

REVISÃO

Ultrassonografia diafragmática na avaliação e predição da liberação ventilatória em adultos críticos: Uma revisão narrativa

Diaphragm ultrasound in assessing and predicting ventilator liberation in critically ill adults: A narrative review

Rafael Viana dos Santos Coutinho¹, Alessandra Leão Fonseca Silva², Paulo de Oliveira Abrantes², Luana Fernandes Nogueira³

¹Médico RQE 29566 pela Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador, BA, Brasil

²Faculdade de Medicina de Barbacena (FAME), Barbacena, MG, Brasil

³IMEPAC Centro Universitário, Araguari, MG, Brasil

Recebido em: 17 de Setembro de 2026; Aceito em: 20 de Setembro de 2026.

Correspondência: Rafael Viana dos Santos Coutinho, trabalhocientificomed@gmail.com

Como citar

Coutinho RVS, Silva ALF, Abrantes PO, Nogueira LF. Ultrassonografia diafragmática na avaliação e predição da liberação ventilatória em adultos críticos: Uma revisão narrativa. Fisioter Bras. 2026;27(8):5391-5403. doi: [10.62827/fb.v27i8.1292](https://doi.org/10.62827/fb.v27i8.1292).

Resumo

Introdução: A ultrassonografia diafragmática permite examinar a musculatura inspiratória à beira do leito, mas o termo desmame reúne desfechos distintos, como tolerância ao teste de respiração espontânea, sucesso de extubação, reintubação e liberação sustentada da ventilação. **Objetivo:** Analisar criticamente a contribuição da ultrassonografia diafragmática para a avaliação da função muscular respiratória e para os diferentes desfechos da liberação ventilatória em adultos críticos, considerando as condições de aquisição, a definição do desfecho e o benefício clínico demonstrado. **Métodos:** Revisão narrativa com buscas no PubMed e Europe PubMed Central em setembro de 2026, complementadas por rastreamento de referências. Priorizaram-se publicações de 2021 a 2026, preservando estudos fundamentais anteriores. A síntese distinguiu confiabilidade da mensuração, validade fisiológica, desempenho prognóstico e utilidade clínica. **Resultados:** Espessura, fração de espessamento e excursão fornecem informações distintas, influenciadas por suporte ventilatório, sedação e carga respiratória. Estudos de acurácia apresentaram resultados favoráveis, porém heterogêneos; investigações após teste de respiração espontânea bem-sucedido não confirmaram

consistentemente a predição de falha de extubação. Uma metanálise de ensaios sugeriu redução de reintubação em até 48 horas, com baixa certeza da evidência. Avaliações multimodais mostraram resultados promissores em populações selecionadas. **Conclusão:** A ultrassonografia diafragmática pode acrescentar informação em contextos específicos, conforme o parâmetro, o momento da avaliação e o desfecho analisado. Deve ser utilizada como componente complementar, com aquisição padronizada e integração ao teste de respiração espontânea, à proteção das vias aéreas, à tosse, às secreções e às condições cardiopulmonares.

Palavras-chave: Músculos Respiratórios; Desmame do Respirador; Cuidados Críticos; Ultrassonografia.

Abstract

Introduction: Diaphragm ultrasound enables bedside examination of the inspiratory muscles, but the term weaning encompasses distinct outcomes, including spontaneous breathing trial tolerance, extubation success, reintubation, and sustained ventilator liberation. *Objective:* To critically analyze the contribution of diaphragm ultrasound to respiratory muscle assessment and distinct ventilator liberation outcomes in critically ill adults, considering acquisition conditions, outcome definitions, and demonstrated clinical benefit. *Methods:* A narrative review was conducted through searches in PubMed and Europe PubMed Central in September 2026, supplemented by reference tracking. Publications from 2021 to 2026 were prioritized, while earlier foundational studies were retained. The synthesis distinguished measurement reliability, physiological validity, prognostic performance, and clinical utility. *Results:* Thickness, thickening fraction, and excursion provide distinct information influenced by ventilatory support, sedation, and respiratory load. Accuracy studies yielded favorable but heterogeneous results; investigations performed after a successful spontaneous breathing trial did not consistently confirm prediction of extubation failure. A meta-analysis of trials suggested reduced reintubation within 48 hours, with low certainty of evidence. Multimodal assessments showed promising results in selected populations. *Conclusion:* Diaphragm ultrasound may add information in specific contexts according to the parameter, assessment timing, and outcome analyzed. It should be used as a complementary component, with standardized acquisition and integration with the spontaneous breathing trial, airway protection, cough, secretions, and cardiopulmonary status.

Keywords: Respiratory Muscles; Ventilator Weaning; Critical Care; Ultrasonography.

