

Utilidade do transdutor linear no paciente crítico: uma revisão narrativa

Utility of linear transducer in the critically ill patient: a narrative review

RAFAEL HORTÊNCIO MELO¹, VITOR MACHADO BENINCÁ², THIAGO MARTINS SANTOS³

¹ Unidade de Terapia Intensiva Adulto, Hospital Municipal Vila Santa Catarina, São Paulo, SP, Brasil.

² Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, SC, Brasil.

³ Escola de Ciência Médicas, Universidade de Campinas, Cidade Universitária, São Paulo, Brasil.

RESUMO

A utilização do ultrassom *point-of-care* já faz parte da rotina de atendimento de pacientes graves, sendo ele considerado o quinto pilar do exame físico e uma ferramenta essencial não só para diagnóstico e acompanhamento, mas também para a realização de procedimentos. Infelizmente, especialmente nos países em desenvolvimento, nem todos os Departamentos de Emergência e Terapia Intensiva possuem ultrassom equipado com múltiplos transdutores. Muitas vezes, apenas o transdutor linear para punção venosa central está disponível ou o próprio médico assistente carrega seu ultrassom portátil. Nosso objetivo com esta revisão narrativa foi descrever as diferentes possibilidades de utilização do transdutor linear em pacientes críticos.

Descritores: Unidades de terapia intensiva; Serviços de emergência

ABSTRACT

The use of point-of-care ultrasound has become a routine part of the management of critically ill patients, now considered the fifth pillar of the physical examination and an essential tool not only for diagnosis and monitoring but also for the execution of procedures. Unfortunately, not all Emergency Departments and Intensive Care Units are equipped with ultrasound devices featuring multiple transducers, particularly in developing countries. Often, only the linear transducer for central venous catheterization is available, or the attending physician carries their own portable ultrasound. The aim of this narrative review is to describe the various applications of the linear transducer in critically ill patients.

Keywords: Intensive care units; Emergency departments

Recebido: 27/2/2024 • Aceito: 19/12/2024

Autor correspondente:

Rafael Hortêncio Melo
E-mail: rafaelmeloufc@yahoo.com.br

Fonte de financiamento: não houve.

Conflito de interesses: não houve.

Como citar: Melo RH, Benincá VM, Santos TM. Utilidade do transdutor linear no paciente crítico: uma revisão narrativa. JBMEDE. 2024;4(4):e24033.

Rafael Hortêncio Melo:  0000-0001-6685-6002; <http://lattes.cnpq.br/3585460460039526> • Vitor Machado Benincá:  0000-0002-6487-1433; <http://lattes.cnpq.br/7435511215836212> • Thiago Martins Santos  <https://orcid.org/0000-0002-4686-3122>; <http://lattes.cnpq.br/6065967531689014>

DOI: 10.54143/jbmede.v4i4.176

2763-776X © 2022 Associação Brasileira de Medicina de Emergência (ABRAMEDE). This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original article is properly cited (CC BY).



INTRODUÇÃO

O uso do ultrassom *point-of-care* (PoCUS) para o manejo de pacientes gravemente enfermos tornou-se comum nas unidades de terapia intensiva (UTI) e no Departamento de Emergência. Porém, o uso frequente de equipamentos de ultrassom pode levar a defeitos nos transdutores, o que exige manutenção ou até mesmo necessidade de substituição.¹ Isso pode ser problemático, especialmente em hospitais com recursos limitados. Faz-se interessante conhecer as diversas funções dos transdutores para aplicabilidade nos setores de emergência e terapia intensiva. Nesse sentido, a maioria dos protocolos para uso do PoCUS destinados à avaliação da responsividade e tolerância a fluidos conta com transdutores convexos ou setoriais,² assim também como na avaliação de choque circulatório e insuficiência respiratória, sendo o transdutor linear mais utilizado para procedimentos como acesso venoso ou arterial guiado.^{3,4}

O transdutor (ou sonda) linear (**Figura 1**) possui cristais piezoelétricos dispostos em uma matriz plana, produzindo feixes de ultrassom paralelos e lineares, gerando uma imagem retangular. É um transdutor de alta frequência (5 a 15 MHz) com excelente resolução axial e lateral; entretanto, não atinge grandes profundidades no tecido, limitando-se a no máximo a 9 cm. São excelentes para visualizar estruturas superficiais, como vasos, nervos, músculos e articulações.



Fonte: elaboração própria.
Figura 1. Transdutor linear.

