

Ultrassonografia pulmonar na titulação de PEEP em pacientes com SDRA: Uma revisão narrativa

Ultrasonography in PEEP Titration for Patients with ARDS: A narrative review

Ultrasonografía en la Titulación de PEEP para Pacientes con SDRA: Una revisión narrativa

Recebido: 04/11/2023 | Revisado: 21/11/2023 | Aceitado: 23/11/2023 | Publicado: 25/11/2023

Gabriel Martins de Barros

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2758-6200>
Universidade Estadual do Piauí, Brasil
E-mail: gabrielmartins97@gmail.com

João Francisco Lima Filho

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-6764-7667>
Centro Universitário Uninovafapi, Brasil
E-mail: joaolimafillho@gmail.com

Resumo

Este estudo tem como objetivo verificar através de uma revisão narrativa a importância da ultrassonografia pulmonar na escolha da Pressão Positiva Expiratória Final (PEEP) ideal em pacientes com Síndrome do Desconforto Respiratório Agudo (SDRA). A determinação precisa do nível adequado de PEEP é essencial para otimizar o manejo do SDRA, equilibrando o recrutamento pulmonar e a melhora da oxigenação sem causar efeitos adversos. O artigo explora o papel da ultrassonografia pulmonar na visualização dinâmica das estruturas pulmonares, permitindo a avaliação em tempo real das condições pulmonares. Além disso, são discutidos os métodos para determinar a PEEP e a correlação entre a ultrassonografia pulmonar e a tomografia computadorizada na avaliação da aeração pulmonar. Com base nas evidências disponíveis, esta revisão sugere que a ultrassonografia pulmonar é uma ferramenta incipiente para orientar a escolha da PEEP em pacientes com SDRA, contribuindo para uma abordagem mais personalizada e eficaz no tratamento desses pacientes. Mas devido a poucos estudos realizados até o momento estudos multicêntricos e randomizados, pesquisas devem ser realizadas.

Palavras-chave: Respiração com pressão positiva; Síndrome do desconforto respiratório; Ultrassonografia.

Abstract

This study aims to verify, through a narrative review, the importance of lung ultrasound in choosing the ideal Positive End-Expiratory Pressure (PEEP) in patients with Acute Respiratory Distress Syndrome (ARDS). Accurately determining the appropriate PEEP level is essential to optimize ARDS management, balancing lung recruitment and improving oxygenation without causing adverse effects. The article explores the role of lung ultrasound in dynamic visualization of lung structures, allowing real-time assessment of lung conditions. Furthermore, methods for determining PEEP and the correlation between lung ultrasound and computed tomography in the assessment of lung aeration are discussed. Based on the available evidence, this review suggests that lung ultrasound is an incipient tool to guide the choice of PEEP in patients with ARDS, contributing to a more personalized and effective approach to treating these patients. But due to few studies carried out to date multicenter and randomized studies, research must be carried out.

Keywords: Positive pressure respiration; Acute respiratory distress syndrome; Ultrasound.

Resumen

Este estudio tiene como objetivo verificar, a través de una revisión narrativa, la importancia de la ecografía pulmonar en la elección de la Presión Positiva Final de Espiración (PEEP) ideal en pacientes con Síndrome de Dificultad Respiratoria Aguda (SDRA). Determinar con precisión el nivel de PEEP apropiado es esencial para optimizar el manejo del SDRA, equilibrar el reclutamiento pulmonar y mejorar la oxigenación sin causar efectos adversos. El artículo explora el papel de la ecografía pulmonar en la visualización dinámica de las estructuras pulmonares, lo que permite la evaluación en tiempo real de las condiciones pulmonares. Además, se discuten los métodos para determinar la PEEP y la correlación entre la ecografía pulmonar y la tomografía computarizada en la evaluación de la aireación pulmonar. Con base en la evidencia disponible, esta revisión sugiere que la ecografía pulmonar es una herramienta incipiente para guiar la elección de PEEP en pacientes con SDRA, contribuyendo a un enfoque más personalizado y eficaz para el tratamiento de estos pacientes. Pero debido a los pocos estudios realizados hasta la fecha, estudios multicéntricos y aleatorizados, es necesario realizar investigaciones.