Introdução

Um paciente pode apresentar redução do espessamento diafragmático e, ainda assim, manter ventilação espontânea suficiente após a retirada do tubo. Outro pode apresentar medidas consideradas favoráveis e necessitar de reintubação por proteção inadequada das vias aéreas, tosse ineficaz, retenção de secreções ou comprometimento

cardiopulmonar. Essa dissociação aparece em estudos prospectivos e explica parte da dificuldade de utilizar uma medida muscular isolada para uma decisão que envolve diferentes sistemas [1,2]. A ultrassonografia diafragmática ocupa, portanto, uma posição específica na avaliação do paciente crítico: caracteriza componentes da função muscular

respiratória cuja relação com o desfecho depende das exigências impostas ao sistema ventilatório.

A possibilidade de repetir o exame sem transportar o paciente permite acompanhar alterações de espessura e atividade durante a ventilação mecânica. Em uma coorte com medidas seriadas, tanto a redução quanto o aumento da espessura se associaram a ventilação prolongada, com padrões distintos de esforço inspiratório [3]. Entretanto, a imagem não oferece uma medida direta e universal de força. A confiabilidade da mensuração, a validade fisiológica, a acurácia prognóstica e a utilidade clínica são propriedades distintas e não devem ser tratadas como equivalentes; a literatura demonstra considerável variação nos protocolos utilizados [4].

O interesse prognóstico tem sido acompanhado por estimativas agregadas favoráveis e por resultados negativos em populações já aprovadas

no teste de respiração espontânea (TRE) [1,5]. Mais recentemente, ensaios clínicos passaram a investigar se disponibilizar o exame à equipe modifica desfechos, ampliando uma literatura antes concentrada na acurácia [6]. Para a fisioterapia intensiva, essa distinção importa tanto na avaliação muscular e no acompanhamento da recuperação quanto na participação na decisão multiprofissional de retirada do suporte. Esta revisão teve como objetivo analisar criticamente a contribuição da ultrassonografia diafragmática para a avaliação da função muscular respiratória e para a predição de diferentes desfechos da liberação ventilatória em adultos críticos sob ventilação mecânica invasiva, distinguindo tolerância ao TRE, sucesso de extubação, reintubação e liberação sustentada da ventilação, e considerando as condições de aquisição, a definição do desfecho e o benefício clínico demonstrado.

Métodos

A revisão narrativa foi escolhida para integrar estudos de validação fisiológica, investigações prognósticas e ensaios sobre utilização clínica, que respondem a perguntas complementares. A heterogeneidade entre perguntas, populações e desfechos não impede comparações quantitativas em cada domínio, mas limita a capacidade de uma única síntese agregada representar adequadamente o conjunto da literatura. O propósito analítico foi examinar em que condições os parâmetros ultrassonográficos representam comprometimento muscular e acrescentam informação sobre tolerância ao TRE, sucesso de extubação, reintubação e liberação sustentada da ventilação.

As buscas foram realizadas em setembro de 2026 no PubMed e no Europe PubMed Central, com

consultas complementares às publicações originais e às listas de referências das sínteses e do consenso identificados. As datas exatas de cada consulta e o número de registros recuperados por fonte não foram documentados durante o levantamento exploratório. Para consolidar o levantamento exploratório, executou-se no PubMed a estratégia: (“Diaphragm”[Mesh] OR diaphragm[tiab] OR diaphragmatic[tiab]) AND (“Ultrasonography”[Mesh] OR ultrasound[tiab] OR ultrasonography[tiab]) AND (“Ventilator Weaning”[Mesh] OR weaning[tiab] OR extubation[tiab] OR liberation[tiab]). No Europe PubMed Central, a estratégia final ampliou a recuperação de estudos de mensuração: (TITLE_ABS:diaphragm OR TITLE_ABS:diaphragmatic) AND (TITLE_ABS:ultrasound OR TITLE_ABS:ultrasonography) AND (TITLE_ABS:weaning OR TITLE_ABS:extubation OR

TITLE_ABS:liberation OR TITLE_ABS:effort OR TITLE_ABS:atrophy OR TITLE_ABS:reliability OR TITLE_ABS:consensus). A ampliação da estratégia no Europe PubMed Central foi deliberada para recuperar estudos de mensuração e fisiologia necessários aos diferentes componentes do objetivo. As expressões finais foram executadas sem restrição automática de idioma ou período. Por se tratar de levantamento narrativo, não se manteve registro formal das duplicatas eventualmente identificadas. Os descritores das palavras-chave foram conferidos nos Descritores em Ciências da Saúde e em seus equivalentes em inglês.

Na seleção, priorizaram-se publicações de 2021 a 2026, mantendo estudos anteriores necessários à validação das medidas, à compreensão das alterações durante a ventilação e à comparação de resultados prognósticos discordantes. Foram considerados estudos originais em adultos sob ventilação invasiva, revisões sistemáticas, metanálises, diretrizes e consensos relacionados à avaliação diafragmática e à liberação ventilatória. Na síntese, diretrizes e consensos fundamentaram recomendações de mensuração e prática; revisões sistemáticas e metanálises forneceram estimativas agregadas; estudos originais sustentaram associações e resultados em contextos específicos; e o estudo fisiológico em voluntários saudáveis foi utilizado apenas para interpretações mecânicas, sem extrapolação quantitativa aos pacientes críticos. Excluíram-se da síntese clínica estudos exclusivamente pediátricos ou neonatais, relatos de caso, protocolos sem resultados e investigações

perioperatórias sem relação pertinente com o desmame no paciente crítico. A busca não empregou filtro automático de idioma, mas apenas publicações em inglês foram incorporadas; não foi registrada contagem separada de textos potencialmente elegíveis excluídos exclusivamente pelo idioma.