O objetivo desta revisão narrativa foi descrever as diferentes aplicabilidades do PoCUS utilizando apenas o transdutor linear, incluindo algumas aplicações substitutas de protocolos complexos e avaliações que requerem outros tipos de transdutores (**Tabela 1**). Foi realizada uma revisão da literatura para identificar publicações sobre temas ultrassonográficos relacionados a pacientes críticos que utilizaram o transdutor linear. Os autores incluíram estudos retrospectivos e prospectivos, revisões sistemáticas, metanálises, revisões narrativas e diretrizes clínicas.

Tabela 1. Principais parâmetros avaliados com transdutor linear

Parâmetro	Técnica
Fluido-responsividade	ccFT > 7 milissegundos ou variação > 24,7% Variação respirofásica da velocidade de pico carotídea > 12%
Fluido-tolerância	Diâmetro da VJI > 1,2 cm ou variação respirofásica < 30% Razão do diâmetro anteroposterior da VJI em 30° ou 0° > 0,65 PW da veia femoral padrão pulsátil
Ultrassom pulmonar	Diagnóstico de pneumotórax – ponto pulmonar Diagnóstico de infarto pulmonar/TEP – consolidações subpleurais Diagnóstico de doença pleural
Falha de extubação ou TRE	DTf < 25%
Avaliação de via aérea	Distância pele-epiglote > 2,54 cm Distância hio-mento < 5,3 cm
Diagnóstico de trombose venosa profunda	Veia incompressível Visualização de trombo intraluminal
Diagnóstico de hipertensão intracraniana	DBNO > 6 mm Razão entre BNO e diâmetro globo ocular > 0,25
Procedimentos ecoguiados	Acesso vascular Paracentese Toracocentese Pericardiocentese

Fonte: elaboração própria.

CcFT: tempo de fluxo carotídeo; VJI: veia jugular interna; PW: Doppler pulsado; TEP: tromboembolismo pulmonar; TRE: teste de respiração espontânea; Dtf: fração de espessamento diafragmático; DBNO: diâmetro da bainha de nervo óptico; BNO: bainha do nervo óptico.

AValiação DA FLUIDO-RESPONSIVIDADE

A fluido-responsividade (FR) é definida como um estado hemodinâmico de dependência de pré-carga, em que uma infusão de volume de 4 mL/kg gera aumento de 10 a 15% no débito cardíaco (DC).⁵ Geralmente, a análise ultrassonográfica da FR limita-se à avaliação da variação da integral velocidade-tempo (VTI) antes e depois de um desafio volêmico ou elevação passiva da perna.⁶ A avaliação desse parâmetro requer um transdutor setorial e uma janela cardíaca adequada, o que, muitas vezes, é difícil de obter em pacientes críticos.

A avaliação da variação do tempo de fluxo carotídeo corrigido (ccFT) é um parâmetro de fácil obtenção que pode substituir a análise da VTI nessa situação. A técnica consiste na obtenção de imagem da artéria carótida comum (ACC) no plano longitudinal e na utilização da função Doppler pulsado (PW) para obtenção do tempo sístole carotídeo (**Figura 2**). Esse valor é, então, corrigido pela fórmula de Woodey [$TF_{\text{corrigida}} = TF_{\text{medida}} + 1,29 (HR - 60)$], que demonstrou ter maior acurácia que a fórmula de Bazzett.⁷ Uma variação > 7

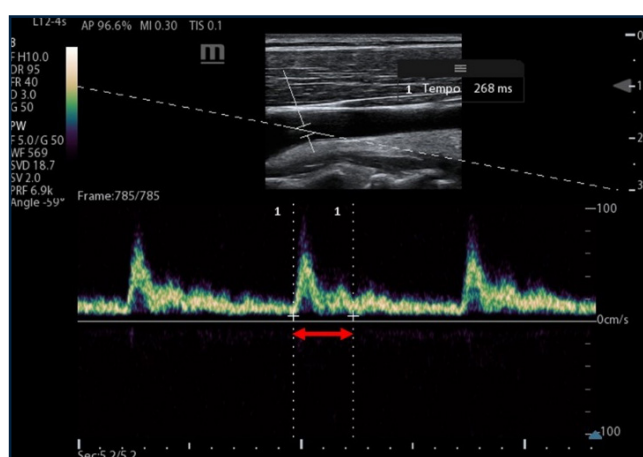
milissegundos ou > 24,7% foi associada à excelente acurácia na predição do FR.^{8,9}

Outra possibilidade é calcular a variação respirofásica do pico de velocidade carotídea. O valor é obtido a partir da ACC, obtendo-se o valor máximo e mínimo (expiração e inspiração) e dividido pelo valor médio. Valores > 12 a 14% foram associados à FR com área sob a curva (ASC) > 0,90.^{10,11} Como todos os parâmetros de variação respirofásica que utilizam a interação cardiopulmonar, existem limitações inerentes ao método, como necessidade de ventilação mecânica controlada; volume corrente = 8 mL/kg; necessidade de ausência de hipertensão pulmonar e abdominal; e ausência de arritmias e tórax aberto.

