcial de Oxigênio
PEEP	Pressão Positiva Expiratória Final
P _{plat}	Pressão de Platô
SDRA	Síndrome do Desconforto Respiratório Agudo
SpO ₂	Saturação Periférica de Oxigênio
TC	Tomografia Computadorizada
TIE	Tomografia por Impedância Elétrica
UTI	Unidade de Terapia Intensiva
VC	Volume Corrente
VM	Ventilação Mecânica

INTRODUÇÃO

O paciente crítico é aquele que se encontra em risco iminente de perder a vida ou função de órgão/sistema, bem como aquele em condição clínica grave decorrente de trauma ou outras condições relacionadas a processos que necessitem de cuidado imediato (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2011). O cuidado ao paciente crítico deve ser ofertado pela Unidade de Terapia Intensiva (UTI) devido ao fato de ser um ambiente hospitalar de alta complexidade com aparato tecnológico e informatizado avançado (BACKES, ERDMANN, BÜSCHER, 2015).

A síndrome do desconforto respiratório agudo (SDRA) é um problema clínico comum em pacientes críticos e está associada a alta mortalidade. Atualmente a SDRA é definida como uma síndrome de instalação aguda, onde nos exames de imagem há opacidades bilaterais que não são resultantes de derrame pleural ou atelectasias e a origem do edema não pode ser totalmente explicada por hipervolemia ou falência cardíaca. Além desses fatores, a gravidade da SDRA é estabelecida pela relação entre a pressão arterial parcial de oxigênio e a fração inspirada de oxigênio ($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$), onde a SDRA leve tem relação entre 201 e 300mmHg, a moderada entre 101 e 200mmHg e SDRA grave uma relação $\leq 100\text{mmHg}$ (FIORETTO, CARVALHO, 2013).

Avanços no entendimento da fisiopatologia da SDRA ao longo dos anos, proporcionaram a evolução de terapias capazes de auxiliar no manejo da síndrome, impactando no desfecho clínico de pacientes acometidos pela mesma. Algumas estratégias terapêuticas utilizadas na SDRA são: controle do fator causal, analgo-sedação, suporte nutricional, ventilação protetora, ventilação oscilatória de alta frequência, posição prona e a manobra de recrutamento alveolar (MRA) (ROTTA, KUNRATH, WIRYAWAN, 2003).

O uso de manobras de recrutamento alveolar tem sido proposto como terapia complementar dentro das estratégias ventilatórias para pacientes com SDRA grave, tendo por finalidade a expansão dos alvéolos colapsados por meio do aumento transitório da pressão transpulmonar, seguido da aplicação de uma pressão positiva expiratória final (PEEP) adequada. Desse modo, esta abordagem melhora a distribuição de gás alveolar, maximizando a troca gasosa e minimizando o atelectrauma (ROSA *et al*, 2015; NEVES, KOLISKI, GIRALDI, 2009).

A fim de se monitorizar os impactos causados pela ventilação mecânica de forma dinâmica, contínua e em tempo real, a tomografia por impedância elétrica (TIE) pode ser utilizada. Essa técnica se baseia na obtenção de imagem por meio de uma cinta composta por 16 ou 32 eletrodos, colocados ao longo da circunferência da caixa torácica, na região submamária.

Os dados analisados pela TIE são baseados na oposição que os tecidos oferecem à passagem de uma corrente elétrica alternada de baixa amperagem (bioimpedância) e esses dados são traduzidos em *pixels* que formam a imagem no monitor. Os equipamentos de TIE geram cerca de 40 a 50 imagens por segundo e mostram em tempo real a variação de ar local durante a ventilação, ou seja, onde houver variação de ar dentro dos alvéolos, ocorrerá uma variação de cores na imagem, de acordo com uma escala que varia do azul escuro ao azul claro, que representam, respectivamente, áreas de menor e maior aeração. (LIMA, MORAIS, 2018).

Desse modo, o presente estudo teve como objetivo realizar uma revisão integrativa da literatura a fim de se analisar a manobra de recrutamento alveolar na SDRA com o auxílio da tomografia por impedância elétrica.

METODOLOGIA

A busca dos artigos envolvendo o objetivo pretendido foi realizada nas bases de dados Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde (LILACS), Medical Literature Analysis and Retrieval System Online (MedLine), PubMed, ScienceDirect e Biblioteca Cochrane. Os artigos foram obtidos por meio das seguintes palavras-chave: “*electrical impedance tomography*”, “*acute respiratory distress syndrome*”, “*PEEP*”, “*mechanical ventilation*”.

