

TOMÓGRAFO POR IMPEDÂNCIA ELÉTRICA E SEUS IMPACTOS NO MONITORAMENTO VENTILATÓRIO

Daniel Freitas Antônio, Júlio César Barbosa da Costa, Willian Pires Loddi

Faculdade de Tecnologia de Ribeirão Preto (FATEC)

Ribeirão Preto, SP – Brasil

daniel.antonio@fatec.sp.gov.br,
julio.costa9@fatec.sp.gov.br, willian.loddi@fatec.sp.gov.br

Resumo.

A Tomografia por Impedância Elétrica (TIE) é uma tecnologia não invasiva e livre de radiações ionizantes para aquisição de imagens de uma região através de suas grandezas elétricas. A tecnologia se baseia na aplicação de uma corrente elétrica de baixa intensidade através de uma cinta de eletrodos inserida na região do tórax, no qual possibilita imagear os potenciais elétricos. A tomografia por impedância elétrica constitui ferramenta de monitorização em tempo real da distribuição regional da ventilação pulmonar. Sua utilização à beira do leito em pacientes com síndrome do desconforto respiratório agudo tem o potencial de auxiliar na condução de manobras de recrutamento alveolar, além de avaliar o colapso e hiperdistensão dos pulmões, tornando a TIE uma ferramenta valiosa para a titulação da PEEP.

Palavras-chave: *Tomografia por impedância elétrica, ventilação mecânica, ventilação pulmonar, colapso, hiperdistensão.*

Abstract.

Electrical Impedance Tomography (EIT) is a non-invasive and ionizing radiation-free technology for image acquisition of a region through its electrical quantities. The technology is based on the application of a low-intensity electrical current through a strap of electrodes inserted in the chest region, which makes it possible to image the electrical potentials. Electrical impedance tomography is a tool for real-time monitoring of the regional distribution of pulmonary ventilation. Its use at the bedside in patients with acute respiratory distress syndrome has the potential to assist in conducting alveolar recruitment maneuvers, in addition to assessing lung collapse and overdistention, making EIT a valuable tool for PEEP titration.

Keywords: *Electrical impedance tomography (EIT), mechanical ventilation, lung ventilation, collapse, overdistension.*

1. Introdução

Ventilação pulmonar trata-se da entrada e saída de ar nos pulmões, abordando o termo de forma fisiológica.

Atualmente, classifica-se o suporte ventilatório em dois grandes grupos: ventilação mecânica invasiva; e ventilação não invasiva. Nas duas situações, a ventilação artificial é conseguida com a aplicação de pressão positiva nas vias aéreas. A diferença entre elas fica na forma de liberação de pressão: enquanto na ventilação invasiva utiliza-se uma prótese introduzida na via aérea, isto é, um tubo oro ou nasotraqueal (menos comum) ou uma cânula de traqueostomia, na ventilação não invasiva, utiliza-se uma máscara como interface entre o paciente e o ventilador artificial (CARVALHO et al., 2007).

O ventilador mecânico é um equipamento que tem sido fundamental nas unidades de tratamentos intensivos principalmente durante a pandemia de COVID-19, provendo suporte ventilatório aos pacientes acometidos de forma mais grave devido por consequência da patologia, terem as trocas gasosas seriamente comprometidas.

Holanda e Pinheiro (2020) relatam que, os desafios para o fornecimento seguro da ventilação mecânica (VM) incluem a manutenção do suprimento de insumos, como equipamentos de proteção individual, acessórios para a VM (por exemplo, filtros e circuitos) e medicamentos para sedação, analgesia e bloqueio neuromuscular, assim como a necessidade de suporte de serviços de engenharia clínica.

A pandemia de COVID-19 causada pelo novo coronavírus provocou milhares de mortes em todo o mundo. Até 04 de setembro de 2022, foram diagnosticados 600.381.224 casos em todo o mundo, com relato de 6.461.816 óbitos (OMS 2022). Embora tenha ocorrido a utilização de grandes tecnologias como aliadas à saúde durante o período pandêmico, discute-se se realmente poderiam ter equipamentos que pudessem trazer maior sobrevida e melhor qualidade de diagnósticos durante o período de internação. Assim, grandes tecnologias têm sido colocadas a prova, a exemplo do Tomógrafo por Impedância Elétrica, através da tomografia de impedância elétrica é possível, de forma localizada, verificar o volume de ar injetado, já que a técnica gera uma imagem do fluxo de ar nos pulmões.

Conforme define Garcia et al, (2013) a Tomografia por Impedância Elétrica (TIE) é uma técnica não invasiva de imageamento da estrutura interna de volumes condutores baseada na distribuição de condutividade (ou de resistividade), que por sua vez é estimada a partir das respostas do volume condutor à aplicação de excitação de tensão ou de corrente em eletrodos posicionados ao seu redor. Em geral, a injeção do sinal de excitação ocorre em um determinado eletrodo (ou par de eletrodos) na superfície do volume condutor, enquanto a resposta correspondente é coletada pelos demais eletrodos (ou pares de eletrodos). Esse processo se repete para vários conjuntos de excitação e de resposta, de acordo com um protocolo de aquisição predefinido, até que se colete o maior número possível de informações a respeito da distribuição de condutividade (ou resistividade). Essas informações são, então, processadas por um algoritmo de reconstrução, dando origem a uma imagem de um corte tomográfico baseada na distribuição de condutividade da secção transversal do volume condutor que passa pelo plano dos eletrodos circundantes. Uma variante da técnica pode também ser usada para a geração de imagens tomográficas tridimensionais.