A seleção foi orientada pela pertinência à pergunta mediante consulta a títulos, resumos e textos completos disponíveis. Os quatro autores participaram da seleção e resolveram eventuais dúvidas por consenso; não houve triagem independente em duplicata. Os dados utilizados foram conferidos nas publicações originais ou nos respectivos registros bibliográficos; quando o acesso se restringiu ao resumo indexado, a descrição permaneceu limitada às informações nele verificáveis. Não foi possível reconstituir com segurança quantas referências foram utilizadas exclusivamente a partir do resumo indexado. Foram examinados população, condições ventilatórias, parâmetro medido, momento da avaliação, definição e janela do desfecho, resultados e limitações metodológicas. A síntese distinguiu confiabilidade da mensuração, validade fisiológica, desempenho prognóstico e utilidade clínica. Estudos primários também presentes nas metanálises foram tratados como exemplos explicativos, sem somar suas amostras às estimativas agrupadas. A síntese final incorporou as 22 publicações listadas nas referências; como o levantamento foi narrativo, não foram registrados totais de registros identificados e avaliados antes da seleção. A análise teve caráter interpretativo, compatível com o delineamento narrativo.

Resultados

As medidas mais utilizadas foram a espessura diafragmática, a fração de espessamento e a excursão. A espessura é aferida na zona de aposição do diafragma à parede torácica, geralmente com

transdutor linear; a excursão corresponde ao deslocamento da cúpula durante o ciclo respiratório, frequentemente registrado em modo de movimento por janela subcostal. A fração de espessamento

(FEd) expressa a variação proporcional entre as espessuras inspiratória e expiratória: $FEd (\%) = 100 \times (\text{espessura inspiratória} - \text{espessura expiratória}) / \text{espessura expiratória}$. Essas medidas representam, respectivamente, dimensões locais do músculo, espessamento durante a inspiração e deslocamento, sem equivalência automática entre elas [4,7,8].

O consenso internacional sobre ultrassonografia diafragmática recomendou medir a espessura entre as interfaces pleural e peritoneal, excluindo-as da medida muscular, e descreveu aquisição da espessura com transdutor linear de 7 a 12 megahertz e da excursão com transdutor de 2 a 5 megahertz. A pressão positiva pode deslocar passivamente a cúpula e reduzir a atividade inspiratória do paciente. A avaliação unilateral direita foi considerada aceitável quando não há suspeita de doença unilateral. Não houve consenso sobre um ponto de corte único de FEd para disfunção [8]. A revisão de propriedades clinimétricas identificou elevada confiabilidade em estudos com protocolos definidos, mas também diferenças importantes de aquisição e análise [4]. Em investigação cruzada, a interrupção de sedativos produziu aumento imediato mediano de 0,08 mm na espessura expiratória (intervalo de confiança de 95%: 0,002 a 0,164 mm), correspondente a 6,5%; a alternância entre os modos assistido-controlado a volume e pressão de suporte não produziu diferença significativa nesse estudo [9].

Na avaliação longitudinal, Goligher et al. observaram redução de espessura superior a 10% em 41% dos 191 pacientes com pelo menos duas medidas. A redução se associou a menor probabilidade diária de liberação ventilatória; o aumento da espessura também se associou a ventilação prolongada [3]. Em outra investigação, com 34 pacientes, o aumento da ecodensidade esteve associado a menos dias livres de ventilação, ocorrendo em

conjunto com diferentes trajetórias de espessura [10]. Esses estudos documentaram associações entre alterações de imagem e evolução clínica, sem testar uma estratégia terapêutica determinada por essas alterações.

A relação com medidas de força variou conforme o contexto ventilatório. Dubé et al., em 112 pacientes, compararam ultrassonografia com a resposta pressórica à estimulação frênica. Durante ventilação assistido-controlada, as medidas ultrassonográficas não se correlacionaram com essa resposta. Na transição para pressão de suporte, a FEd apresentou correlação forte e a excursão, correlação moderada, enquanto a espessura isolada permaneceu sem correlação significativa [11]. Em estudo fisiológico de 2025 com 49 pacientes em respiração espontânea, a aplicação de carga resistiva aumentou excursão e FEd. Entretanto, apenas a excursão apresentou correlações fracas a moderadas com os índices manométricos de esforço; as correlações da FEd não alcançaram significância estatística [12]. Esses achados mostram que a relação entre a ultrassonografia e medidas de força depende da modalidade ventilatória e do parâmetro analisado, não podendo ser generalizada para qualquer condição de avaliação.