A seleção de referências foi realizada através do acesso aos estudos encontrados nas plataformas de dados supracitadas. Posterior ao download dos arquivos, foi verificado se havia artigos duplicados, ou seja, aquele encontrado em mais de uma base de dados. Feito a verificação de duplicidade, a etapa seguinte se caracterizava pela leitura do resumo dos artigos e os selecionando de acordo com os critérios de inclusão e não-inclusão, sendo os critérios de inclusão limitados a ensaios clínicos e artigos de revisão, escritos em português, inglês ou espanhol, e publicados nos últimos 10 anos (2010-2020). Já os critérios de não-inclusão abrangem a aplicação da TIE em quaisquer outras situações a não ser aquela pesquisada por este estudo.

RESULTADOS

Após a análise realizada pelo pesquisador 268 artigos foram excluídos, por apresentarem duplicidade em bases de dados e não possuírem o delineamento metodológico a ser incluído. Conforme pormenorizados no fluxograma da figura 1, na seleção final, foram incluídos apenas oito estudos que contemplaram os critérios metodológicos estipulados para o desfecho pretendido.

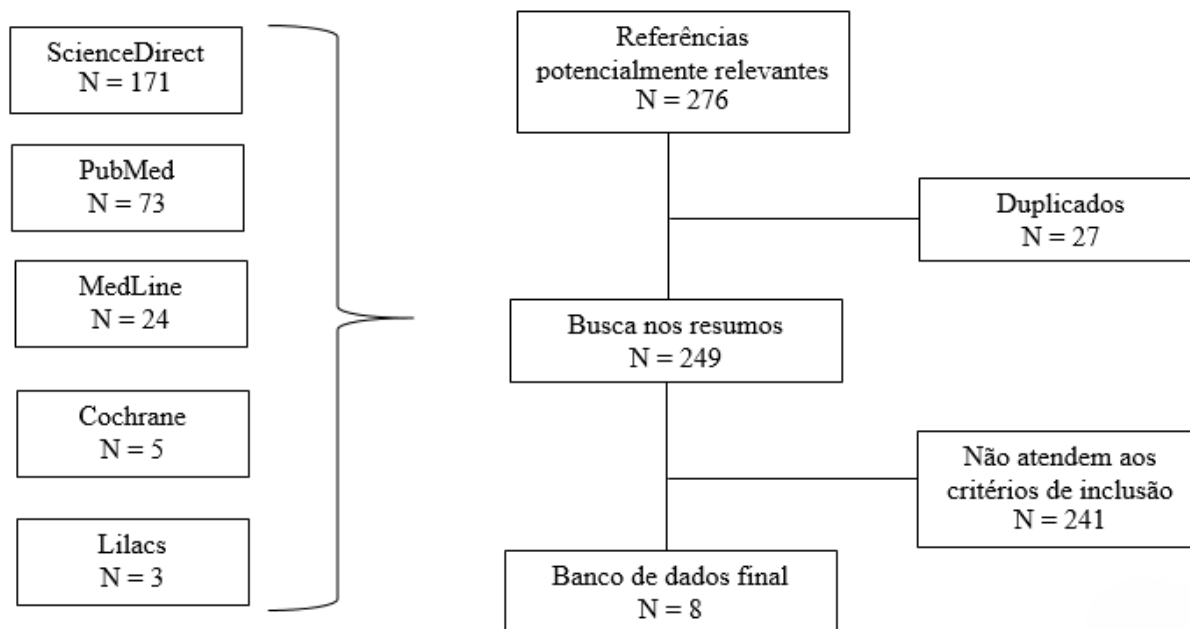


Figura 1 – Fluxograma da estratégia de busca dos artigos.

Dos oito estudos inseridos, cinco abordam as manobras de recrutamento em humanos e três em animais (porcos) (Quadro 1). Foram coletados os seguintes dados dos estudos: autor/ano, terapia realizada com humanos/animais, método, resultados e conclusão.