As principais limitações da utilização do ultrassom de carótida estão em pacientes com doença arterial aterosclerótica significativa, hipertensão intra-abdominal, presença de arritmia, insuficiência cardíaca e estenose da ACC > 50%. Portanto, ele deve ser utilizado com cautela em pacientes idosos devido à alta prevalência dessas comorbidades.

ESTIMATIVA DA PRESSÃO VENOSA CENTRAL E FLUIDO-TOLERÂNCIA DIREITA

O conceito de fluido-tolerância (FT) vem ganhando destaque como parâmetro tão importante quanto a FR na avaliação hemodinâmica de pacientes críticos. É definido como a capacidade de receber líquidos sem piorar ou desenvolver novas disfunções orgânicas e pode ser didaticamente dividida em FT direita ou esquerda.¹² O escore ultrassonográfico de congestão venosa (VEXUS) é uma ferramenta recentemente desenvolvida¹³ que consiste na avaliação combinada do compartimento venoso, a partir de uma veia cava inferior (VCI) dilatada, e na análise do padrão Doppler pulsado (PW) das veias hepática, portal e renais interlobares. Escore > 2 tem sido correlacionado com disfunção renal aguda,^{13,14} o que aumentou o nível de interesse desse parâmetro para avaliação do FT direita. No entanto, requer um transdutor convexo ou setorial e treinamento mais avançado.



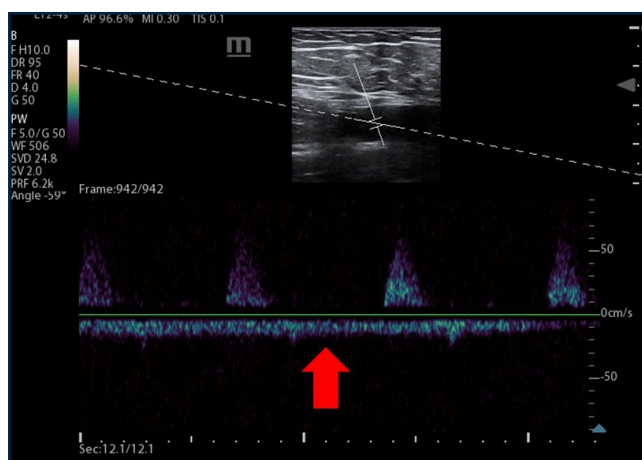
Fonte: elaboração própria.

Figura 2. O tempo de fluxo carotídeo é determinado medindo-se o tempo desde o início da onda sistólica até o entalhe dicrótico (seta) e corrigido pela frequência cardíaca com a fórmula de Woodey. Nesse caso, medida em 268 milissegundos com frequência cardíaca de 80 bpm. Variação do tempo de fluxo carotídeo corrigido = $268 + 1,29(80 - 60) = 293,8$ milissegundos. Após desafio fluido, um aumento de 7 milissegundos é provavelmente compatível com a responsividade a fluidos.

A insonação da VCI é o método mais simples para estimar a FT e a volemia, sendo considerada uma representação ultrassonográfica da pressão venosa central (PVC), apresentando basicamente as mesmas limitações e interpretações dessa variável. Entretanto, pacientes obesos ou situações de pós-operatório de grandes cirurgias abdominais e cardíacas dificultam a obtenção de imagens adequadas. Nesses cenários, uma alternativa válida é a análise de veias profundas, como jugular interna e femoral.

Um estudo de coorte¹⁵ em pacientes submetidos à ventilação espontânea demonstrou que variação respirofásica no diâmetro anteroposterior da veia jugular interna (VJI) $< 30\%$ ou diâmetro máximo $> 1,2$ cm teve importante correlação com PVC > 10 mmHg. Em pacientes em ventilação mecânica, foi demonstrado que a relação entre o diâmetro anteroposterior da VJI em decúbito 30° e 0° $> 0,65$ tem boa correlação com PVC > 10 mmHg.¹⁶

Estudos sugerem que a avaliação do padrão do PW da veia femoral (VF) pode estimar a congestão venosa com precisão de 75% (**Figura 3**) e até inferir disfunção ventricular direita,^{17,18} sendo uma ferramenta extremamente simples e reprodutível na maioria dos pacientes. As limitações são presença de trombose venosa profunda (TVP), hipertensão intra-abdominal, gestantes e frequência respiratória > 35 rpm.



Fonte: elaboração própria.

Figura 3. Doppler pulsado da veia femoral comum demonstrando fluxo anterógrado e variável com a respiração (achado normal). A presença de fluxo retrógrado pulsátil sugere aumento da pressão atrial direita.