Palabras clave: Respiración con presión positiva; Síndrome de dificultad respiratoria; Ecografía.

1. Introdução

A otimização da Pressão Expiratória Final Positiva (PEEP) é um elemento crítico no manejo da Síndrome do Desconforto Respiratório Agudo (SDRA) (Heunks et al., 2023; Somhorst et al., 2022). A PEEP ideal representa o ponto de equilíbrio que assegura o recrutamento pulmonar máximo, promovendo uma melhora na oxigenação sem provocar hiperinsuflação pulmonar ou perturbações na hemodinâmica (Kim et al., 2020; Sahetya et al., 2020; Somhorst et al., 2022; Yu et al., 2023).

Reconhece-se que a definição adequada do PEEP é um aspecto importante de uma estratégia de ventilação que visa proteger os pulmões, não apenas uma estratégia para melhorar a oxigenação (Boesing et al., 2022; Yuan et al., 2023). Estabelecer níveis de PEEP de 5 cm H₂O pode ser prejudicial na fase aguda da SDRA e aumentar exacerbamente ela a níveis maiores que 15 cmH₂O inclui os efeitos adversos hemodinâmicos, renais e neurológicos (Somhorst et al., 2022).

Vale ressaltar que não existe um método universalmente aceito como padrão-ouro para a determinação precisa do nível ideal de PEEP (Boesing et al., 2022; Yuan et al., 2023). Nessa perspectiva métodos foram propostos para titulação da PEEP em um paciente individual com SDRA, incluindo troca gasosa, complacência, curva pressão-volume, índice de estresse, manometria esofágica, volume pulmonar, exames de imagem, tomografia de bioimpedância elétrica e ultrassonografia (Boesing et al., 2022; Heunks et al., 2023; Kim et al., 2020; Somhorst et al., 2022).

Estudos anteriores compararam os métodos de estratégias convencionais de titulação da PEEP, mas poucos a configuração individual da PEEP baseada na Ultrassom (Salem et al., 2020), que está sendo usado recentemente para configurar PEEP, e foi proposto esse ano para diagnóstico em SDRA, o que vai provocar aumento de estudos na área. Dessa forma vamos realizar uma revisão narrativa para discutir e verificar como esta p estado da arte na área.

2. Metodologia

A pesquisa de literatura dessa revisão narrativa foi realizada nas bases de dados PubMed, Scopus, Web of Science com acesso através do periódico capes. A pesquisa envolveu a utilização de palavras-chave relacionadas ao tema, a partir da MESH com a seguinte combinação: ("Respiratory Distress Syndrome" OR "Respiratory Distress Syndromes" OR "Syndrome, Respiratory Distress" OR "Shock Lung" OR "Lung, Shock" OR "Respiratory Distress Syndrome, Acute" OR "Acute Respiratory Distress Syndrome" OR "ARDS, Human" OR "Human ARDS" OR "Respiratory Distress Syndrome,") AND ("Positive Pressure Respiration" OR "Positive-Pressure Respirations" OR "Respiration, Positive-Pressure" OR "Respirations, Positive-Pressure" OR "Positive-Pressure Ventilation" OR "Positive Pressure Ventilation" OR "Positive-Pressure Ventilations" OR "Ventilation, Positive-Pressure" OR "Ventilations, Positive-Pressure" OR "Positive End-Expiratory Pressure" OR "End-Expiratory Pressure, Positive" OR "End-Expiratory Pressures, Positive" OR "Positive End Expiratory Pressure" OR "Positive End-Expiratory Pressures" OR "Pressure, Positive End-Expiratory" OR "Pressures, Positive End-Expiratory" OR "PEEP") AND ("Diagnostic Ultrasound" OR "Diagnostic Ultrasounds" OR "Ultrasound, Diagnostic" OR "Ultrasounds, Diagnostic" OR "Ultrasound Imaging" OR "Imaging, Ultrasound" OR "Imagings, Ultrasound" OR "Echotomography" OR "Ultrasonic Imaging" OR "Imaging, Ultrasonic" OR "Sonography, Medical" OR "Medical Sonography" OR "Ultrasonographic Imaging" OR "Imaging, Ultrasonographic" OR "Imagings, Ultrasonographic" OR "Ultrasonographic Imagings" OR "Echography" OR "Diagnosis, Ultrasonic" OR "Diagnoses, Ultrasonic" OR "Ultrasonic Diagnoses" OR "Ultrasonic Diagnosis" OR "Echotomography, Computer" OR "Computer Echotomography" OR "Tomography, Ultrasonic" OR "Ultrasonic Tomography").