Quadro 1 – Características dos estudos selecionados

Autor (ano)	Humanos/ Animais	Título	Método	Resultados	Conclusão
WOLF, G. <i>et al.</i> 2013.	Animais (porcos)	Ventilação Mecânica Guiada por Tomografia De Impedância Elétrica em Lesão Pulmonar Aguda Experimental	Lesão pulmonar induzida em 12 suínos com lavagem repetida de solução salina até atingir PaO_2 inferior a 100mmHg em uma FiO_2 1,0 e PEEP 5cmH ₂ O + ventilação prejudicial por duas horas (VC 20ml/kg e PEEP zero). Animais randomizados em dois grupos, onde o grupo controle ventilado de acordo com o protocolo do grupo ARDSnet (VC 6ml/kg, hipercapnia permissiva, PaO_2 55-80mmHg e uso incremental de FiO_2 e PEEP limitando a P_{plat} a 30cmH ₂ O. Já no grupo guiado pela TIE, os animais receberam VC 6ml/kg e a PEEP foi ajustada a cada 5 minutos com o objetivo de maximizar a complacência pulmonar na região pulmonar mais dependente.	1) a ventilação mecânica guiada pela TIE resultou em níveis mais altos de PEEP em todo o protocolo; 2) as pressões de platô no grupo guiado pela TIE foram maiores apenas nos primeiros 30 minutos e depois foram semelhantes às do grupo controle; 3) a complacência respiratória do pulmão total foi melhorada no grupo guiado pela TIE, assim como a complacência regional na região pulmonar dependente; 4) o grupo guiado pela TIE apresentou maiores razões PaO_2/FiO_2 ao longo do protocolo.	A ventilação guiada por TIE em tempo real neste estudo resultou em melhoria da mecânica respiratória, troca de gases e redução das características histopatológicas da lesão pulmonar induzida por ventilador.
YUN, L. <i>et al.</i> 2015.	Humanos	Titulação da pressão positiva expiratória final após recrutamento alveolar dirigida	18 pacientes ventilados com VC 6ml/kg de peso ideal, FiO_2 e PEEP ajustadas para manter a $SpO_2 > 90\%$. Após 15 minutos de ventilação inicial, a PEEP foi alterada para zero	13 pacientes foram diagnosticados como respondedores após MRA. Em não respondedores, nenhuma alteração significativa dos pixels	A titulação da PEEP após a MRA afetou significativamente a distribuição

		por tomografia por impedância elétrica	e a FiO₂ aumentada para 100% por 3 a 5 minutos. Posteriormente, a PEEP foi aumentada para 15cmH₂O por 2 minutos. Se P_{plat} <40cmH₂O, a PEEP aumentaria para 20cmH₂O por mais 2 minutos. O estudo decrescente da PEEP estabeleceu a FiO₂ ao nível anterior antes da MRA e a PEEP diminuiu de 20 ou 14cmH₂O para 5cmH₂O em etapas de 3cmH₂O a cada 5 a 10 minutos, a menos que a SpO₂ <90%, interrompendo o decréscimo de PEEP.	recrutados e superestendidos foi encontrada durante a titulação da PEEP.	intrapulmonar de ventilação, e a seleção da PEEP com a maior distribuição homogênea do ar pode ser orientada pela TIE.
YUN, L. <i>et al.</i> 2016.	Humanos	Avaliação do Recrutamento Pulmonar por Tomografia por Impedância Elétrica e Oxigenação em Pacientes com SDRA	20 pacientes ventilados com VC 6ml/kg de peso ideal, FiO₂ e PEEP ajustadas para fornecer SpO₂ > 90%. Após 15 minutos de ventilação inicial, a PEEP foi a zero e FiO₂ a 100% por 2 minutos. Posteriormente foi realizada manobra de recrutamento (PEEP 20 + pressão controlada 20). Logo após, uma estratégia decrescente de PEEP foi utilizada (3 pontos de PEEP a cada 5 minutos). Pacientes respondedores à MRA quando o valor de PaO₂ + PaCO₂ ≥	Nem todos os pacientes exibindo tecido pulmonar significativamente recrutado durante a MRA apresentaram melhora significativa da oxigenação. Dez pacientes foram respondedores e dez não respondedores com base na oxigenação. Mesmo quando a reabertura do tecido pulmonar era evidente, a oxigenação pode não ser satisfatória. Os procedimentos de MRA mais	Foi encontrada discrepância na reabertura do tecido pulmonar e melhora da oxigenação durante a MRA. A TIE tem o potencial de avaliar a eficácia da MRA combinando medidas de oxigenação.