ULTRASSOM PULMONAR

O probe linear oferece a melhor resolução para estruturas superficiais e é uma excelente opção para avaliação da pleura. A avaliação do deslizamento pleural (ou pulmonar) é muito útil para descartar pneumotórax (PTX). Ketelaars et al.¹⁹ realizaram um estudo observacional, duplo-cego, transversal, no qual 15 médicos com experiência em PoCUS avaliaram, cada um, 66 vídeos de ultrassom de ventilação normal ou PTX, gravados com três transdutores distintos. Embora o desempenho diagnóstico tenha sido semelhante, o probe linear ofereceu melhor qualidade de imagem e diagnóstico mais rápido. A identificação do “ponto pulmonar” tem especificidade muito alta para presença de PTX.^{20,21}

Na presença de síndrome alvéolo-intersticial, a identificação de consolidação subpleural e espessamento pleural direciona o diagnóstico para síndrome do desconforto respiratório do adulto (SDRA). Nesse contexto, contudo, a identificação e a quantificação de linhas B podem ser mais difíceis com a sonda linear. Um estudo²² que comparou imagens de pulmonares gravadas simultaneamente com sondas lineares e setoriais mostrou que quase 10% das imagens não puderam ser utilizadas para o cálculo do escore de aeração pulmonar (LUS). A maioria dessas imagens não interpretáveis era proveniente de janelas laterais e posteriores, que apresentam tecido subcutâneo mais espesso, impossibilitando a produção de imagens adequadas.

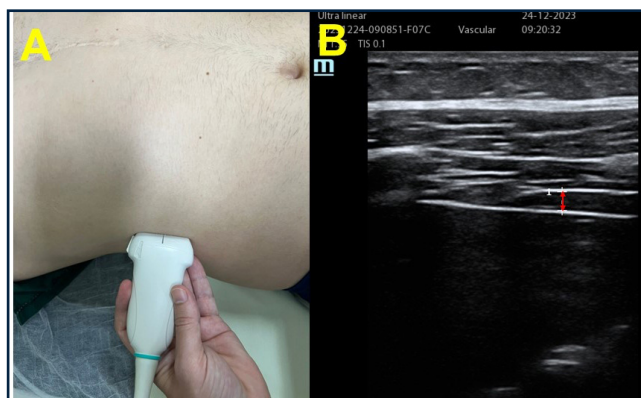
Dependendo do padrão de consolidação subpleural e do quadro clínico, é possível diagnosticar tromboembolismo pulmonar (TEP) com moderada precisão.²³⁻²⁵ A oclusão arterial pulmonar pode resultar em atelectasia ou necrose do parênquima pulmonar (infarto), o que gera uma consolidação periférica com formato triangular e sem fluxo ao Doppler colorido. Esse sinal tem sensibilidade de 87% e especificidade de 82% para TEP.²⁵

ULTRASSOM DIAFRAGMÁTICO

A avaliação ultrassonográfica do diafragma tem sido uma área de interesse na identificação de

pacientes com dificuldade de desmame da ventilação mecânica e do risco de falha na extubação. A forma mais comum de avaliar o diafragma é analisando sua excursão e seu espessamento.

O espessamento diafragmático é o único parâmetro possível com probe linear. É avaliado na zona de aposição do diafragma, geralmente entre o oitavo e o nono espaço intercostal, entre as linhas axilares média e anterior, aproximadamente 1 cm abaixo do ângulo costofrênico. O diafragma é identificado como uma camada hipoecoica delimitada superiormente pela pleura e inferiormente pelo peritônio, ambos hiperecoicos (**Figura 4**). O espessamento diafragmático pode ser avaliado no modo B ou no modo M.



Fonte: elaboração própria.

Figura 4. Em A, posição ideal para identificação da zona de aposição diafragmática, entre a região anterior e média das linhas axilares, entre o oitavo e nono espaços intercostais. Em B, imagem ultrassonográfica típica do diafragma, com uma linha hiperecogênica superior representando a pleura e uma inferior representando o peritônio. A espessura é medida entre as camadas serosas (seta).

A fração de espessamento diafragmático (DTf) é calculada como a diferença na espessura diafragmática entre a inspiração e a expiração, dividida pela espessura na expiração. Estudos sugerem que DTf < 25 a 30% estão relacionados com falha no desmame da ventilação mecânica e falha na extubação.²⁶⁻²⁸

AVALIAÇÃO DE VIA AÉREA DIFÍCIL

Apesar da utilização de escores e parâmetros do exame físico para predizer via aérea difícil (VAD), a ocorrência dessa entidade ainda representa um

desafio no cuidado de pacientes críticos, pois a ausência de alterações anatômicas não garante uma laringoscopia fácil.