Foram verificados artigos somente na língua inglesa (pesquisa prévia não mostrou estudos relevantes em outras línguas) e sem restrição de data no período de agosto a outubro de 2023. Após a seleção dos artigos, a análise envolveu a leitura completa de cada estudo e a extração de informações relevantes sobre o uso do ultrassom na avaliação e ajuste da PEEP em pacientes com SDRA, conforme preza uma revisão narrativa (Dunstan et al., 2019; ElHaffar et al., 2020). O tipo de estudo de revisão narrativa

foi escolhido pois essas revisões são adequadas para tópicos exploratórios, nos quais a pesquisa é heterogênea e ainda está em desenvolvimento, uma revisão narrativa é uma abordagem descritiva para examinar a literatura existente sobre um tema específico. Ao contrário das revisões sistemáticas, as revisões narrativas não seguem uma metodologia rigorosa de busca e seleção de estudos, nem aplicam análises estatísticas formais. Esses estudos usam uma variedade de fontes, como artigos de pesquisa, revisões anteriores e livros, e a metodologia é mais flexível e menos formal do que a de uma revisão sistemática (Baethge et al., 2019; Borges Migliavaca et al., 2020; Haddaway et al., 2020; Siddaway et al., 2019).

A síntese dos resultados é realizada de maneira narrativa, destacando tendências, padrões e discrepâncias no conhecimento existente. A seleção de estudos pode ser subjetiva, e há uma ênfase na interpretação crítica dos resultados. Apesar de proporcionar uma visão geral de um campo de estudo, as revisões narrativas podem estar sujeitas a vieses de seleção e interpretação, e os leitores devem abordar os resultados com uma compreensão crítica de sua natureza descritiva e interpretativa (Baethge et al., 2019; Borges Migliavaca et al., 2020; Haddaway et al., 2020; Siddaway et al., 2019), mas o número de pesquisas realizadas até o momento com uso da ultrassonografia para escolha de PEEP não justificam ainda uma revisão sistemática. Os estudos incluídos foram analisados quanto à sua metodologia, resultados e conclusões, a fim de identificar tendências, lacunas de conhecimento e perspectivas futuras na aplicação do ultrassom na titulação de PEEP em pacientes com SDRA.

3. Resultados e Discussão

No contexto da ultrassonografia pulmonar como um método seguro para determinação da PEEP conforme (Salem et al., 2020) aponta com 60 pacientes, a PEEP determinada pelo escore de aeração do ultrassom pulmonar (LUS) mostrou resultados superiores em comparação com a PEEP determinada pela fração inspirada de oxigênio (FiO₂). O Grupo LUS (Grupo I) apresentou uma relação P/F significativamente melhor ($266 \pm 44,5$ vs. $233 \pm 53,9$) e uma complacência estática superior ($54,8 \pm 6,6$ vs. $45,9 \pm 3,8$) em comparação com o Grupo FiO₂ (Grupo II). Além disso, o Grupo LUS teve uma menor taxa de mortalidade em 28 dias (6,7% vs. 30%) e uma redução no tempo de ventilação mecânica e na permanência na UTI. Esses resultados sugerem que a PEEP guiada por LUS oferece melhor oxigenação, complacência e redução da mortalidade, disfunção orgânica, tempo de ventilação mecânica e permanência na UTI em comparação com a PEEP guiada por FiO₂. Portanto, o estudo destaca a eficácia da abordagem guiada por LUS em pacientes críticos.