			400mmHg e caso contrário, não respondedores.	agressivos não devem ser aplicados nesses pacientes.	
LIU, S. <i>et al.</i> 2016.	Animais (porcos)	Identificação de hiperdistensão regional recrutamento e colapso alveolar cíclico com tomografia de impedância elétrica em um modelo experimental de SDRA	SDRA induzida por lavagem pulmonar bilateral com 30ml/kg de solução salina isotônica (38°C) e repetidas uma vez a cada 10 minutos até que a relação PaO_2/FiO_2 diminuísse para menos 100mmHg e permanecesse estável por 30 minutos com um aumento de FiO_2 para 1,0. Foi realizada uma estratégia incremental da PEEP (0-30cmH ₂ O) com aumento de 3cmH ₂ O a cada 5 minutos. A PEEP de 6cmH ₂ O foi utilizada como referência e a faixa de 9-30cmH ₂ O foi utilizada para cálculo de superinflação, colapso, reabertura cíclica e recrutamento.	Regiões com excesso de distribuição diminuíram levemente nos níveis mais altos de PEEP em 3 de 10 porcos, o que pode induzir pneumotórax. Os resultados também mostram que houve uma correlação significativa entre o número de pixels recrutados e a PaO_2/FiO_2 . Embora a oxigenação seja um parâmetro global, está indiretamente correlacionada com a distribuição local de ventilação.	A TIE fornece informações sobre hiperdistensão, recrutamento e colapso alveolar cíclico à beira do leito, o que pode melhorar a titulação das configurações ideais do ventilador.
HOCHHAUSEN, N. <i>et al.</i> 2017.	Animais (porcos)	Otimizando a PEEP por tomografia por impedância elétrica em um modelo animal de porcos com SDRA	SDRA induzida em 18 porcos por lavagens de solução salina a cada 10 minutos, seguido de análise de gases do sangue até a $PaO_2 < 100$ mmHg e estabilizar durante 1 hora. Posteriormente, os porcos foram ventilados com VC 20ml/kg durante 2 horas com PEEP zero. Após o estabelecimento da SDRA,	No grupo controle, valores mais altos de FiO_2 levaram a níveis mais altos de PEEP e vice-versa. Por outro lado, no grupo TIE, essa dependência se dissipou. A taxa de impedância foi menor no grupo TIE, o que indica uma mudança de ventilação da parte	A configuração da PEEP pela TIE analisando o índice global de homogeneidade e o índice de hiperdistensão foi clinicamente viável e facilitou uma

			os animais foram aleatoriamente designados para dois grupos, o grupo TIE (n=9) e o grupo controle (n=9). Inicialmente, a FiO₂ foi ajustada para 1,0 e PEEP 21cmH₂O em ambos os grupos. No grupo controle, PEEP definida de acordo com a tabela do grupo ARDSnet. No grupo TIE, aumentou-se a PEEP em 4cmH₂O (25cmH₂O) e reduziu a cada 2cmH₂O.	ventral para a parte dorsal dependente do pulmão.	ventilação protetora.
HEINES, S. <i>et al.</i> 2019.	Humanos	Implementação clínica da tomografia por impedância elétrica no tratamento da SDRA: experiência em um único centro	39 pacientes ventilados com VC 6-8ml/kg de peso predito e PEEP definida a critério do médico, com base em informações clínicas como Cdyn, PaO₂/FiO₂, IMC, hemodinâmica e etc., de acordo com uma estratégia de ventilação protetora. Posteriormente, realizado ensaio de PEEP incremental (18-20cmH₂O), seguido por um ensaio de PEEP decremental (a cada 2 cmH₂O). Estabelecidos dois grupos, onde grupo A (diferença da PEEP pré e pós TIE <4cmH₂O) e grupo B (diferença entre PEEP pré e pós TIE >4cmH₂O).	Em aproximadamente dois terços dos pacientes, a PEEP guiada pela TIE diferia da PEEP definida pelos médicos e da sugerida pela rede ARDSnet. A vantagem é que a TIE pode identificar o nível de PEEP onde não há mais recrutamento, mesmo que o Cdyn global ainda aumente devido a algum alívio da hiperdistensão alveolar, que também pode ser visualizada com a TIE.	A tabela PEEP/FiO₂ do estudo do grupo ARDSnet é uma abordagem generalizada. Do ponto de vista fisiológico, uma abordagem individualizada parece mais apropriada.