Sendo assim, o objetivo deste estudo é demonstrar os impactos da introdução da Tomografia de Impedância Elétrica (TIE) como técnica de imagem suplementar em uma Unidade de Terapia Intensiva, descrever os tipos de informações que podem ser obtidas através da tecnologia, além dos resultados que cada uma das decisões tomadas influenciou na recuperação do paciente durante a Pandemia no Brasil, entre outros procedimentos.

2. Metodologia

A fim de coletar na literatura a respeito do tema, uma estratégia de busca foi realizada incluindo consultas em bases de dados eletrônicas como PUBMED, GOOGLE ACADÊMICO; combinações de títulos para pesquisa foram usadas: ventilação mecânica, ventilador pulmonar, tomografia computadorizada, tomografia por impedância elétrica, mechanical ventilation, lung ventilation, computed tomography, electrical impedance tomography (EIT).

A estratégia de revisão incluiu também checagem manual de referências literárias e teses de mestrado e doutorado que abordaram o tema.

3. Resultados e Discussão

A Tomografia por Impedância Elétrica se mostrou bastante promissora durante a Pandemia de COVID-19 no Brasil e tem atraído um número cada vez maior de pesquisadores nos últimos anos. A tecnologia consiste em explorar as diferenças entre as propriedades elétricas (condutividade e permissividade) dos diferentes tecidos biológicos. A técnica se baseia na aplicação de um perfil de potencial elétrico ou de corrente elétrica através de eletrodos posicionados no contorno da seção do corpo e na medição da resposta. A partir da relação entre os dados da excitação (potencial/corrente) e da resposta (corrente/potencial), estima-se a distribuição de condutividade e/ou permissividade no interior do domínio, o que pode ser traduzido, computacionalmente, como uma imagem dessa seção. Sabemos que as propriedades elétricas variam consideravelmente entre os diferentes tecidos biológicos o que, em princípio, permite uma boa diferenciação para a reconstrução da imagem.

Além disso, essa tecnologia leva uma grande vantagem em relação a outras técnicas por ser não invasiva e por não necessitar de nenhum tipo de radiação ionizante, não produzindo, portanto, efeitos colaterais. Além disso, um Tomógrafo por Impedância Elétrica é relativamente pequeno, o que o torna portátil, podendo ser transportado e instalado ao lado do leito de um paciente, diferentemente de outros equipamentos de imagens como os aparelhos de Tomografia Computadorizada e Ressonância Magnética Nuclear.

A tecnologia pode ser classificada como uma técnica não invasiva pois, de fato, não há necessidade de introdução de nenhum objeto estranho no corpo do paciente e nem de ingestão de nenhum tipo de contraste ou substância radioativa. Além disso, leva vantagem em relação ao exame de TC por não utilizar radiação ionizante. Com isso, a tecnologia pode ser aplicada por longos períodos sobre um mesmo paciente permitindo um monitoramento constante e em tempo real. Isso é especificamente útil em pacientes que necessitam de respiração artificial, pois permite uma melhor avaliação e um maior controle da quantidade de ar que está sendo injetada, prevenindo assim possíveis danos aos pulmões LIMA e SILVA (2006).

A facilidade de instalação, a portabilidade e a manutenção de um tomógrafo de impedância elétrica consistem basicamente de um sistema de sensoriamento (fonte de excitação e eletrodos) e de um computador. Podendo assim ser facilmente transportado e instalado, até mesmo em locais com pouco espaço e ao lado do leito de um paciente. Tudo isso, possibilita que a tomógrafo por impedância elétrica tenha um custo consideravelmente baixo comparado a outros equipamentos de imageamento médico. Estimativas apontam para um valor em torno de US \$10 mil para um tomógrafo de impedância elétrica, enquanto o custo de um aparelho de TC pode chegar a US \$1 milhão. Isso é um diferencial importante, pois permite que hospitais e clínicas, principalmente aqueles com poucos recursos, possam adquirir aparelhos em quantidade suficiente para atender satisfatoriamente um número maior de pacientes. Podemos ver na figura 1, a disposição dos acessórios interligados ao paciente.

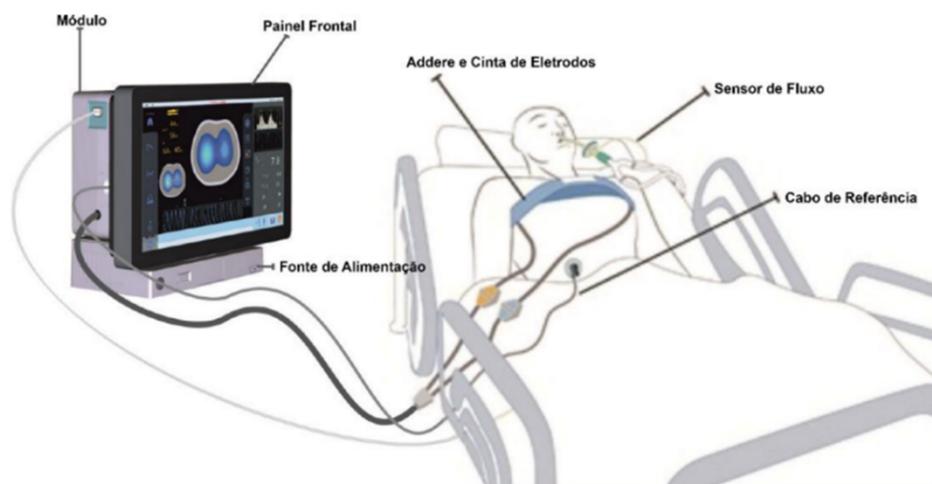


Figura 1. Acessórios

Fonte: Manual de Instruções Timpel Enlight

3.1 Análise e Impacto na utilização da Tomografia por Impedância Elétrica em conjunto a Ventilação Pulmonar

A Síndrome do Desconforto Respiratório Agudo (SDRA) é causada por vazamento de líquido no pulmão e inflamação local. Isto pode causar uma Lesão Pulmonar Aguda (LPA) e a Síndrome do Desconforto Respiratório além do acúmulo deste líquido e danos alveolares generalizados nos pulmões. O acúmulo de líquido pode ser visto nas radiografias do tórax. Os danos alveolares podem levar a cicatrizes posteriores (fibrose). As causas comuns são a infecção por pneumonia e uma infecção mais geral (sistêmica), como a sepsse.