Uma metanálise publicada recentemente²⁹ mostrou que, em pacientes sem preditores óbvios de VAD, o PoCUS das vias aéreas, representado principalmente pela distância pele-epiglote, tem sensibilidade de 82% e ASC de 0,87 para predizer laringoscopia difícil, com ponto de corte variando entre 1,8 e 2,54 cm. Outros parâmetros também são descritos com boa precisão para predição de VAD todos realizados com transdutor linear.^{30,31}

DIAGNÓSTICO DE TROMBOSE VENOSA PROFUNDA

A ocorrência de TVP leva ao aumento do tempo de internação hospitalar e do tempo de ventilação mecânica,³² tornando seu diagnóstico importante para melhores resultados.

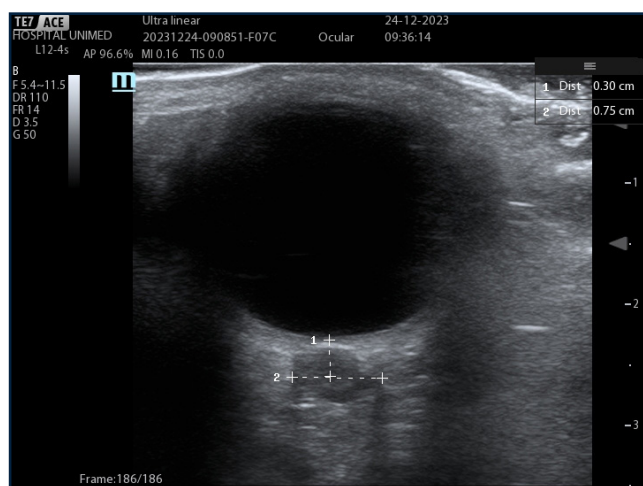
O diagnóstico da TVP pode ser facilmente realizado com transdutor linear pela técnica de compressão venosa,³³ geralmente em três pontos: VF comum, VF profunda e veia poplítea. A sensibilidade e a especificidade do exame realizado por médicos intensivistas e emergencistas são de 96 e 97%, respectivamente.^{33,34}

Uma das principais limitações dessa técnica é a incapacidade de excluir trombose proximal nas veias ilíacas. Nessa situação, avaliar o padrão Doppler pulsado da VF pode ajudar, pois a ausência de variação respiratória sugere aumento da pressão venosa, o que pode implicar TVP proximal.³⁵

DIAGNÓSTICOS DE HIPERTENSÃO INTRACRANIANA

A avaliação ultrassonográfica do diâmetro da bainha do nervo óptico (DBNO) é mais precisa que o exame físico e a tomografia para identificar hipertensão intracraniana (HIC).^{36,37} A técnica consiste em avaliar o diâmetro total (bainha do nervo óptico + nervo óptico) 3 mm abaixo da camada vítrea (Figura 5). Os valores de corte variam na literatura, sendo sugerido: se > 6 mm, presença de HIC;

se < 5 mm, não há HIC; se valor intermediário, analisar outros comemorativos. Um estudo³⁸ sugeriu melhor acurácia na relação entre o DBNO e o diâmetro total do globo ocular do que uma avaliação isolada do diâmetro do DBNO, com valor de corte $> 0,25$ sugestivo de HIC. Deve-se tomar cuidado ao realizar o exame, ajustando o peso da mão e selecionando a predefinição apropriada, para evitar danos ao globo ocular. É necessário ajustar o índice térmico para < 1 e o índice mecânico $< 0,23$, para evitar danos teciduais. Falsos positivos podem ocorrer na presença de neurite óptica, meningioma, glioma, doenças infiltrativas e congestão orbital.



Fonte: elaboração própria.

Figura 5. Medição do diâmetro da bexiga de urina. O nervo óptico parece homogêneo, com baixa refletividade interna, em comparação com a alta refletividade da bainha do nervo. No caso, mensuração de 7,5 mm, podendo configurar hipertensão intracraniana.

PROCEDIMENTOS ECOGUIADOS

As inúmeras vantagens da punção de cateter venoso central guiada por ultrassom em tempo real já estão bem definidas na literatura,³⁹⁻⁴¹ sendo atualmente considerada técnica-padrão. No entanto, vários outros procedimentos se beneficiam da utilização do PoCUS.

A toracocentese deve ser realizada sob orientação ultrassonográfica de acordo com a forte recomendação da *British Thoracic Society*.⁴² Seu uso reduz a ocorrência de PTX e sangramento.⁴²⁻⁴⁵ Sua realização pode ser tanto com transdutor convexo

quanto linear, porém, o procedimento com sonda linear deve ser com cautela em pacientes mais obesos, devido à maior distância da pele ao líquido livre no espaço pleural, o que pode impedir a visualização do pulmão adjacente e/ou do diafragma.