			Além disso, avaliado a concordância entre o nível ótimo de PEEP baseado na TIE e o nível de PEEP que seria derivado da tabela do grupo ARDSnet.		
FUMAGALLI, J. <i>et al.</i> 2019.	Humanos	Recrutamento pulmonar em pacientes obesos com síndrome do desconforto respiratório agudo	Selecionados 14 pacientes adultos obesos graves (IMC>35) ventilados com VC 6ml/kg de peso predito, e FiO₂ e FR mantidas conforme definido pelo manejo clínico para manter SpO₂ 88-95% e PaCO₂ menor que 50mmHg. O protocolo consiste em 3 fases, sendo a fase 1: PEEP titulada de acordo com estratégia PEEP baixa/FiO₂ alta do grupo ARDSnet; fase 2: PEEP incremental de 2cmH₂O a cada 60 segundos até que a pressão transpulmonar expiratória final esteja entre 0-2cmH₂O, representando a PEEP incremental ideal. E fase 3 caracterizada por um estudo decremental da PEEP, sendo realizada uma MRA em pressão controlada (10cmH₂O) por aumento gradual da PEEP em 5cmH₂O a cada 30 segundos, visando uma pressão de platô máxima de 50cmH₂O.	(1) a titulação da PEEP de acordo com a tabela de PEEP baixa/ FiO₂alta da ARDSnet está associada a baixos níveis de PaO₂/FiO₂, atelectasia e ventilação não homogênea; (2) o colapso pulmonar reversível contribui substancialmente para insuficiência respiratória em pacientes obesos mórbidos; (3) são necessárias manobras de recrutamento pulmonar para reverter o colapso alveolar, apesar do uso de PEEP suficiente para estabelecer uma pressão transpulmonar expiratória final positiva; (4) definir a PEEP por uma estratégia decremental após uma manobra de recrutamento melhora a mecânica pulmonar, os volumes pulmonares e a	O benefício observado da PEEP decremental em relação à PEEP incremental, tanto na mecânica pulmonar quanto na oxigenação, sugere que os pulmões de pacientes obesos com SDRA são altamente recrutáveis.

			O nível de PEEP resultando na menor elastância do sistema respiratório identificou a PEEP decremental ideal.	oxigenação, minimizando o colapso e a hiperdistensão reversíveis do pulmão mais do que o mesmo nível de PEEP sem o recrutamento pulmonar.	
ZHAO, Z. <i>et al.</i> 2019.	Humanos	A incidência e interpretação de grandes diferenças nas medidas baseadas no EIT para a titulação de PEEP em pacientes com SDRA	Estudo incremental da PEEP com 30 pacientes com SDRA moderada a grave, a partir de uma pressão de 5-8cmH ₂ O com etapas de 2cmH ₂ O até atingir a pressão de platô de 35cmH ₂ O por 2 minutos ou observar pressão arterial instável. Em seguida, um estudo decrescente da PEEP com etapas de 2cmH ₂ O e duração 2 minutos por etapa seguida.	Três pacientes apresentaram diferenças significativas na seleção de PEEP com medidas da TIE. Os três pacientes exibiram grande diferença entre a PEEP ideal determinada e o ganho de ventilação ocorreu principalmente nas regiões dependentes, enquanto a perda de ventilação ocorreu nas regiões não dependentes. O volume pulmonar ao final da expiração começou a diminuir na PEEP de 20cmH ₂ O e o índice de homogeneidade da distribuição da ventilação atingiu o valor mais baixo na PEEP de 20cmH ₂ O.	A existência de diferenças entre as medidas da TIE analisadas e a PEEP ideal recomendada pode ser um indicador de pulmões não recrutáveis e resistências heterogêneas das vias aéreas.

DISCUSSÃO

Devido à gravidade da insuficiência respiratória, pacientes com SDRA frequentemente necessitam de ventilação mecânica como tratamento de suporte intensivo. No entanto, a ventilação pode ocasionar efeitos deletérios ao tecido pulmonar, podendo contribuir para piora do quadro clínico. Portanto, é preconizado o ajuste da ventilação mecânica, de maneira a evitar e/ou minimizar a lesão alveolar associada ao ventilador.

Na década de 90, Lachmann, sugeriu “*The open lung concept*”, ou seja, o conceito de abrir os pulmões e mantê-los abertos, durante o processo da ventilação mecânica. Para isto, preconizou a utilização de manobras de recrutamento alveolar para promover a abertura de unidades alveolares por meio de aumento da pressão transpulmonar (LACHMANN, 1992). A partir desta concepção, surgiram estudos comparando estratégias ventilatórias, como o estudo de Ranieri *et al.* confirmando que o uso de volumes correntes menores reduz a concentração de mediadores inflamatórios, tanto no lavado broncoalveolar, quanto na circulação sistêmica. No estudo da rede ARDSnet, comparou-se o uso de um volume corrente baixo (6 ml/kg peso corporal previsto) e alto (12 ml/kg peso corporal previsto). O uso de VC baixo com uma pressão de platô máxima de 30 cmH₂O resultou em mortalidade intra-hospitalar menor (31% *versus* 39%), menor tempo de ventilação, e como benefício importante foi observado a sobrevida alcançada por esses pacientes, durante os seis meses de acompanhamento pós alta hospitalar.