Os pacientes com LPA e SDRA são colocados em ventilação mecânica (fornecimento de pressão positiva para os pulmões, geralmente através de um tubo de respiração). A ventilação mecânica é um método de apoio artificial à respiração. Durante a ventilação mecânica, são introduzidos gases nas vias aéreas do paciente através de um sistema mecânico externo. O uso da Pressão Expiratória Final Positiva (PEEP) é uma das estratégias de proteção pulmonar que visa aumentar a oxigenação e a sobrevivência dos pacientes.

Os benefícios e riscos da PEEP não estão claros, pois ela poderia aumentar o risco de danos pulmonares chamados de barotrauma. Isto ocorre quando o ar vaza no espaço

entre o pulmão e a parede do tórax (pneumotórax). Este ar, então, empurra a parte de fora do pulmão e provoca o seu colapso.

A PEEP é a pressão nos pulmões (pressão alveolar) no final de cada respiração (expiração). Nos pacientes em ventilação mecânica, a PEEP trabalha contra o esvaziamento passivo do pulmão e o colapso dos sacos de ar (alvéolos). O colapso dos sacos aéreos pode levar a uma insuflação incompleta do pulmão no próximo suspiro (inspiração) e a uma redução da oxigenação. A PEEP é usada para melhorar a oxigenação. Definir o nível adequado de pressão expiratória final positiva (PEEP) é a pedra angular da ventilação protetora do pulmão. A PEEP mantém os alvéolos abertos ao final da expiração, reduzindo assim o aletetrauma resultante da abertura e fechamento cíclicos das vias aéreas distais e o biotrauma determinado pelo processo inflamatório consequente às estratégias ventilatórias lesivas adotadas.

A tomografia por impedância elétrica é um exame não invasivo, ou seja, uma ferramenta de cabeceira que monitora em tempo real a distribuição da ventilação. O equipamento detecta a impedância torácica para alternar correntes entre pares de eletrodos e por meio da análise de sua variação temporal e espacial, reconstrói uma imagem em fatia bidimensional do pulmão mostrando a variação regional de ventilação e perfusão. Vários métodos baseados em tomografia por impedância elétrica foram propostos para titulação de PEEP. A primeira técnica descrita estima o grau de extensão dos pulmões para cada aumento da pressão transpulmonar (complacência pulmonar) regional durante um ensaio PEEP decremental, após o recrutamento pulmonar. O valor ideal de PEEP é representado pelo melhor compromisso entre colapso pulmonar e hiperdistensão.

Mais tarde, uma segunda técnica a avaliação do recrutamento alveolar por variação da impedância pulmonar expiratória final foi validada, o índice global de heterogeneidade e o atraso ventilatório regional, dois parâmetros derivados da tomografia por impedância elétrica, mostraram-se resultados selecionando o valor ótimo de PEEP como aquele que apresenta o menor índice global de heterogeneidade ou o menor atraso ventilatório regional. Em conclusão, a TIE representa uma técnica promissora para individualizar a PEEP em pacientes ventilados mecanicamente.

3.2 Métodos para aplicação de PEEP guiada por Tomografia por Impedância Elétrica

A primeira e atualmente mais difusa aplicação do tomógrafo por impedância elétrica para PEEP foi descrita por Costa et al. (2009), em dois pacientes intubados com insuficiência respiratória hipoxêmica aguda por pneumonia grave.

Uma vez que o volume corrente local, conforme avaliado pixel a pixel, correlaciona-se fortemente com as variações locais da impedância torácica, a complacência pulmonar do pixel pode ser estimada como a razão entre as variações de impedância e a pressão motriz, ou seja, a diferença entre o valor de pressão das vias aéreas, medida no momento da pausa inspiratória (pressão de platô) e a PEEP. Costa et al. desenvolveu um algoritmo baseado em TIE que estima as variações da complacência pulmonar regional durante um teste de PEEP decremental realizado após o recrutamento pulmonar máximo e especulou que a perda de complacência nos níveis mais altos de PEEP é consequente à hiperdistensão alveolar, enquanto a perda nos níveis mais baixos de PEEP os níveis de PEEP são secundários ao colapso alveolar. O valor de PEEP identificado pela interseção entre as curvas de TIE representando a porcentagem

cumulativa de perda de complacência devido a colapso ou hiperdistensão é definido como PEEP ideal. De fato, este valor de PEEP garante a melhor compromisso entre colapso pulmonar e hiperdistensão.

Este método para titulação PEEP TIE foi validado em pacientes recebendo VM invasiva na UTI após cirurgia cardíaca, e para SDRA, incluindo as formas mais graves que requerem oxigenação por membrana extracorpórea, em pacientes sob anestesia geral para cirurgia abdominal eletiva e para cirurgia toracoscópica durante ventilação de um pulmão. O índice global de heterogeneidade (IG) é um parâmetro derivado que estima a extensão da heterogeneidade da distribuição da ventilação. Supondo que o recrutamento alveolar com pouca ou nenhuma hiperdistensão esteja associado à distribuição homogênea do ar, a PEEP ideal deve ser caracterizada pelo menor IG possível, na figura 2 podemos observar esta evidência.