Os estudos prognósticos avaliaram diferentes eventos sob o termo desmame. Na investigação de Dres et al., realizada durante a primeira tentativa de TRE, a FEd discriminou tolerância ao teste, com área sob a curva de 0,82. O limiar associado à falha do teste foi diferente do utilizado para definir disfunção pela estimulação frênica [13]. DiNino et al. avaliaram manutenção da respiração espontânea após a extubação, enquanto Vivier et al. estudaram pacientes de alto risco que já haviam concluído o TRE com sucesso [1,7]. O Quadro 1 explicita essas diferenças, que condicionam a comparação entre os resultados.

Quadro 1 – Condições de avaliação e desfechos prognósticos.

Estudo e população	Condição de medida	Desfecho	Resultado principal
DiNino et al. [7] 63 adultos	Espessamento durante teste espontâneo ou com pressão de suporte	Respiração espontânea por mais de 48 horas após extubação	Fração de espessamento $\geq 30\%$: sensibilidade de 88% e especificidade de 71% para sucesso
Dres et al. [13] 76 adultos no primeiro teste	Espessamento e pressão após estimulação frênica	Falha do teste de respiração espontânea, e não falha de extubação ou reintubação	Limiar de FEd de 25,8% para falha do TRE; disfunção muscular e falha do teste tiveram limiares diferentes
Vivier et al. [1] 191 adultos de alto risco	Excursão e espessamento bilateral após TRE bem-sucedido em peça T	Reintubação ou morte em até sete dias	Após TRE bem-sucedido, a disfunção pelo ultrassom não se associou à falha; a tosse ineficaz apresentou associação independente
Haaksma et al. [2] 83 adultos ventilados por mais de 72 horas	Coração, pulmões e espessamento durante teste bem-sucedido	Reintubação em até 48 horas	Baixa discriminação pela avaliação combinada e pela fração de espessamento
Fogagnolo et al. [14] 89 adultos após falha de separação	Avaliação muscular e cardiopulmonar durante novo teste com baixo suporte	Reintubação em até sete dias ou incapacidade de liberação	Modelo integrado com desempenho favorável na validação interna; medida corrente isolada não distinguiu os grupos

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos estudos citados. Os desfechos e as condições ventilatórias diferem entre as investigações; os limiares apresentados correspondem às respectivas amostras.

Entre as sínteses quantitativas, Parada-Gereda et al. incluíram 26 estudos na revisão e 19 na metanálise, totalizando 1.204 pacientes nesta última. Para predição de sucesso, a excursão apresentou sensibilidade de 0,80 (intervalo de confiança de 95%: 0,77 a 0,83) e especificidade de 0,80 (0,75 a 0,84); a FEd apresentou sensibilidade de 0,85 (0,82 a 0,87) e especificidade de 0,75 (0,69 a 0,80).

A área sob a curva foi de 0,87 para ambas, com heterogeneidade entre estudos [5]. Le Neindre et al., em síntese direcionada à falha com 28 estudos na revisão e 16 na metanálise, totalizando 816 pacientes nesta última, encontraram sensibilidade de 0,70 (0,57 a 0,80), especificidade de 0,84 (0,73 a 0,91) e área sob a curva de 0,82 (0,78 a 0,85) para FEd, além de influência do limiar e das características metodológicas sobre a acurácia [15]. As duas sínteses utilizaram conjuntos de estudos e definições que não eram idênticos.

Em pacientes já aprovados no TRE, os resultados foram menos uniformes. No estudo multicêntrico de Vivier et al., a disfunção ultrassonográfica não se associou à falha de extubação; a tosse ineficaz foi a única variável independentemente associada ao desfecho [1]. Haaksma et al. também observaram baixo desempenho de uma avaliação combinada de coração, pulmões e diafragma em 83 pacientes que haviam completado o TRE. A área sob a curva da abordagem combinada foi de 0,54 e a da FEd, de 0,61 [2].

A avaliação multimodal apresentou resultado diferente em pacientes com dificuldade prévia de separação do ventilador. No estudo de Fogagnolo et al., com 89 participantes, ocorreram 24 falhas de desmame. A FEd durante respiração corrente não diferiu significativamente entre os grupos, enquanto a fração obtida em esforço máximo foi maior entre os que tiveram sucesso. Um modelo integrado alcançou área sob a curva de 0,88, com intervalo de confiança de 95% de 0,78 a 0,95, e foi submetido a validação interna. O estudo foi unicêntrico e distinguiu falha do TRE de falha do desmame no acompanhamento [14].