Existem várias modalidades de recrutamento alveolar na literatura, pois o principal problema do tratamento ventilatório em pacientes com SDRA é a falta de homogeneidade da distribuição da ventilação. Mais unidades alveolares colapsadas estão presentes na PEEP mais baixa e mais distensão ocorre na PEEP mais alta (LOWHAGEN, LUNDIN, STENQVIST, 2010; CRESSONI *et al.*, 2014). Desde o conceito do pulmão aberto, as manobras de recrutamento têm sido utilizadas para obter melhores trocas gasosas e melhorar a mecânica respiratória (PAPADAKOS, LACHMANN, 2002), resultando em uma ventilação mais homogênea. Rimensberger *et al.* recomendam o recrutamento máximo e, posteriormente, que o pulmão seja mantido aberto com baixo volume corrente (5ml/kg) e PEEP ideal. Em ambos os estudos de Yun *et al.* selecionados para este trabalho foi utilizada, por razões de segurança, uma pressão de platô máxima de 40cmH₂O, o valor mais baixo a partir das recomendações de Papadacos e

Lachmann. Apesar da limitação, em seu segundo estudo, Yun *et al.* provaram que mesmo com uma abertura do tecido pulmonar evidente, a oxigenação pode não ser satisfatória devido uma maior incompatibilidade ventilação-perfusão.

Yun *et al.* ainda destacam duas possíveis explicações para pacientes caracterizados como não respondedores em uma resposta mecanicamente insuficiente à manobra de recrutamento. Sendo a primeira, pressão insuficiente para abrir os tecidos pulmonares colapsados e a alternativa utilizada poderia ser a utilização de pressões mais altas e a monitorização da pressão transpulmonar. Essa estratégia foi realizada pelo estudo de Fumagalli *et al.* onde a monitorização da pressão transpulmonar expiratória final entre 0-2cmH₂O representava a melhor PEEP numa estratégia incremental e uma manobra de recrutamento com pressão de platô máxima de 50cmH₂O, obtendo resultados positivos, como já descritos anteriormente. Já a segunda explicação é baixa capacidade de recrutamento pulmonar e alternativa para esta, seria a utilização de outras medidas, que não o recrutamento, tais como: a posição prona e a ventilação oscilatória de alta frequência. Em seu estudo de 2019, ZHAO *et al.* também sugerem esta alternativa em pacientes não recrutáveis.

No estudo de Hochhausen *et al.* não houve dependência estrita entre os níveis de PEEP e valores de FiO₂ no grupo de intervenção, utilizando-se a TIE. Alguns animais mostram uma ventilação mais homogênea em níveis de PEEP <10 cmH₂O, embora FiO₂ > 0,80. Além disso, alguns animais apresentaram a melhor relação entre hiperdistensão e colapso alveolar em níveis de PEEP > 15 cm H₂O, embora a FiO₂ <0,40. E esse resultado pode ser explicado pelo fato de que alguns animais se beneficiam de altos níveis de PEEP devido às manobras de recrutamento resultantes, cuja consequência é reduzir a FiO₂ gradualmente. Já outros animais, níveis elevados de PEEP não tem efeito na homogeneidade pulmonar ou em qualquer outra vantagem clínica, apenas uma FiO₂ maior proporcionando uma oxigenação melhor. Gattinoni *et al.* demonstraram que a porcentagem de pulmão potencialmente recrutável é variável em indivíduos com SDRA, o que pode ser importante para o ajuste da PEEP. Concluindo assim, que esses resultados demonstram que a TIE permite uma terapia mais individualizada.

Na literatura, diferentes respostas aos passos da PEEP são encontradas entre diferentes grupos de pacientes, mas também dentro de grupos. Desde a sua introdução, a tabela ARDSnet tornou-se sinônimo de ventilação de proteção pulmonar. No entanto, uma melhor compreensão da *driving pressure* e da ventilação pulmonar regional resultou em uma apreciação da

complexidade da ventilação de proteção pulmonar na SDRA, levando-nos a questionar uma abordagem generalizada, não adaptada às características dos pacientes, o que pode explicar as diferenças entre a PEEP guiada pela TIE versus a PEEP definida pela tabela do grupo ARDSnet (HEINES *et al.*, 2019; FUMAGALLI *et al.*, 2019).