A paracentese costuma ser um procedimento seguro, porém podem ocorrer complicações graves, como perfuração intestinal e lesão vascular, principalmente em ascites pouco volumosas e na presença de distensão gasosa intestinal. O uso do ultrassom não só reduz o risco de complicações, mas também aumenta o sucesso do procedimento, principalmente nos casos de ascite de baixo volume. Portanto, seu uso é recomendado em todos os casos.^{46,47} Normalmente, a sonda convexa é utilizada para esse fim, mas um transdutor de alta frequência pode ser utilizado com segurança. Assim como na punção de CVC e na toracocentese, a técnica de Seldinger geralmente é utilizada com *kit* próprio ou cateter monolúmen, quando há necessidade de punção terapêutica.

CONCLUSÃO

A utilização do ultrassom *point-of-care* é essencial ao cuidado de pacientes graves, possuindo inúmeras funções e possibilidades de utilização, seja no diagnóstico, no prognóstico ou na intervenção. Mesmo em um ambiente limitado, quando apenas um transdutor está disponível, é possível otimizar o nível de atendimento e segurança do paciente de diversas maneiras.

REFERÊNCIAS

1. Dudley NJ, Woolley DJ. A multicentre survey of the condition of ultrasound probes. *Ultrasound*. 2016;24(4):190-7.
2. Pastore MC, Ilardi F, Stefanini A, Mandoli GE, Palermi S, Bandera F, et al.; Working Group of Echocardiography of the Italian Society of Cardiology. Bedside Ultrasound for Hemodynamic Monitoring in Cardiac Intensive Care Unit. *J Clin Med*. 2022;11(24):7538.
3. Brass P, Hellmich M, Kolodziej L, Schick G, Smith AF. Ultrasound guidance versus anatomical landmarks for internal jugular vein catheterization. *Cochrane Database Syst Rev*. 2015;1(1):CD006962.
4. Zawadka M, La Via L, Wong A, Olusanya O, Muscarà L, Continella C, et al. Real-time ultrasound guidance as compared with landmark technique for subclavian central venous cannulation: a systematic review and meta-analysis with trial sequential analysis. *Crit Care Med*. 2023;51(5):642-52.
5. Vincent JL, Cecconi M, De Backer D. The fluid challenge. *Crit Care*. 2020;24(1):703.