No estudo conduzido por (Algieri et al., 2014) pacientes com SDRA foram submetidos a avaliações de ultrassom pulmonar e tomografia computadorizada de pulmão total enquanto sedados, paralisados e sob ventilação mecânica com níveis de PEEP de 5 e 15 cmH₂O. O ultrassom foi realizado em seis áreas para cada pulmão, atribuindo uma pontuação de aeração a cada área com base na presença de linhas B e consolidação. A soma das pontuações individuais resultou no escore de aeração cumulativo variando de 0 a 36 para ambos os pulmões.

Os resultados incluíram sete pacientes, com LUS variando entre 14 e 23 em 14 condições avaliadas. A mediana do LUS de 19 correspondeu a diferentes volumes de tecido não aerado na tomografia. Houve uma boa correlação entre as mudanças no escore de aeração cumulativo e as mudanças nos volumes não aerados da qCT. A mudança no escore de aeração cumulativo de pelo menos três áreas para bem arejadas resultou em um aumento significativo no volume pulmonar bem aerado em comparação com o grupo de não recrutadores do escore de aeração cumulativo. Esses dados preliminares sugerem que o Ultrassom pode ser uma ferramenta precisa para avaliar a aeração e o recrutamento pulmonar à beira do leito, potencialmente evitando a necessidade de tomografia computadorizada, com seus riscos e carga de trabalho associados.

Em outro estudo realizado por (Cho et al., 2020) com pacientes com SDRA, a excursão diafragmática dorsal (DDE) e ventral (VDE) foram avaliadas por ultrassonografia modo M do hemidiafragma direito enquanto a pressão positiva no final da expiração (PEEP) era variada. Conforme a PEEP aumentava, a pressão transpulmonar, DDE e a relação DDE/VDE também aumentaram. Quando a pressão transpulmonar se tornou positiva, houve um aumento notável no DDE e na relação DDE/VDE.

A avaliação ultrassonográfica permitiu medir a excursão diafragmática regional de forma precisa. Esses achados sugerem que a avaliação da excursão diafragmática por ultrassonografia pode ser uma ferramenta valiosa na avaliação à beira do leito do recrutamento pulmonar em pacientes com SDRA (Cho et al., 2020).

Em contrapartida em um subestudo de um ensaio clínico multicêntrico nacional, (Zimatore et al., 2023) compararam estratégias de ventilação com PEEP mais baixa versus mais alta em 57 pacientes sem SDRA. Os pacientes foram submetidos a exames sistemáticos de ultrassonografia pulmonar em 12 regiões dentro de 12 horas e entre 24 a 48 horas após o início da ventilação invasiva, de acordo com a randomização. O endpoint primário do estudo foi uma alteração na pontuação global de aeração do ultrassom, onde um valor mais alto indicaria um maior comprometimento na aeração pulmonar. Os resultados mostraram que as diferenças nas mudanças ao longo do tempo e nas pontuações absolutas de aeração da ultrassonografia não alcançaram significância estatística entre os grupos de PEEP mais baixa e mais alta.

A necessidade de recrutamento pulmonar, identificada pela Ultrassom, é baseada na reaeração das regiões pulmonares. Em alguns casos, as consolidações são transformadas em linhas B coalescentes, e em raras ocasiões, as linhas B coalescentes podem ser transformadas em linhas B bem separadas ou em uma morfologia pulmonar normal, representada por linhas A. Esse aspecto destaca a utilidade da ultrassonografia pulmonar na monitorização da aeração pulmonar e no acompanhamento da resposta à terapia com PEEP em pacientes com SDRA (Abdelhameed et al., 2020; Theerawit et al., 2023; Zimatore et al., 2023).