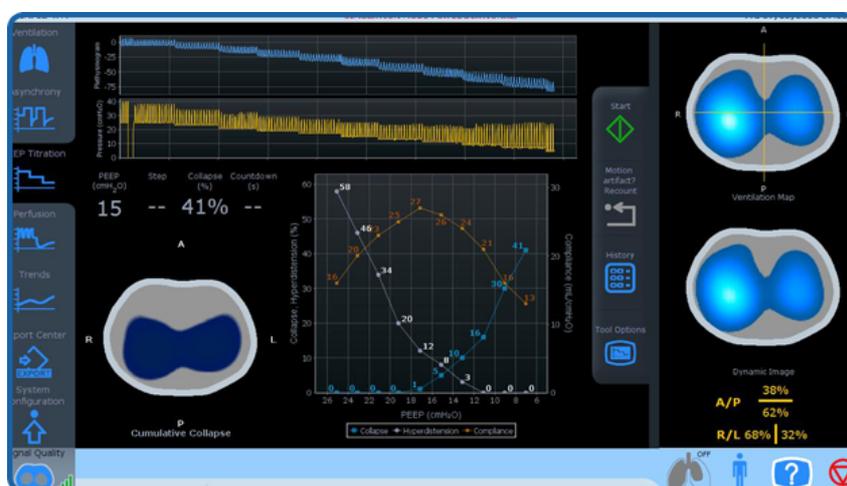


Figura 2. A detecção do melhor nível de PEEP permite minimizar a DRIVING PRESSURE e o colapso, fornecendo uma ventilação de precisão orientada ao objetivo.

3.3 TIE na insuficiência respiratória aguda por COVID-19

Embora pacientes críticos com COVID-19 preencham a definição mais ampla de SDRA, ainda são conflitantes as evidências a respeito da distribuição das áreas de acometimento pulmonar e como esta pode influenciar na oxigenação e mecânica ventilatória destes pacientes. Neste cenário, o uso de tecnologias para diagnóstico por imagem à beira-leito como a Tomografia de Impedância Elétrica pode auxiliar na avaliação e tomada de decisão clínica.

A pandemia do novo coronavírus 2019 (COVID-19), caracterizada por uma quantidade esmagadora de pacientes ventilados de forma invasiva com insuficiência respiratória aguda hipoxêmica grave, conseqüente à lesão alveolar e microtrombose da vasculatura pulmonar, representou um cenário clínico perfeito para a aplicação da tecnologia.

Um dos principais benefícios da Tomografia de Impedância Elétrica é ser totalmente inofensiva para os pacientes. Diferentemente de outros métodos de imagem, não emite nenhum tipo de radiação e não precisa de contraste. Além disso, não altera suas condições físicas, não exigindo remoção do paciente. Ou seja, pode ser realizado mesmo nos pacientes em estado mais críticos.

O fato de não precisar remover o paciente da UTI é outra grande vantagem, pois o risco de perdas ou deslocamento de acessos venosos, infecções ou oscilações nos seus indicadores corporais é extremamente reduzido. A resposta a alguma alteração fisiológica que indique a necessidade do exame também é bem mais rápida, pois a equipe pode agir logo que perceber qualquer alteração física no paciente.

A avaliação no caso dos pacientes com COVID-19 é feita em tempo real, identificando fenômenos como assincronia, pneumotórax, colapso e hiperdistensão muscular. O uso desse do equipamento favorece um tratamento eficaz, com um suporte ventilatório adequado, uma vez que seguir os protocolos de intubação pode não ser suficiente para a obtenção de bons resultados e a rápida recuperação dos pacientes.

A Figura 3 ilustra a avaliação por meio da tomografia computadorizada de tórax e da imagem funcional pulmonar obtida com a utilização da TIE foi utilizada para direcionar o tratamento à beira do leito (tabela da ARDSnet, com PEEP de 10 cmH₂O, bem como a posição prona), evidenciando grande assimetria ventilatória.

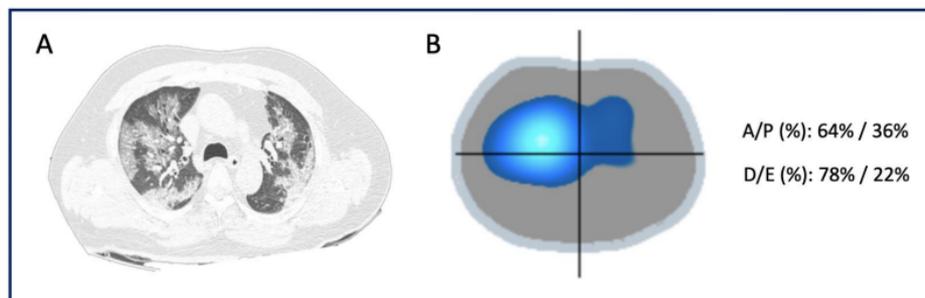


Figura 3. (A) Tomografia computadorizada com múltiplas opacidades pulmonares; opacidades em vidro fosco adjacentes à consolidação alveolar, sinais de broncopatia inflamatória associada às lesões peribrônquicas; (B) Mapa de ventilação da TIE, mostrando a distribuição da ventilação nas áreas anterior - A, posterior - P, direita - D e esquerda - E. Fonte: Adaptada de Alcalá, Cestaro, 2020.