Em doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) exacerbada, a metanálise de Zhou et al. reuniu 23 estudos e 2.000 pacientes. Para previsão de falha do desmame, as estimativas de

sensibilidade e especificidade foram de 0,85 (intervalo de confiança de 95%: 0,78 a 0,90) e 0,85 (0,77 a 0,91) para excursão, e de 0,84 (0,77 a 0,90) e 0,77 (0,67 a 0,85) para FEd. O índice de respiração rápida e superficial diafragmático, calculado pela razão entre frequência respiratória e excursão diafragmática, apresentou sensibilidade de 0,74 (0,61 a 0,83), especificidade de 0,88 (0,73 a 0,95) e área sob a curva de 0,85 (0,82 a 0,88) em oito estudos; os autores o destacaram como útil para identificar pacientes sob alto risco de falha. Predominaram estudos pequenos e unicêntricos, com limiares definidos nas próprias amostras e heterogeneidade substancial [16]. Uma coorte prospectiva de 120 pacientes com essa condição apresentou elevada discriminação para a combinação de excursão, FEd e índice de respiração rápida e superficial convencional, calculado pela razão entre frequência respiratória e volume corrente, diferentemente do índice diafragmático. O modelo combinado apresentou área sob a curva de 0,961, com sensibilidade de 88,89% e especificidade de 92,86%. A investigação foi observacional e não comparou protocolos de decisão com e sem ultrassonografia [17]. Esses achados constituem evidência específica para a DPOC exacerbada e são indiretos para a população geral de adultos críticos.

Os ensaios de utilização clínica responderam a uma pergunta distinta. A metanálise de Tashiro et al. reuniu cinco ensaios e 508 participantes. Três ensaios, com 268 participantes, registraram reintubação em até 48 horas em 26 de 135 pacientes no grupo guiado por ultrassonografia e em 42 de 133 no grupo de critérios clínicos, correspondendo a risco relativo de 0,62 (intervalo de confiança de 95%: 0,41 a 0,95), com baixa certeza da evidência [6]. Não se demonstrou redução da duração da ventilação, e a reintubação após 48 horas apresentou risco relativo de 0,38 (0,11 a 1,29) em dois estudos com 240 participantes [6]. No ensaio brasileiro de

Toledo e Bacci, com 40 participantes, a taxa de sucesso de extubação relatada foi de 90% em ambos os grupos (20 por grupo), sem reintubação nas primeiras 48 horas e com duas reintubações em cada grupo (2/20) entre o segundo e o sétimo dia [18]. O estudo não reportou estimativa de efeito com intervalo de confiança. A semelhança observada nessa amostra pequena não demonstra equivalência entre as estratégias.

A ultrassonografia também foi utilizada como medida de resposta em ensaios de reabilitação,

sem necessariamente orientar a indicação de extubação. Dong et al. observaram maior FEd e menor duração de ventilação em um programa de reabilitação precoce comparado ao controle, em 80 pacientes ventilados por mais de 72 horas [19]. Em contraste, o ensaio de Medrinal et al., com 66 participantes, não demonstrou prevenção da disfunção diafragmática, aumento de força inspiratória ou redução de falha de extubação com estimulação elétrica transcutânea diafragmática em comparação à estimulação simulada [20].

Discussão

A utilidade do exame depende da pergunta formulada antes da aquisição. Identificar alterações musculares, estimar a capacidade de sustentar um TRE e antecipar reintubação são tarefas relacionadas, mas requerem referências distintas. Esses estudos não respondem necessariamente à mesma pergunta, e sua comparação precisa considerar o momento da avaliação, o desfecho e a população. A discordância entre estudos favoráveis e negativos deixa de ser surpreendente quando se observa que alguns incluem pacientes antes de demonstrar tolerância respiratória, enquanto outros examinam exclusivamente aqueles que já superaram essa etapa [1,2,13]. Na segunda situação, a avaliação se concentra em riscos residuais, incluindo a proteção das vias aéreas, que a imagem do diafragma não representa diretamente.

A expressão função muscular respiratória precisa ser utilizada com precisão. A FEd descreve uma mudança geométrica local durante a inspiração. Sua associação com a resposta à estimulação frênica em pressão de suporte sustenta validade fisiológica nesse contexto, mas não demonstra intercambialidade com medidas de força em qualquer modalidade ventilatória [11]. O estudo com carga

resistiva acrescenta uma distinção: a mudança de um parâmetro diante de aumento da demanda não assegura que ele quantifique com precisão o esforço produzido. Por isso, valores elevados de FEd ou excursão podem acompanhar aumento da carga e do recrutamento, sem representar reserva muscular superior [12].

A interpretação seriada exige controlar as condições em que o exame foi obtido. O efeito imediato da interrupção de sedativos mostra que parte da mudança de espessura pode ocorrer em intervalo incompatível com alteração substancial da massa muscular [9]. Além disso, um estudo com 19 voluntários saudáveis demonstrou que a pressão positiva expiratória altera a geometria e a eficiência neuromecânica do diafragma [21]. Esse resultado explica uma possibilidade mecânica, mas sua população não autoriza atribuir o mesmo efeito quantitativo a pacientes críticos. Nas comparações ao longo do tempo, convém registrar posição corporal, local e lado examinados, fase respiratória, modalidade ventilatória, nível de assistência e sedação. Sem essa contextualização, uma aparente melhora pode refletir apenas mudança na condição de mensuração.