O padrão ultrassonográfico dos pulmões está intimamente ligado ao seu grau de aeração. Uma aeração pulmonar normal é caracterizada pela presença de linhas A horizontais que se estendem além da linha pleural. Em contrapartida, a presença de múltiplas linhas B verticais, comumente conhecidas como "caudas de cometa," espaçadas de maneira definida, indica uma diminuição moderada na aeração pulmonar (Cho et al., 2020; Yuan et al., 2023). Esse fenômeno pode ser resultado de condições como síndrome intersticial, quando as linhas B estão regularmente espaçadas a 7 mm de distância, indicando o espessamento dos septos interlobulares, ou de focos disseminados de pneumonia, quando as linhas B apresentam espaçamento (Bosso et al., 2023; Cortes-Puentes et al., 2023; Salem et al., 2020).

Quando as linhas B coalescem e estão separadas por menos de 3 mm, isso sugere uma diminuição mais grave na aeração pulmonar, frequentemente associada ao preenchimento parcial dos espaços alveolares por edema pulmonar ou broncopneumonia confluyente. A presença de consolidação pulmonar, identificada por broncogramas dinâmicos durante a inspiração, reflete a perda completa da aeração pulmonar, com a manutenção da aeração dos bronquíolos distais (Elshazly et al., 2021; Theerawit et al., 2023; Tonelotto et al., 2020).

No escore de reaeração ultrassonográfica, 12 regiões torácicas (seis em cada pulmão) são avaliadas com uma sonda de ultrassom *phased array* de 2–4 MHz, como exemplificado na Figura 2. Cada região recebe uma categoria de acordo com sua aparência ultrassonográfica. Regiões com aeração normal, caracterizada por deslizamento pulmonar normal e até duas linhas B isoladas, são categorizadas como "N." Regiões com mais de duas linhas B bem definidas, indicando moderada perda de aeração, são classificadas como B1. Se as linhas B começam a coalescer, evidenciando grave perda de aeração, a região é identificada como B2 (Cho et al., 2020; Elshazly et al., 2021; Theerawit et al., 2023; Tonelotto et al., 2020).

Em contrapartida, quando a região não reflete mais ondas ultrassonográficas e assume a aparência de tecido (fenômeno denominado "hepatização"), isso indica consolidação e é classificada como "C." Quando a aparência ultrassonográfica de uma região não é uniforme, a categoria é atribuída com base na anormalidade mais acentuada presente. Qualquer alteração na aparência antes e após uma intervenção, como a administração de antibióticos ou a aplicação de PEEP, corresponde a uma alteração no escore de reaeração ultrassonográfica.

A introdução do "escore ultrassonográfico pulmonar" foi o refinamento do escore de reaeração ultrassonográfica. Nesse método, as regiões pulmonares são pontuadas com base em sua aparência atual. Regiões que aparentam estar normalmente arejadas (N) recebem uma pontuação de 0; áreas com uma perda moderada de aeração (B1) são pontuadas com 1; regiões com

grave perda de aeração (B2) recebem uma pontuação de 2; e regiões com perda total de aeração, ou seja, consolidação (C), recebem uma pontuação de 3. A soma das pontuações nas 12 regiões resulta no valor do LUS, variando de 0 a 36 (Cho et al., 2020; Salem et al., 2020).

Pontuações mais baixas no LUS indicam uma aeração pulmonar mais eficaz, enquanto pontuações mais elevadas sugerem uma aeração mais comprometida. Esse método pode ser repetido para monitorar as mudanças na aeração ao longo da evolução de uma doença pulmonar ou, como demonstrado por diversos autores na seção subsequente, para orientar a determinação dos níveis ideais de PEEP em pacientes com SDRA (Algieri et al., 2014; Bhat et al., 2015; Salem et al., 2020; Zimatore et al., 2023).