Realizar o ajuste individualizado dos níveis de pressão positiva expiratória final (PEEP), de forma decremental, objetivando a menor driving pressure, tornando-se a melhor estratégia ventilatória. A forma ideal, para os centros que dispõem, é a mensuração por meio da tomografia por impedância elétrica, sendo possível avaliar de forma quantitativa a melhor relação entre o nível de colapso e a hiperdistensão alveolar. A meta da oxigenação deve ser compatível com a vida ($PaO_2 \geq 60$ mmHg, com $FiO_2 \leq 60\%$).

No procedimento de recrutamento alveolar, a manobra poderá ser realizada como forma de regaste em situações de não reversão da hipoxemia, com a mecânica pulmonar prejudicada, desde que seja evidenciada boa recrutabilidade. A literatura tem descrito a importância de não realizar a manobra de recrutamento alveolar de maneira escalonada, com aumento da PEEP de forma incremental. A manobra de recrutamento alveolar é uma técnica que utiliza o aumento sustentado de pressão na via aérea com o objetivo de recrutar unidades alveolares colapsadas, aumentando a área pulmonar disponível para a troca gasosa e, conseqüentemente, a oxigenação arterial. O recomendado é fazer uma manobra de CPAP/PEEP = 40 cmH₂O por 30 segundos seguidos do cálculo da PEEP ideal. A estratégia por meio do protocolo ARDSnet também poderá ser utilizada para nortear a titulação da PEEP. Ressalta-se que a manobra de recrutamento acarreta importante acometimento hemodinâmico em função da alta pressão positiva intratorácica.

Dessa forma, deve-se realizar a monitorização hemodinâmica bem como possíveis ajustes nas drogas vasoativas. A estratégia de posição prona também deve ser considerada.

Com a tomografia por impedância elétrica é possível visualizar uma representação gráfica dos locais de ocorrência de hiperdistensão e colapso alveolar para cada valor de pressão positiva expiratória final aplicada. Na Figura 4 é possível evidenciar as regiões hiperdistendidas representadas em branco. As regiões colapsadas são exibidas em azul escuro. Para valores mais elevados de pressão positiva expiratória final, nota-se a ocorrência de hiperdistensão alveolar em campos anteriores do pulmão direito. Para valores mais reduzidos de pressão positiva expiratória final, nota-se a ocorrência de colapso alveolar, principalmente em pulmão esquerdo e em campos pulmonares posteriores.

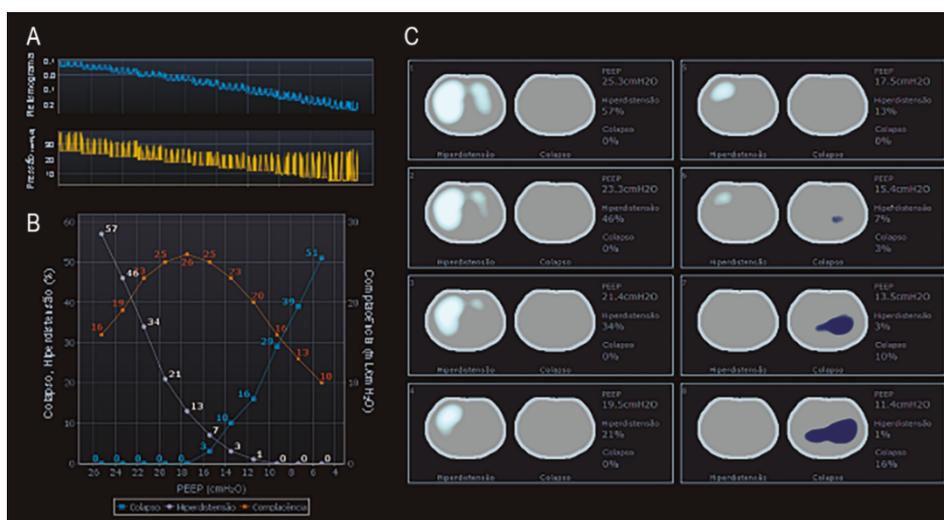


Figura 4. Estimativa do colapso e da hiperdistensão pulmonar durante manobra decremental da PEEP. Observe o aumento progressivo de colapso pulmonar com a redução da PEEP a partir de 15cmH₂O, predominante na região dependente da gravidade. Imagens geradas pelo tomógrafo por impedância elétrica Enlight (Timpel SA, São Paulo, Brasil).

A Tomografia por Impedância Elétrica faz uso de sinais elétricos de alta frequência e baixa intensidade para fornecer imagens ao vivo da respiração, mostrando o desempenho pulmonar em tempo real. Os sinais elétricos são inofensivos ao tecido e, portanto, adequados para uso a longo prazo, são transmitidos e recebidos através de eletrodos embutidos em uma cinta especialmente projetada posicionada ao redor do tórax do paciente.

Como diferentes tipos de tecido têm diferentes níveis de impedância aos sinais elétricos, essas diferenças podem ser usadas para gerar imagens com design exclusivo, usando um algoritmo clinicamente validado. A tecnologia não é invasiva e livre de radiação, ideal para aplicações a longo prazo na beira do leito.

O sistema de tomografia por impedância elétrica visualiza as funções pulmonares diretamente no leito, fornecendo informações regionais contínuas sobre a distribuição da ventilação nos pulmões. Isso abre estratégias completamente novas para os especialistas em terapia intensiva. Utilizando o monitor pulmonar por tomografia, você pode ajustar os parâmetros de ventilação e as medidas terapêuticas para atender às necessidades do paciente e, conseqüentemente, proporcionar uma ventilação mais protetora.

Como se fosse uma janela, o equipamento de Tomografia por Impedância Elétrica proporciona uma visão direta da distribuição regional da ventilação, demonstrando uma imagem sofisticada dos pulmões do paciente, o que lhe possibilita identificar mudanças regionais na ventilação.