As associações entre perda de espessura e ventilação prolongada tornam o acompanhamento muscular clinicamente relevante, mas a interpretação causal permanece limitada. A gravidade da doença pode simultaneamente alterar a musculatura e prolongar a dependência ventilatória. Da mesma forma, a maior espessura pode acompanhar processos diferentes de recuperação contrátil, sobretudo quando há alterações concomitantes da ecodensidade [3,10]. A inferência adequada é utilizar a trajetória como informação adicional, mantendo a investigação de sedação excessiva, carga respiratória e doença sistêmica. Aumento de espessura isolado não constitui demonstração de ganho de força, e uma faixa observacional de FE_d não deve ser convertida em alvo terapêutico universal.

A heterogeneidade dos desfechos limita também a aplicação das metanálises. Quando sucesso e falha são definidos em momentos distintos, ou quando a falha reúne intolerância ao TRE, reintubação e necessidade de suporte adicional, os valores de sensibilidade e especificidade respondem a classificações diferentes. As estimativas agregadas de Parada-Gereda e Le Neindre sugerem capacidade prognóstica em determinados contextos, mas não fornecem um limiar que preserve o mesmo desempenho em todas as unidades [5,15]. A probabilidade clínica anterior ao exame continua necessária: o mesmo resultado ultrassonográfico pode modificar de maneira diferente a decisão em um paciente com recuperação rápida e em outro com repetidas falhas de separação. Nenhuma das curvas resumidas representa, por si, a probabilidade individual de sucesso.

A DPOC exemplifica a importância do contexto. A hiperinsuflação e a carga inspiratória modificam a relação entre movimento, espessamento e ventilação efetiva, e os resultados observados nessa

população devem permanecer vinculados a suas condições clínicas. A metanálise específica de 2026 identificou desempenho favorável, mas reconheceu a seleção de limiares nas próprias amostras e a concentração geográfica dos estudos [16]. A elevada área sob a curva da coorte de Sun et al. deve ser lida como desempenho de um modelo desenvolvido em uma população selecionada, sem assumir que sua transferência a outro serviço reproduza os mesmos resultados [17]. Por isso, essa evidência é indireta para adultos críticos em geral e não deve receber peso equivalente ao de estudos realizados em populações não selecionadas por DPOC. Validação externa, calibração e avaliação das consequências da decisão são necessárias para estabelecer o valor assistencial de modelos dessa natureza.

Combinar avaliações pode reduzir lacunas de uma medida isolada, desde que o modelo seja construído e testado adequadamente. Os achados distintos das avaliações multimodais de Haaksma e Fogagnolo mostram que adicionar componentes não garante melhora automática de predição [2,14]. O resultado recente em pacientes com desmame difícil é promissor, porém a validação interna ainda não demonstra desempenho em outras populações. Também permanece relevante separar a avaliação durante a respiração corrente daquela obtida em esforço máximo, que depende de cooperação e de manobra específica. Não seria adequado aplicar à medida de repouso um limiar derivado de uma tentativa máxima.

O sinal de benefício nos ensaios permanece limitado pela imprecisão e pela diversidade de usos do exame. Um estudo da análise principal avaliou tolerância ao TRE, sem orientar diretamente a extubação [6]. O ensaio de Toledo e Bacci apresentou poucos eventos e resultado semelhante entre os grupos; isso não demonstra equivalência

entre estratégias, pois a amostra foi pequena [18]. A incorporação do exame pode ser útil, mas os dados ainda não sustentam tornar um resultado ultrassonográfico favorável condição obrigatória para extubação.

Para a fisioterapia intensiva, a contribuição mais defensável é integrar a informação muscular a uma avaliação funcional e respiratória completa. Em pacientes com falhas repetidas, a identificação de comportamento diafragmático desfavorável pode orientar a investigação de comprometimento muscular e a discussão sobre demandas ventilatórias e reabilitação. A escolha de uma intervenção, contudo, precisa apoiar-se em evidência própria. O resultado favorável de um programa de reabilitação e o resultado negativo da estimulação elétrica ilustram por que uma alteração ultrassonográfica não implica resposta uniforme a diferentes tratamentos [19,20]. O exame pode documentar evolução, mas melhora de FE_d não deve substituir desfechos como independência ventilatória, reintubação ou recuperação funcional.

Na avaliação imediatamente anterior à retirada do tubo, a ultrassonografia deve ser interpretada junto à tolerância ao TRE, ao estado de consciência, à tosse, às secreções e à condição cardiopulmonar. As recomendações da diretriz de 2024 mantêm a avaliação regular de prontidão e o TRE como componentes centrais do processo de liberação [22]. Um resultado isoladamente desfavorável

merece conferência técnica e contextualização, para evitar prolongamento desnecessário da ventilação; um resultado favorável tampouco exclui causas não musculares de falha. Essa integração requer profissionais treinados e documentação que permita reconhecer mudanças de técnica ou de suporte entre os exames.