As limitações dos estudos em animais referem que nenhum modelo animal de SDRA representa perfeitamente a SDRA humana. No estudo de Wolf *et al.* uma das principais características patológicas foi a presença de membrana hialina, uma característica histológica característica da SDRA humana. No entanto, a inflamação granulocítica observada em seu modelo animal não é típica da SDRA humana. Os autores ainda relatam que em seu modelo de lesão pulmonar, pode ter sido mais fácil obter um recrutamento pulmonar ideal, o que pode não ser o caso em pacientes com SDRA.

Outra importante limitação referida pelos autores é o tempo de análise dos estudos, que variaram entre 6 e 24 horas, sendo um período relativamente curto em relação à terapia da SDRA. Os autores reforçam a necessidade de um estudo controlado randomizado com efeitos no resultado a longo prazo, como mortalidade, dias sem ventilação, disfunção de órgãos, permanência na UTI e permanência no hospital. E o principal viés se deu principalmente pela experiência do operador durante as análises dos dados pela TIE.

CONCLUSÃO

A tomografia por impedância elétrica é uma ferramenta de monitorização promissora e que tem um grande potencial para se tornar o padrão ouro como um método de ajuste ventilatório não invasivo, livre de radiação e adaptado ao paciente à beira do leito.

Os estudos inseridos neste trabalho, em geral, demonstram que as manobras de recrutamento em casos de SDRA, quando guiadas pela tomografia por impedância elétrica representam uma intervenção bastante segura, viável e com desfecho favorável, principalmente no que tange à redução dos efeitos deletérios da lesão pulmonar induzida por ventilação mecânica e na titulação da PEEP ideal, a partir da monitorização da hiperdistensão e colapso alveolar.

REFERÊNCIAS

- 1) BRASIL. Portaria Nº 2.338, de 03 de outubro de 2011. Estabelece diretrizes e cria mecanismos para a implantação do componente Sala de Estabilização (SE) da Rede de Atenção às Urgências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF.
- 2) BACKES, M. T. S.; ERDMANN, A. L.; BÜSCHER, A. O ambiente vivo, dinâmico e complexo de cuidados em Unidades de Terapia Intensiva. **Rev. Latino-Am. Enfermagem**, v. 23, n 3, p. 411-418. Junho 2015.
- 3) PINHEIRO, A. L.; CHRISTOFOLETTI, G. Fisioterapia motora em pacientes internados na unidade de terapia intensiva: uma revisão sistemática. v. 24, n. 2, p. 188-196. Março, 2012.
- 4) FIORETTO, J. R.; CARVALHO, W. B. Temporal evolution of acute respiratory distress syndrome definitions. **J Pediatr (Rio J)**. v. 89, p. 523-530. Fevereiro, 2013.
- 5) ROTTA, A. T.; KUNRATH, C. L.; WIRYAWAN, B. Management of the acute respiratory distress syndrome. **J Pediatr (Rio J)**. v. 79, n. 2, p. 149-160. 2003
- 6) COSTA, D. C.; ROCHA, E. RIBEIRO, T. F. Association of alveolar recruitment maneuvers and prone position in acute respiratory disease syndrome patients. **Rev Bras Ter Intensiva**. v. 21, n. 2, p. 197-203. Maio, 2009.
- 7) ROSA, R. G.; RUTZEN, W.; MADEIRA L. *et al.* Uso da tomografia por impedância elétrica torácica como ferramenta de auxílio às manobras de recrutamento alveolar na síndrome do desconforto respiratório agudo: relato de caso e breve revisão da literatura. **Rev Bras Ter Intensiva**. v. 27, n. 4, p. 406-411. Novembro, 2015.
- 8) LIMA, W. A.; MORAIS C. C. A. Tomografia por impedância elétrica na unidade de terapia intensiva: o que o fisioterapeuta deve saber? In: Associação Brasileira de Fisioterapia Cardiorrespiratória e Fisioterapia em Terapia Intensiva; **PROFISIO Programa de Atualização em Fisioterapia em Terapia Intensiva Adulto: Ciclo 9**. Porto Alegre: Artmed Panamericana; 2018. p. 11-44. (Sistema de Educação Continuada a Distância, v. 1).
- 9) YUN, L. HE, H. MÖLLER, K. *et al.* Assessment of lung recruitment by electrical impedance tomography and oxygenation in ARDS patients. **Medicine**. v. 95, n. 22. Junho, 2016.
- 10) ZHAO, Z.; LEE, L.; CHANG, M. *et al.* The incidence and interpretation of large differences in EIT-based measures for PEEP titration in ARDS patients. **Journal of Clinical Monitoring and Computing**. Setembro, 2019.
- 11) HOCHHAUSEN, N. BIENER, I. ROSSAINT, R. *et al.* Optimizing PEEP by electrical impedance tomography in a porcine animal model of ARDS. **Respiratory Care**. v. 62, n. 3. Março, 2017.