Diversos estudos ultrassonográficos, focados na análise do lobo inferior esquerdo durante a ecocardiografia transefágica, confirmaram a capacidade de avaliar o recrutamento pulmonar. Além disso, a resolução da pneumonia associada à ventilação mecânica com terapia antimicrobiana demonstrou ser avaliável com precisão por meio da ultrassonografia pulmonar. Uma correlação significativa foi observada entre o aumento da aeração pulmonar na tomografia computadorizada (TC) após sete dias de administração de antibióticos e uma pontuação de re-aeração ultrassonográfica baseada nas mudanças observadas nos padrões de ultrassom. Portanto, é razoável supor que qualquer terapia destinada a reverter a perda de aeração característica da LPA/SDRA possa ser detectada por meio de alterações correspondentes nos padrões de ultrassonografia pulmonar e ela serve para titulação da PEEP (Bhat et al., 2015; Cho et al., 2020; Salem et al., 2020; Zimatore et al., 2023).

No geral os exames de ultrassonografia pulmonar dependem da visualização da linha pleural, e, nos casos em que a aeração pulmonar está comprometida, de quaisquer estruturas subpleurais, por meio de janelas acústicas localizadas nos espaços intercostais. Em síntese para titular a PEEP precisa que os seguintes achados estejam mais próximos da normalidade a medida que aumente ou diminua a presença de uma linha pleural brilhante e cintilante; a identificação do deslizamento pulmonar, que pode ser confirmado pela observação do sinal "litoral" no modo M; a presença de Linhas A; e a ocorrência de duas ou menos Linhas B isoladas (Algieri et al., 2014; Cho et al., 2020; Zimatore et al., 2023).

Além de sua precisão, a ultrassonografia pulmonar apresenta várias vantagens importantes. Ela é um método não invasivo, de baixo custo, rápido e repetível, o que a torna especialmente vantajosa em ambientes de cuidados intensivos, como a UTI. Isso elimina a necessidade de transportar o paciente para outros locais para realização de exames mais invasivos.

4. Conclusão

A ultrassonografia pulmonar é uma abordagem promissora para monitorar a aeração pulmonar, o recrutamento pulmonar e a resposta à terapia em pacientes críticos. Ela oferece vantagens significativas, como sendo não invasiva, de baixo custo e repetível, tornando-a especialmente adequada para ambientes de cuidados intensivos, como as UTIs. A combinação de ultrassonografia pulmonar com outros métodos de avaliação clínica pode fornecer informações valiosas para otimizar a ventilação mecânica e melhorar os resultados clínicos em pacientes com doenças respiratórias agudas.

No entanto, são necessários mais estudos para definir protocolos padrão, explorar sua utilidade em diferentes populações de pacientes e determinar seu impacto direto nas decisões clínicas. Investigações futuras devem focar em estudos multicêntricos e randomizados para consolidar a posição da ultrassonografia pulmonar como uma ferramenta essencial na abordagem clínica de pacientes com doenças respiratórias agudas.

Referências

- Abdelhameed, A. M. A., Alrifai, A. W. S., & Abdelhay, A. I. (2020). Value of Ultrasound in the Management of Acute Respiratory Distress Syndrome by Optimal PEEP. *International Journal of Medical Arts*. <https://doi.org/10.21608/ijma.2020.116075>
- Algieri, I., Mongodi, S., Chiumello, D., Mojoli, F., Cressoni, M., Via, G., Luoni, S., Colombo, A., Babini, G., & Braschi, A. (2014). CT scan and ultrasound comparative assessment of PEEP-induced lung aeration changes in ARDS. *Critical Care*, 18(Suppl 1), P285. <https://doi.org/10.1186/cc13475>