O alcance desta revisão é delimitado pela seleção narrativa das fontes, pela busca em apenas duas bases bibliográficas, pela incorporação exclusiva de publicações em inglês e pela disponibilidade desigual de textos completos. As datas exatas de cada consulta, as contagens de registros por fonte, duplicatas, exclusões exclusivamente por idioma e referências utilizadas apenas a partir do resumo indexado não foram documentadas. Também não foi aplicado procedimento formal de avaliação da qualidade metodológica ou do risco de viés das fontes primárias. Essas características podem restringir a abrangência da busca e a confiabilidade da síntese, com possível viés de idioma e de seleção. No corpo de evidências, a sobreposição de estudos entre sínteses, as amostras frequentemente pequenas, a variedade de definições de falha e a escassez de validação externa dificultam estabelecer superioridade de um parâmetro. A questão ainda aberta não é apenas qual medida discrimina melhor os grupos, mas em quais pacientes sua utilização muda uma decisão e melhora o desfecho sem atrasar a liberação ventilatória.

Conclusão

A ultrassonografia diafragmática caracteriza alterações musculares e pode acrescentar informação prognóstica em contextos específicos, conforme o parâmetro, a condição ventilatória, o momento da avaliação e o evento analisado. Sua contribuição varia entre tolerância ao TRE, sucesso

de extubação, reintubação e liberação sustentada da ventilação; achados de populações específicas, como a DPOC exacerbada, são indiretos para adultos críticos em geral e não devem ser generalizados. A evidência é mais heterogênea para falha de extubação após TRE bem-sucedido, enquanto

ensaios sugerem possível redução de reintubação precoce com baixa certeza. O exame deve ser compreendido como componente complementar, e não como substituto do TRE ou da avaliação da proteção das vias aéreas, da tosse, das secreções e da condição cardiopulmonar. Os dados disponíveis não estabelecem ponto de corte universal nem justificam decidir a extubação exclusivamente pelo exame diafragmático.

Declaração de uso de inteligência artificial

O ChatGPT (OpenAI) foi utilizado como ferramenta de apoio na pesquisa bibliográfica, na organização da literatura, na síntese das evidências, na redação, na correção gramatical e na formatação do manuscrito. O conteúdo científico, a

seleção das evidências, a interpretação dos resultados e as conclusões foram revisados e assumidos pelos autores, que mantêm integral responsabilidade pelo trabalho.

Conflitos de interesse

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Financiamento

Este estudo não recebeu financiamento.

Contribuição dos autores

Concepção e desenho da pesquisa: Abrantes PO, Silva ALF, Coutinho RVS, Nogueira LF; Redação do manuscrito: Abrantes PO, Silva ALF, Coutinho RVS, Nogueira LF; Revisão crítica do manuscrito quanto ao conteúdo intelectual importante: Abrantes PO, Silva ALF, Coutinho RVS, Nogueira LF.

Referências

1. Vivier E, Muller M, Putegnat JB, Steyer J, Barrau S, Boissier F, et al. Inability of Diaphragm Ultrasound to Predict Extubation Failure: A Multicenter Study. *Chest*. 2019;155(6):1131-1139. doi: 10.1016/j.chest.2019.03.004.
2. Haaksma ME, Smit JM, Heldeweg MLA, Nooitgedacht JS, Atmowihardjo LN, Jonkman AH, et al. Holistic Ultrasound to Predict Extubation Failure in Clinical Practice. *Respir Care*. 2021;66(6):994-1003. doi: 10.4187/respcare.08679.
3. Goligher EC, Dres M, Fan E, Rubenfeld GD, Scales DC, Herridge MS, et al. Mechanical Ventilation-induced Diaphragm Atrophy Strongly Impacts Clinical Outcomes. *Am J Respir Crit Care Med*. 2018;197(2):204-213. doi: 10.1164/rccm.201703-0536oc.
4. Truong D, Abo S, Whish-Wilson GA, D'Souza AN, Beach LJ, Mathur S, et al. Methodological and Clinimetric Evaluation of Inspiratory Respiratory Muscle Ultrasound in the Critical Care Setting: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Crit Care Med*. 2023;51(2):e24-e36. doi: 10.1097/ccm.0000000000005739.
5. 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. doi: 10.1186/s13054-023-04430-9.
6. Tashiro N, Nishiwaki H, Ikeda T, Levack WMM, Noma H, Yamaji N, et al. Clinical utility of diaphragmatic ultrasound for mechanical ventilator liberation in adults: a systematic review and meta-analysis. *J Intensive Care*. 2025;13(1):40. doi: 10.1186/s40560-025-00811-0.
7. DiNino E, Gartman EJ, Sethi JM, McCool FD. Diaphragm ultrasound as a predictor of successful extubation from mechanical ventilation. *Thorax*. 2014;69(5):423-427. doi: 10.1136/thoraxjnl-2013-204111.