6. Wang J, Zhou D, Gao Y, Wu Z, Wang X, Lv C. Effect of VTILVOT variation rate on the assessment of fluid responsiveness in septic shock patients. *Medicine (Baltimore)*. 2020;99(47):e22702.
7. Mohammadinejad P, Hossein-Nejad H. Calculation of corrected flow time: Wodey's formula vs. Bazett's formula. *J Crit Care* 2017;44:154-5.
8. Barjaktarevic I, Toppen WE, Hu S, Aquije Montoya E, Ong S, Buhr R, David IJ, Wang T, Rezayat T, Chang SY, Elashoff D, Markovic D, Berlin D, Cannesson M. Ultrasound assessment of the change in carotid corrected flow time in fluid responsiveness in undifferentiated shock. *Crit Care Med*. 2018 Nov;46(11):e1040-6.
9. Jalil B, Thompson P, Cavallazzi R, Marik P, Mann J, El-Kersh K, et al. Comparing changes in carotid flow time and stroke volume induced by passive leg raising. *Am J Med Sci*. 2018;355(2):168-73.
10. Yin WH, Chen Y, Jin XD, Zuo YY, Kang Y, Wang B, et al. [Measurement of peak velocity variation of common carotid artery with bedside ultrasound to estimate preload in surgery ICU]. *Sichuan Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban*. 2013;44(4):624-8. Chinese.
11. Ibarra-Estrada MÁ, López-Pulgarín JA, Mijangos-Méndez JC, Díaz-Gómez JL, Aguirre-Avalos G. Respiratory variation in carotid peak systolic velocity predicts volume responsiveness in mechanically ventilated patients with septic shock: a prospective cohort study. *Crit Ultrasound J*. 2015;7(1):29.
12. Melo RH, Santos MH, Ramos FJ. Beyond fluid responsiveness: the concept of fluid tolerance and its potential implication in hemodynamic management. *Crit Care Sci*. 2023;35(2):226-9.
13. Beaubien-Souligny W, Rola P, Haycock K, Bouchard J, Lamarche Y, Spiegel R, et al. Quantifying systemic congestion with point-of-care ultrasound: development of the venous excess ultrasound grading system. *Ultrasound J*. 2020;12:16.
14. Spiegel R, Teeter W, Sullivan S, Tupchong K, Mohammed N, Sutherland M, et al. The use of venous Doppler to predict adverse kidney events in a general ICU cohort. *Crit Care*. 2020;24(1):615.
15. Vaidya GN, Kolodziej A, Stoner B, Galaviz JV, Cao X, Heier K, et al. Bedside ultrasound of the internal jugular vein to assess fluid status and right ventricular function: The POCUS-JVD study. *Am J Emerg Med*. 2023;70:151-6.
16. Hilbert T, Ellerkmann RK, Klaschik S, Putensen C, Thudium M. The use of internal jugular vein ultrasonography to anticipate low or high central venous pressure during mechanical ventilation. *J Emerg Med*. 2016;50(4):581-7.
17. Bhardwaj V, Rola P, Denault A, Vikneswaran G, Spiegel R. Femoral vein pulsatility: a simple tool for venous congestion assessment. *Ultrasound J*. 2023;15(1):24.
18. Denault AY, Aldred MP, Hammoud A, Zeng YH, Beaubien-Souligny W, Couture EJ, et al. Doppler Interrogation of the Femoral Vein in the Critically Ill Patient: The Fastest Potential Acoustic Window to Diagnose Right Ventricular Dysfunction? *Crit Care Explor*. 2020;2(10):e0209.
19. Ketelaars R, Gülpinar E, Roes T, Kuut M, van Geffen GJ. Which ultrasound transducer type is best for diagnosing pneumothorax? *Crit Ultrasound J*. 2018;10(1):27.
20. Husain LF, Hagopian L, Wayman D, Baker WE, Carmody KA. Sonographic diagnosis of pneumothorax. *J Emerg Trauma Shock*. 2012;5(1):76-81.
21. DeMasi S, Parker MS, Joyce M, Mulligan K, Feeser S, Balderston JR. Thoracic point-of-care ultrasound is an accurate diagnostic modality for clinically significant traumatic pneumothorax. *Acad Emerg Med*. 2023;30(6):653-61.
22. Smit MR, de Vos J, Pisani L, Hagens LA, Almondo C, Heijnen NF, et al.; DARTS Consortium. Comparison of Linear and Sector Array Probe for Handheld Lung Ultrasound in Invasively Ventilated ICU Patients. *Ultrasound Med Biol*. 2020;46(12):3249-56.
23. Nazerian P, Gigli C, Reissig A, Pivetta E, Vanni S, Fracalini T, et al.; WINFOCUS and US SIMEU study group. Retrospective analysis of the diagnostic accuracy of lung ultrasound for pulmonary embolism in patients with and without pleuritic chest pain. *Ultrasound J*. 2022;14(1):35.
24. Volpicelli G, Cardinale L, Berchiella P, Mussa A, Bar F, Frascisco MF. A comparison of different diagnostic tests in the bedside evaluation of pleuritic pain in the ED. *Am J Emerg Med*. 2012;30:317-24.
25. Squizzato A, Rancan E, Dentali F, Bonzini M, Guasti L, Steidl L, et al. Diagnostic accuracy of lung ultrasound for pulmonary embolism: a systematic review and meta-analysis. *J Thromb Haemost*. 2013;11(7):1269-78.
26. Parada-Gereda HM, Tibaduiza AL, Rico-Mendoza A, Molano-Franco D, Nieto VH, Arias-Ortiz WA, et al. Effectiveness of diaphragmatic ultrasound as a predictor of successful weaning from mechanical ventilation: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care*. 2023;27(1):174.
27. Llamas-Álvarez AM, Tenza-Lozano EM, Latour-Pérez J. Diaphragm and lung ultrasound to predict weaning outcome. *Chest*. 2017;152:1140-50.
28. Li C, Li X, Han H, Cui H, Wang G, Wang Z. Diaphragmatic ultrasonography for predicting ventilator weaning: a meta-analysis. *Medicine (Baltimore)*. 2018;97:e10968.
29. Carsetti A, Sorbello M, Adrario E, Donati A, Falcetta S. Airway ultrasound as predictor of difficult direct laryngoscopy: a systematic review and meta-analysis. *Anesth Analg*. 2022;134(4):740-50.
30. Lin J, Bellinger R, Shedd A, Wolfshohl J, Walker J, Healy J, et al. Point-of-care ultrasound in airway evaluation and management: a comprehensive review. *Diagnostics (Basel)*. 2023;13(9):1541.
31. Bhargava V, Rockwell NA, Tawfik D, Haileselassie B, Petrisor C, Su E. Prediction of difficult laryngoscopy using ultrasound: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care Med*. 2023;51(1):117-26.
32. Malato A, Dentali F, Siragusa S, Fabbiano F, Kagoma Y, Boddi M, et al. The impact of deep vein thrombosis in critically ill patients: a meta-analysis of major clinical outcomes. *Blood Transfus*. 2015;13(4):559-68.
33. Roberts L, Rozen T, Murphy D, Lawler A, Fitzgerald M, Gibbs H, et al. A preliminary study of intensivist-performed DVT ultrasound screening in trauma ICU patients (APSIT Study). *Ann Intensive Care*. 2020;10(1):122.
34. Pomeroy F, Dentali F, Borretta V, Bonzini M, Melchio R, Douketis JD, et al. Accuracy of emergency physician-performed ultrasonography in the diagnosis of deep-vein thrombosis: a systematic review and meta-analysis. *Thromb Haemost*. 2013;109(1):137-45.
35. Divittorio R, Bluth EI, Sullivan MA. Deep vein thrombosis: diagnosis of a common clinical problem. *Ochsner J*. 2002;4(1):14-7.
36. Fernando SM, Tran A, Cheng W, Rochwerf B, Taljaard M, Kyeremanteng K, et al. Diagnosis of elevated intracranial pressure in critically ill adults: systematic review and meta-analysis. *BMJ*. 2019;366:l4225.
37. Koziazar A, Sne N, Kegel F, Nath S, Badhiwala JH, Nassiri F, et al. Bedside optic nerve ultrasonography for diagnosing increased intracranial pressure: a systematic review and meta-analysis. *Ann Intern Med*. 2019;171(12):896-905.
38. Du J, Deng Y, Li H, Qiao S, Yu M, Xu Q, et al. Ratio of optic nerve sheath diameter to eyeball transverse diameter by ultrasound can predict intracranial hypertension in traumatic brain injury patients: a prospective study. *Neurocrit Care*. 2020;32(2):478-85.
39. Brass P, Hellmich M, Kolodziej L, Schick G, Smith AF. Ultrasound guidance versus anatomical landmarks for internal jugular vein catheterization. *Cochrane Database Syst Rev*. 2015;1(1):CD006962.
40. Lalu MM, Fayad A, Ahmed O, Bryson GL, Fergusson DA, Barron CC, et al.; Canadian Perioperative Anesthesia Clinical Trials Group. Ultrasound-Guided Subclavian Vein Catheterization: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Crit Care Med*. 2015;43(7):1498-507.
41. Saugel B, Scheeren TWL, Teboul JL. Ultrasound-guided central venous catheter placement: a structured review and recommendations for clinical practice. *Crit Care*. 2017;21(1):225.
42. Roberts ME, Rahman NM, Maskell NA, Bibby AC, Blyth KG, Corcoran JP, et al.; BTS Pleural Guideline Development Group. British Thoracic Society Guideline for pleural disease. *Thorax*. 2023;78(Suppl 3):s1-s42.