- Baethge, C., Goldbeck-Wood, S., & Mertens, S. (2019). SANRA—a scale for the quality assessment of narrative review articles. *Research Integrity and Peer Review*, 4(1), 5. <https://doi.org/10.1186/s41073-019-0064-8>
- Bhat, S., Johnson, D., Pierog, J., Zaia, B., Williams, S., & Gharahbaghian, L. (2015). Prehospital Evaluation of Effusion, Pneumothorax, & Standstill (PEEPS): Point-of-care Ultrasound in Emergency Medical Services. *Western Journal of Emergency Medicine*, 16(4), 503–509. <https://doi.org/10.5811/westjem.2015.5.25414>
- Boeing, C., Graf, P. T., Schmitt, F., Thiel, M., Pelosi, P., Rocco, P. R. M., Luecke, T., & Krebs, J. (2022). Effects of different positive end-expiratory pressure titration strategies during prone positioning in patients with acute respiratory distress syndrome: a prospective interventional study. *Critical Care*, 26(1), 82. <https://doi.org/10.1186/s13054-022-03956-8>
- Borges Migliavaca, C., Stein, C., Colpani, V., Barker, T. H., Munn, Z., & Falavigna, M. (2020). How are systematic reviews of prevalence conducted? A methodological study. *BMC Medical Research Methodology*, 20(1), 96. <https://doi.org/10.1186/s12874-020-00975-3>
- Bosso, G., Sansone, G., Papillo, M., Giaquinto, A., Orefice, S., Allegorico, E., Serra, C., Minerva, V., Mercurio, V., Cannavacciuolo, F., Dello Vicario, F., Porta, G., Pagano, A., & Numis, F. G. (2023). Lung ultrasound-guided PEEP titration in COVID–19 patients treated with CPAP. *Journal of Basic and Clinical Physiology and Pharmacology*, 34(5), 677–682. <https://doi.org/10.1515/jbcp-2023-0165>
- Cho, R. J., Adams, A., Ambur, S., Lunos, S., Shapiro, R., & Prekker, M. E. (2020). Ultrasound Assessment of Diaphragmatic Motion in Subjects With ARDS During Transpulmonary Pressure-Guided PEEP Titration. *Respiratory Care*, 65(3), 314–319. <https://doi.org/10.4187/respcare.06643>
- Cortes-Puentes, G. A., Gattinoni, L., & Marini, J. J. (2023). Physiology-Based Approach to PEEP Titration in COVID-19 ARDS. *Respiratory Care*, 68(2), 290–292. <https://doi.org/10.4187/respcare.10811>
- Dunstan, E., Cook, J.-L., & Coyer, F. (2019). Safety culture in intensive care internationally and in Australia: A narrative review of the literature. *Australian Critical Care*, 32(6), 524–539. <https://doi.org/10.1016/j.aucc.2018.11.003>
- ElHaffar, G., Durif, F., & Dubé, L. (2020). Towards closing the attitude-intention-behavior gap in green consumption: A narrative review of the literature and an overview of future research directions. *Journal of Cleaner Production*, 275, 122556. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122556>
- Elshazly, M., Khair, T., Bassem, M., & Mansour, M. (2021). The use of intraoperative bedside lung ultrasound in optimizing positive end expiratory pressure in obese patients undergoing laparoscopic bariatric surgeries. *Surgery for Obesity and Related Diseases*, 17(2), 372–378. <https://doi.org/10.1016/j.soard.2020.09.023>
- Haddaway, N. R., Bethel, A., Dicks, L. V., Koricheva, J., Macura, B., Petrokofsky, G., Pullin, A. S., Savilaakso, S., & Stewart, G. B. (2020). Eight problems with literature reviews and how to fix them. *Nature Ecology & Evolution*, 4(12), 1582–1589. <https://doi.org/10.1038/s41559-020-01295-x>