A tecnologia representa a função pulmonar continuamente sob a forma de imagens, curvas e parâmetros dinâmicos, possibilitando ao corpo clínico observar e avaliar imediatamente os efeitos de medidas terapêuticas, com até 50 imagens por segundo.

Os resultados desses estudos indicam claramente que a tomografia por impedância elétrica fornece informações úteis para se obter e otimizar uma ventilação pulmonar protetora. Esse design portátil proporciona ventilação individualmente ajustada a cada paciente.

Alguns especialistas em ventilação mecânica e monitoramento respiratório ganharão rapidamente mais experiência no uso da tomografia por impedância elétrica na prática clínica diária, já que o equipamento foi projetado para ser utilizado de maneira flexível no leito do paciente, podendo ser facilmente transportado de um leito para outro.

A partir da Pandemia do COVID-19, a disponibilidade do equipamento de Tomografia por Impedância Elétrica, passou a ser atividades de pesquisa, já que a partir de agora os dados podem ser coletados de forma conveniente e confiável durante horas, com um dispositivo médico aprovado, alguns pesquisadores já descreveram diversas abordagens de extração das informações de diagnóstico a partir de dados da tomografia por impedância elétrica: no futuro, esses métodos poderão vir a se estabelecer como adequados para notificar o médico sobre problemas pulmonares que precisam ser evitados, como hiperdistensão ou abertura e fechamento cíclicos de regiões pulmonares.

Torna-se cada vez mais óbvio que é possível extrair o máximo proveito da interpretação diagnóstica de dados da tomografia por impedância elétrica quando algoritmos são aplicados durante manobras terapêuticas que induzem a redistribuição regional dos volumes correntes e alterações dos volumes pulmonares expiratórios finais. Com essa informação específica é possível identificar como os pulmões de cada paciente responde a estratégias diferentes de ventilação.

Atualmente, como uso de informações diagnósticas baseadas na tomografia por impedância elétrica, como uma fonte de dados para sistemas especializados futuros que ajustam os parâmetros de ventilação automaticamente e de acordo com os requisitos de cada paciente, possibilita o emprego contínuo de estratégias de ventilação que protegem os pulmões. Outra aplicação que tem merecido cada vez mais o interesse dos pesquisadores é a estimativa da distribuição regional da perfusão pulmonar com base na tecnologia.

Portanto, as imagens dinâmicas geradas pelo equipamento de tomografia por impedância elétrica podem gerar informações sobre o estado funcional de diferentes regiões dos pulmões, dentro da região de sensibilidade da tecnologia, fornecendo informações gráficas contínuas sobre a distribuição regional da ventilação e as alterações do volume pulmonar expiratório final.

3.4 Os impactos na utilização da tecnologia da Tomografia por Impedância Elétrica

A Tomografia por Impedância Elétrica vem sendo muito utilizada para a orientação da terapia respiratória, o que indica a sua relevância clínica. O uso do equipamento para guiar a ventilação também foi analisado em quatro estudos intervencionais prospectivos estudos intervencionais prospectivos.

Em um estudo de Zhao et al. (2009) a TIE foi utilizada para encontrar o ajuste ótimo de PEEP, ou seja, o nível de PEEP que resultou na distribuição mais uniforme da ventilação em todas as regiões do pulmão. Os autores analisaram a homogeneidade da distribuição da ventilação em 10 pacientes saudáveis durante a anestesia. Eles aumentaram a PEEP de 0 para 28 mbar em incrementos de 2 mbar e analisaram a homogeneidade em cada um dos níveis. Nos pacientes estudados, eles encontraram a melhor homogeneidade de ventilação a uma PEEP de 14 mbar.

Löwhagen et al. (2010) utilizaram a TIE em 16 pacientes com lesão pulmonar aguda precoce para determinar o volume pulmonar potencialmente recrutável. Com base nisso e na distribuição da ventilação regional mostrada na TIE, os autores puderam determinar o melhor nível de PEEP.

Uma abordagem semelhante foi utilizada por Camporota et al. (2012), em um estudo com dois pacientes com SARA grave. Avaliando as alterações dinâmicas de distribuição da ventilação na TIE, os investigadores puderam determinar o volume pulmonar potencialmente recrutável em ambos os pacientes: em um paciente a manobra de recrutamento seria possivelmente bem-sucedida, enquanto no outro não foi identificado qualquer volume pulmonar recrutável. Já em outro estudo, realizado por Maurício et al. (2013) a TIE foi empregada para identificar a melhor combinação de nível de pressão de suporte e nível de PEEP. Foram avaliados 10 pacientes com SARA recebendo ventilação por pressão de suporte, e a melhor combinação de PEEP alta/baixa e pressão de suporte alta/ baixa foi determinada.

O objetivo dos autores era encontrar a combinação de pressão que resultava na melhor distribuição da ventilação. A combinação de baixa pressão de suporte com alta PEEP parece ter sido a melhor combinação para essa população de pacientes.

Índices numéricos derivados da tomografia por impedância elétrica podem ser particularmente úteis para comparar a distribuição da ventilação em diferentes momentos e avaliar a tendência dessa distribuição. Com isso, a comunidade médica expressou a necessidade de índices numéricos simples, mas discriminativos, que também são um importante pré-requisito para o estabelecimento de limiares, limites e faixas meta na terapia. Na última década, começou a corrida pela melhor abordagem para interpretar informações baseadas na TIE.

Kunst et al. (2000) introduziram um índice chamado “razão de impedância” (IR), que dividia a atividade ventilatória na região superior (ventral) VA ventral das imagens de TIE pela atividade ventilatória dorsal VA dorsal. O índice IR veio a se mostrar um parâmetro sensível de monitoramento das alterações verticais de ventilação induzidas, por exemplo, por recrutamento, desrecrutamento ou hiperdistensão.