43. Rodriguez Lima DR, Yepes AF, Birchenall Jiménez CI, Mercado Díaz MA, Pinilla Rojas DI. Real-time ultrasound-guided thoracentesis in the intensive care unit: prevalence of mechanical complications. *Ultrasound J*. 2020;12(1):25.
44. Sperandeo M, Quarato CM, Squatrito R, Fuso P, Dimitri L, Simeone A, et al. Effectiveness and safety of real-time transthoracic ultrasound-guided thoracentesis. *diagnostics (basel)*. 2022;12(3):725.
45. Cavanna L, Mordenti P, Bertè R, Palladino MA, Biasini C, Anselmi E, et al. Ultrasound guidance reduces pneumothorax rate and improves safety of thoracentesis in malignant pleural effusion: report on 445 consecutive patients with advanced cancer. *World J Surg Oncol*. 2014;12:139.
46. Cho J, Jensen TP, Reiersen K, Mathews BK, Bhagra A, Franco-Sadud R, et al.; Society of Hospital Medicine Point-of-care Ultrasound Task Force; Soni NJ. Recommendations on the Use of Ultrasound Guidance for Adult Abdominal Paracentesis: A Position Statement of the Society of Hospital Medicine. *J Hosp Med*. 2019;14:E7-E15.
47. Patel IJ, Rahim S, Davidson JC, Hanks SE, Tam AL, Walker TG, et al. Society of Interventional Radiology Consensus Guidelines for the periprocedural management of thrombotic and bleeding risk in patients undergoing percutaneous image-guided interventions - Part II: Recommendations: Endorsed by the Canadian Association for Interventional Radiology and the Cardiovascular and Interventional Radiological Society of Europe. *J Vasc Interv Radiol*. 2019;30:1168-84.e1.