8. Haaksma ME, Smit JM, Boussuges A, Demoule A, Dres M, Ferrari G, et al. EXpert consensus On Diaphragm UltraSonography in the critically ill (EXODUS): a Delphi consensus statement on the measurement of diaphragm ultrasound-derived parameters in a critical care setting. *Crit Care*. 2022;26(1):99. doi: 10.1186/s13054-022-03975-5.
9. Pearson SD, Lin J, Stutz MR, Lecompte-Osorio P, Pohlman AS, Wolfe KS, et al. Immediate Effect of Mechanical Ventilation Mode and Sedative Infusion on Measured Diaphragm Thickness. *Ann Am Thorac Soc*. 2022;19(9):1543-1550. doi: 10.1513/annalsats.202111-1280oc.
10. Coiffard B, Riegler S, Sklar MC, Dres M, Vorona S, Reid WD, et al. Diaphragm echodensity in mechanically ventilated patients: a description of technique and outcomes. *Crit Care*. 2021;25(1):64. doi: 10.1186/s13054-021-03494-9.
11. Dubé BP, Dres M, Mayaux J, Demiri S, Similowski T, Demoule A. Ultrasound evaluation of diaphragm function in mechanically ventilated patients: comparison to phrenic stimulation and prognostic implications. *Thorax*. 2017;72(9):811-818. doi: 10.1136/thoraxjnl-2016-209459.
12. Menis AA, Tsolaki V, Papadonta ME, Vazgiourakis V, Mantzaris K, Zakynthinos E, et al. Diaphragmatic ultrasound and its relationship to breathing effort and load: a prospective observational study. *Crit Care*. 2025;29(1):190. doi: 10.1186/s13054-025-05436-1.
13. Dres M, Goligher EC, Dubé BP, Morawiec E, Dangers L, Reuter D, et al. Diaphragm function and weaning from mechanical ventilation: an ultrasound and phrenic nerve stimulation clinical study. *Ann Intensive Care*. 2018;8(1):53. doi: 10.1186/s13613-018-0401-y.
14. Fogagnolo A, Dres M, Murgolo F, Grasso S, Brazzoli B, Pasa G, et al. Integrated comprehensive assessment for predicting weaning success in difficult-to-wean critically ill patients: the WEAN-US study. *Crit Care*. 2026;30(1):309. doi: 10.1186/s13054-026-06113-7.
15. Le Neindre A, Philippart F, Luperto M, Wormser J, Morel-Sapene J, Aho SL, et al. Diagnostic accuracy of diaphragm ultrasound to predict weaning outcome: A systematic review and meta-analysis. *Int J Nurs Stud*. 2021;117:103890. doi: 10.1016/j.ijnurstu.2021.103890.
16. Zhou X, Xu Y, Yan Q, Chen R, Lv X, Wang Z. Predictive value of diaphragmatic ultrasound for weaning outcomes in mechanically ventilated patients with acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care*. 2026;30(1):407. doi: 10.1186/s13054-026-06240-1.
17. Sun S, Pan L, Wang X, Zhao J. Diaphragmatic ultrasound in guiding weaning from invasive mechanical ventilation in patients with acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease. *Heart Lung*. 2026;77:102692. doi: 10.1016/j.hrtlng.2025.102692.
18. Toledo TG, Bacci MR. Value of Diaphragm Ultrasonography for Extubation: A Single-Blinded Randomized Clinical Trial. *Crit Care Res Pract*. 2023;2023:8403971. doi: 10.1155/2023/8403971.
19. Dong Z, Liu Y, Gai Y, Meng P, Lin H, Zhao Y, et al. Early rehabilitation relieves diaphragm dysfunction induced by prolonged mechanical ventilation: a randomised control study. *BMC Pulm Med*. 2021;21(1):106. doi: 10.1186/s12890-021-01461-2.

20. Medrinal C, Machefert M, Lamia B, Bonnevie T, Gravier FE, Hilfiker R, et al. Transcutaneous electrical diaphragmatic stimulation in mechanically ventilated patients: a randomised study. Crit Care. 2023;27(1):338. doi: 10.1186/s13054-023-04597-1.
21. Jansen D, Jonkman AH, de Vries HJ, Wennen M, Elshof J, Hoofs MA, et al. Positive end-expiratory pressure affects geometry and function of the human diaphragm. J Appl Physiol (1985). 2021;131(4):1328-1339. doi: 10.1152/japplphysiol.00184.2021.
22. Roberts KJ, Goodfellow LT, Battey-Muse CM, Hoerr CA, Carreon ML, Sorg ME, et al. AARC Clinical Practice Guideline: Spontaneous Breathing Trials for Liberation From Adult Mechanical Ventilation. Respir Care. 2024;69(7):891-901. doi: 10.4187/respcare.11735.



Este artigo de acesso aberto é distribuído nos termos da Licença de Atribuição Creative Commons (CC BY 4.0), que permite o uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que o trabalho original seja devidamente citado.