Luepschen et al. (2011) demonstraram que os índices numéricos baseados na TIE, como Centro de Ventilação (CV), podem ser utilizados como um guia para manobras de abertura do pulmão. Em especial, os autores demonstraram que manobras automáticas de abertura do pulmão baseadas na TIE/CV podem fazer parte de estratégias de ventilação em circuito fechado. Embora tentativas anteriores de ventilação automática do mesmo

grupo utilizaram PaO₂ como uma variável controlada de resultados, e as imagens de TIE e de TCs como referências independentes, essa foi a primeira vez que a TIE fez parte do circuito de controle da ventilação em si.

Zhao et al. (op. cit.) propuseram outro índice simples chamado índice de “não homogeneidade global” (GI). Para calcular esse índice, é preciso computar o valor médio das alterações de impedância regional das áreas ventiladas dentro da imagem corrente, depois é preciso calcular a soma das diferenças entre a média e o valor de cada pixel e o resultado precisa ser normalizado pela soma dos valores de impedância dentro da área. Como relatado, esse índice foi aplicado para quantificar a não homogeneidade da ventilação durante a ventilação de um dos pulmões em um estudo com 50 pacientes, dos quais 40 foram intubados com tubos endotraqueais de duplo lúmen (grupo de teste) e 10 estavam servindo como grupo de controle. Os autores concluíram que a ventilação de um pulmão foi claramente distinguível da ventilação dos dois pulmões, em todos os pacientes, usando o índice GI.

Ao longo dos anos, pesquisadores já descreveram diversas abordagens de extração das informações de diagnóstico a partir de dados da tomografia por impedância elétrica: no futuro, esses métodos poderão vir a se estabelecer como adequados para notificar o médico sobre problemas pulmonares que precisam ser evitados, como hiperdistensão ou abertura e fechamento cíclicos de regiões pulmonares. Costa et al (op. cit.) desenvolveram um algoritmo que estima a hiperdistensão e o colapso alveolar recrutáveis utilizando dados de TIE coletados durante um teste de redução da PEEP. Recentemente, Löwhagen et al. (op. cit.) desenvolveram um algoritmo para avaliar a redistribuição regional de gás na fase inspiratória durante um teste de redução da PEEP após uma manobra de recrutamento. O quadro 1 demonstra as principais vantagens e desvantagens do Tomógrafo por Impedância Elétrica.

	Tomografia por Impedância Elétrica	CITAÇÕES
VANTAGENS	Baixo custo	TRIGO,(2001)
	Não invasivo	TRIGO,(2001)
	Não utiliza nenhuma forma de radiação	TRIGO,(2001)
	De fácil transporte, evita deslocamento do paciente	TRIGO,(2001)
	Apresenta resposta temporal rápida	TRIGO,(2001)
	Proporciona uma estratégia de vent mec. mais protetora para o pulmão.	AMATO, apud TRIGO <i>et al</i> , (2001)
	Previne complicações por meio de monitoração constante	AMATO, apud TRIGO <i>et al</i> , (2001)
	Ideal para neonatos, onde a exposição de radiação é indesejável.	HINZ, apud SILVA
	Permite monitorar a perfusão pulmonar e a freq. cardíaca mostrando o impacto da respiração artificial no retorno sanguíneo.	SMIT, apud SILVA
DESVANTAGENS	Baixa resolução de imagens	TRIGO,(2001)

Quadro 1. Principais vantagens e desvantagens do TIE

4. Conclusão

O uso da tomografia por impedância elétrica pode ser uma ferramenta clínica capaz de guiar, a cada movimento respiratório, possíveis ajustes da ventilação regional, incluindo a tomada de decisão por manobras de recrutamento alveolar, em pacientes com síndrome do desconforto respiratório agudo. A tomografia por impedância elétrica pode refinar a escolha da pressão positiva expiratória final ideal pós-recrutamento máximo, levando-se em consideração a quantificação de variáveis possivelmente deletérias, como o grau de colapso e hiperdistensão alveolar.

A tomografia por impedância elétrica pode ser considerada como uma ferramenta prestes a se tornar um dos meios centrais de orientação da ventilação mecânica. Difundir a tecnologia é necessário, para uma maior adoção desse equipamento associado a ferramentas de software que auxiliem a identificar situações em que a ventilação mecânica poderia ser otimizada, contribuindo para mais vidas sejam salvas, já que a partir de agora os dados da tomografia por impedância elétrica podem ser coletados de forma conveniente e confiável durante horas, com um dispositivo médico aprovado, estimulando médicos, pesquisadores e engenheiros na sua busca por avanços e novas aplicações.

Referências

CAMPOROTA L.; SMITH J.; BARRETT N.; BEALE R.; (2012); Avaliação da mecânica pulmonar regional com tomografia de impedância elétrica pode determinar a necessidade de ECMO em pacientes com SDRA grave. Medicina Intensiva. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00134-012-2701-2>. Acesso em: 11 de Set. 2022

CARVALHO, C. R. R. Et al. (2007); Ventilação mecânica: princípios, análise gráfica e modalidades ventilatórias. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-37132007000800002>. Acesso em: 05 Ago. 2022

COSTA, E.L.V; BORGES, J.B.; MELO, A. et al. (2009). Estimativa à beira do leito do colapso alveolar recrutável e hiperdistensão por tomografia de impedância elétrica. Medicina Intensiva. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00134-009-1447-y>. Acesso em: 10 de Set. 2022.