- 12) YUN, L.; LIU, D.; HE, H. *et al.* Positive end-expiratory pressure titration after alveolar recruitment directed by electrical impedance tomography. **Chinese Medical Journal**. v. 128, n. 11. Junho, 2015.
- 13) LIU, S.; TAN, L.; MÖLLER, K. *et al.* Identification of regional overdistension, recruitment and cyclic alveolar collapse with electrical impedance tomography in an experimental ARDS model. **Critical Care**. v. 20, n. 119. 2016.
- 14) WOLF, G. K.; LABERGE, C. G.; RETTING, J. S. *et al.* Mechanical ventilation guided by electrical impedance tomography in experimental acute lung injury. **Laboratory Investigations**. v. 41, n. 5. Maio, 2013.
- 15) FUMAGALLI, J.; SANTIAGO, R. R. S.; DROGHI, M. T. *et al.* Lung recruitment in obese patients with acute respiratory distress syndrome. **Anesthesiology**. v. 130, n. 5, p. 791-803. 2019.
- 16) HEINES, S. J. H.; STRAUCH, U.; POLL, M. C. G. *et al.* Clinical implementation of electric impedance tomography in the treatment of ARDS: a single centre experience. **Journal of Clinical Monitoring and Computing**. v. 33, p.291-300. Maio, 2018.
- 17) NEVES, V. C; KOLISKI, A. GIRALDI, D. J. A manobra de recrutamento alveolar em crianças submetidas à ventilação mecânica em unidade de terapia intensiva pediátrica. **Rev Bras Ter Intensiva**. v. 21, n. 4, p. 453-460. Dezembro, 2009.
- 18) SOUZA, R. C.; SILVA, J. H. G. Manobras de recrutamento alveolar na síndrome da angústia respiratória aguda: uma revisão sistemática. **Revista Inspirar**. v. 7, n. 4. Novembro, 2015.
- 19) SEIBERLICH, E.; SANTANA, J. A.; CHAVES, R. A. *et al.* Protective mechanical ventilation, why use it? **Rev Bras Anesthesiol**. v. 61, n. 5, p. 659-667. Outubro, 2011.
- 20) LACHMANN, B.; Open up the lung and keep the lung open. **Intensive Care Med**. v. 18, p. 319-321. 1992.
- 21) RANIERI, V. M.; ZHANG, H.; MASCIA, L. *et al.* Pressure-time curve predicts minimally injurious ventilatory strategy in an isolated rat lung model. **Anesthesiology**. v. 93, p. 1320-1328, 2000.
- 22) LOWHAGEN, K.; LUNDIN S.; STENQVIST O. Regional intratidal gas distribution in acute lung injury and acute respiratory distress syndrome – assessed by electric impedance tomography. **Minerva Anesthesiol**. v. 76, p. 1024-1035, 2010.
- 23) CRESSONI, M.; CADRINGHER, P.; CHIURAZZI, C. *et al.* Lung inhomogeneity in patients with acute respiratory distress syndrome. **Am J Respir Crit Care Med**. v. 189, p. 149-158, 2014.
- 24) PAPADAKOS; P. J.; LACHMANN, B. The open lung concept of alveolar recruitment can improve outcome in respiratory failure and ARDS. **Mt Sinai J Med**. v. 69, p. 73-77, 2002.

- 25) RIMENSBERGER, P. C.; COX, P. N.; FRNDOVA, H. *et al.* The open lung during small tidal volume ventilation: concepts of recruitment and “optimal” positive end-expiratory pressure. **Crit Care Med.** v. 27, p. 1946-1952, 1999.
- 26) GATTINONI, L.; CAIRONI, P.; CRESSONI, M. *et al.* Lung recruitment in patients with the acute respiratory distress syndrome. **N Engl J Med.** v. 354, n. 17, p. 1775-1786. 2006.