- Heunks, L., Piquilloud, L., & Demoule, A. (2023). How we approach titrating PEEP in patients with acute hypoxemic failure. *Critical Care*, 27(1), 415. <https://doi.org/10.1186/s13054-023-04694-1>
- Kim, K. T., Morton, S., Howe, S., Chiew, Y. S., Knopp, J. L., Docherty, P., Pretty, C., Desai, T., Benyo, B., Szlavecz, A., Moeller, K., Shaw, G. M., & Chase, J. G. (2020). Model-based PEEP titration versus standard practice in mechanical ventilation: a randomised controlled trial. *Trials*, 21(1), 130. <https://doi.org/10.1186/s13063-019-4035-7>
- Sahetya, S. K., Hager, D. N., Stephens, R. S., Needham, D. M., & Brower, R. G. (2020). PEEP Titration to Minimize Driving Pressure in Subjects With ARDS: A Prospective Physiological Study. *Respiratory Care*, 65(5), 583–589. <https://doi.org/10.4187/respcare.07102>
- Salem, M. S., Eltatawy, H. S., Abdelhafez, A. A., & Alsharif, S. E. I. (2020). Lung ultrasound- versus FiO₂-guided PEEP in ARDS patients. *Egyptian Journal of Anaesthesia*, 36(1), 31–37. <https://doi.org/10.1080/11101849.2020.1741253>
- Siddaway, A. P., Wood, A. M., & Hedges, L. V. (2019). How to Do a Systematic Review: A Best Practice Guide for Conducting and Reporting Narrative Reviews, Meta-Analyses, and Meta-Syntheses. *Annual Review of Psychology*, 70(1), 747–770. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010418-102803>
- Somhorst, P., van der Zee, P., Endeman, H., & Gommers, D. (2022). PEEP-FiO₂ table versus EIT to titrate PEEP in mechanically ventilated patients with COVID-19-related ARDS. *Critical Care*, 26(1), 272. <https://doi.org/10.1186/s13054-022-04135-5>
- Theerawit, P., Pukapong, P., & Sutherasan, Y. (2023). Relationship between lung ultrasound and electrical impedance tomography as regional assessment tools during PEEP titration in acute respiratory distress syndrome caused by multi-lobar pneumonia: a pilot study. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, 37(3), 889–897. <https://doi.org/10.1007/s10877-022-00962-7>
- Tonelotto, B., Pereira, S. M., Tucci, M. R., Vaz, D. F., Vieira, J. E., Malbouisson, L. M., Gay, F., Simões, C. M., Carvalho Carmona, M. J., Monsel, A., Amato, M. B., Rouby, J.-J., & Costa Auler, J. O. (2020). Intraoperative pulmonary hyperdistention estimated by transthoracic lung ultrasound: A pilot study. *Anaesthesia Critical Care & Pain Medicine*, 39(6), 825–831. <https://doi.org/10.1016/j.accpm.2020.09.009>
- Yu, M., Deng, Y., Cha, J., Jiang, L., Wang, M., Qiao, S., & Wang, C. (2023). PEEP titration by EIT strategies for patients with ARDS: A systematic review and meta-analysis. *Medicina Intensiva (English Edition)*, 47(7), 383–390. <https://doi.org/10.1016/j.medine.2022.06.020>
- Yuan, X., Zhang, R., Wang, Y., Chen, D., Chao, Y., Xu, J., Guo, L., Liu, A., Xie, J., Pan, C., Yang, Y., Qiu, H., & Liu, L. (2023). Effect of EIT-guided PEEP titration on prognosis of patients with moderate to severe ARDS: study protocol for a multicenter randomized controlled trial. *Trials*, 24(1), 266. <https://doi.org/10.1186/s13063-023-07280-6>
- Zimatore, C., Algera, A. G., Botta, M., Pierrakos, C., Serpa Neto, A., Grasso, S., Schultz, M. J., Pisani, L., & Paulus, F. (2023). Lung Ultrasound to Determine the Effect of Lower vs. Higher PEEP on Lung Aeration in Patients without ARDS—A Substudy of a Randomized Clinical Trial. *Diagnostics*, 13(12), 1989. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13121989>