CRUZ R. S.; VILLAREJO F.; IRRAZABAL C.; CIAPPONI A. (2021); Níveis altos versus baixos de pressão expiratória final positiva (PEEP) para pacientes adultos ventilados mecanicamente com lesão pulmonar aguda e síndrome do desconforto respiratório agudo. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/14651858.CD009098.pub3>. Acesso em: 20 de Set. de 2022

GARCIA, F.D.; SOUZA, M.N.; PINO, A.V. (2013); Algoritmo de reconstrução de imagens para um sistema de Tomografia por Impedância Elétrica (TIE) baseado em

configuração multiterminais. Revista Brasileira de Engenharia Biomédica. Disponível em: <https://doi.org/10.4322/rbeb.2013.014>. Acesso em: 10 de Set. 2022

HOLANDA M. A.; PINHEIRO B.V. (2020); COVID-19 pandemic and mechanical ventilation: facing the present, designing the future. J Bras Pneumol. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.36416/1806-3756/e20200282>. Acesso em: 05 Ago. 2022

HOLZHACKER R.; Manual do Usuário: Enlight 2100. Disponível em: <https://consultas.anvisa.gov.br/#/saude/25351166075202217/?nomeProduto=enlight%202100>. Acesso em: 26 de Out de 2022

KUNST P.W.; et al. (2000); Monitoramento de recrutamento e desrecrutamento por tomografia de impedância elétrica em modelo de lesão pulmonar aguda. Crit Care Med, Disponível em: <https://doi.org/10.1097/00003246-200012000-00025>. Acesso em: 11 de Set. 2022

LAZZERI M.; LANZA A.; BELLINI R.; et al. (2020); Fisioterapia respiratória em pacientes com infecção por COVID-19 em situação aguda: um documento de posição da Associação Italiana de Fisioterapeutas Respiratórios (ARIR), Disponível em: <https://doi.org/10.4081/monaldi.2020.1285>. Acesso em: 13 de Set. de 2022

LIMA, C. R.; SILVA E. C. N. (2006); Estudo da Obtenção de Imagens de Tomografia de Impedância Elétrica do Pulmão pelo Método de Otimização Topológica. Tese (Doutorado), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. Disponível em: https://indico.cern.ch/event/665613/contributions/2719161/attachments/1523089/2380287/reconstrucao_TomoImpedanciaEletrica.pdf. Acesso em: 10 de Set. 2022

LÖWHAGEN K.; LUNDIM S.; STENQVIST O. (2010). Distribuição regional de gás intratidal em lesão pulmonar aguda e síndrome do desconforto respiratório agudo avaliada por tomografia de impedância elétrica. Minerva Anesthesiol, Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21178912/>. Acesso em: 11 de Set. 2022

LUEPSCHEN H. et al. (2007) Ventilação protetora usando tomografia de impedância elétrica. Fisiol Meas, Disponível em: <https://doi.org/10.1088/0967-3334/28/7/S18>. Acesso em: 11 de Set. 2022

LÜEPSCHEN H.; MEIER T.; MUDERS T.; et al. (2011) Recrutamento pulmonar individualizado e automatizado usando tomografia de impedância elétrica em um modelo SDRA suíno. Disponível em: https://doi.org/10.1164/ajrcm-conference.2011.183.1_MeetingAbstracts.A1692. Acesso em: 20 de Set. de 2022

MAURÍCIO T., et al.; (2013) Distribuição topográfica da ventilação corrente na síndrome do desconforto respiratório agudo: efeitos da pressão expiratória final positiva e pressão de suporte; *Critical Care Med*, Disponível em:

<https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e318287f6e7>. Acesso em: 11 de Set. 2022

MUSUMECI M. M.; MARTINEZ B. P.; NOGUEIRA I. C.; ALCANFOR T. (2020) Recursos fisioterapêuticos utilizados em unidades de terapia intensiva para avaliação e tratamento das disfunções respiratórias de pacientes com COVID-19. Disponível em:

<http://dx.doi.org/10.47066/2177-9333.AC20.covid19.007>. Acesso em: 13 de Set. de 2022

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. (2022, 07 de setembro). *Atualizações Situacionais de Emergência*. Retirado de:

<https://www.who.int/publications/m/item/weekly-epidemiological-update-on-covid-19---7-september-2022>. Acesso em: 07 de Set. 2022

SILVA F. I.; Tomografia por Bioimpedância Elétrica: Uma alternativa para monitoração pulmonar contínua em unidades de terapia intensiva; Disponível em:

<https://interfisio.com.br/tomografia-por-bioimpedancia-eletrica-uma-alternativa-para-monitoracao-pulmonar-continua-em-unidades-de-terapia-intensiva/>. Acesso em: 13 de Ago. 2022

TRIGO F. C. (2001); Filtro estendido de Kalman aplicado à tomografia por impedância elétrica, pg.13,14 e 15. Disponível em:

<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3132/tde-23112001-151232/publico/ftrigoeit.pdf>. Acesso em: 27 de Ago. 2022

TESCHNER E.; IMHOFF M.; LEONHARDT S.; Tomografia de impedância elétrica: A concretização do monitoramento da ventilação regional. 2ª Ed. Disponível em:

<https://www.draeger.com/Library/Content/draeger-eit-9104015-pt-br-1705-1.pdf>. Acesso em: 13 de Set. de 2022

ZHAO Z.; MOLLER K.; STEINMANN D.; FRERICHS I.; GUTTMANN J. (2009) Avaliação de um Índice de Inomogeneidade Global baseado em tomografia de impedância elétrica para distribuição da ventilação pulmonar. *Medicina Intensiva*; Disponível em:

<https://doi.org/10.1007/s00134-009-1589-y>. Acesso em: 10 de Set. 2022.