



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA SAÚDE**

**ACURÁCIA DA ULTRASSONOGRAFIA À BEIRA LEITO PARA PREVER  
DESFECHO DA EXTUBAÇÃO DE PACIENTES CRÍTICOS: REVISÃO  
SISTEMÁTICA DE ESTUDOS DIAGNÓSTICOS**

LARISSA GIOVANNA DE OLIVEIRA ARAUJO

UBERLÂNDIA

2022

LARISSA GIOVANNA DE OLIVEIRA ARAUJO

**ACURÁCIA DA ULTRASSONOGRRAFIA À BEIRA LEITO PARA PREVER  
DESFECHO DA EXTUBAÇÃO DE PACIENTES CRÍTICOS: REVISÃO  
SISTEMÁTICA DE ESTUDOS DIAGNÓSTICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde da Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências da Saúde.

**Área de Concentração:** Ciências da Saúde

**Orientadora:** Profa. Dra. Tânia Maria da Silva Mendonça

UBERLÂNDIA- MG

2022

LARISSA GIOVANNA DE OLIVEIRA ARAUJO

**ACURÁCIA DA ULTRASSONOGRRAFIA À BEIRA LEITO PARA PREVER  
DESFECHO DA EXTUBAÇÃO DE PACIENTES CRÍTICOS: REVISÃO  
SISTEMÁTICA DE ESTUDOS DIAGNÓSTICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde da Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências da Saúde.

**Área de Concentração:** Ciências da Saúde

**Orientadora:** Profa. Dra. Tânia Maria da Silva Mendonça

**BANCA AVALIADORA**

---

Profa. Dra. Tânia Maria da Silva Mendonça

---

Prof. Dr. Rogério de Melo Costa Pinto

---

Prof. Dra. Eleusa Gallo Rosenberg

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

- A659a  
2022
- Araujo, Larissa Giovanna de Oliveira, 1995-  
Acurácia da ultrassonografia à beira leito para prever desfecho da extubação de pacientes críticos [recurso eletrônico] : revisão sistemática de estudos diagnósticos / Larissa Giovanna de Oliveira Araujo. - 2022.
- Orientadora: Tânia Maria da Silva Mendonça.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia.  
Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde.  
Modo de acesso: Internet.  
Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2022.5065>  
Inclui bibliografia.  
Inclui ilustrações.
1. Ciências médicas. I. Mendonça, Tânia Maria da Silva, 1964-, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde. III. Título.

CDU: 61



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
 Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde  
 Av. Pará, 1720, Bloco 2H, Sala 11 - Bairro Umarama, Uberlândia-MG, CEP 38400-902  
 Telefone: (34) 3225-8628 - www.ppcsafamed.ufu.br - ppcsaf@famed.ufu.br



### ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Ciências da Saúde				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Profissional Nº 008/PPCSA				
Data:	25.08.2022	Hora de início:	09:00h	Hora de encerramento:	10:25h
Matrícula do Discente:	12012PSC004				
Nome do Discente:	Larissa Giovanna de Oliveira Araújo				
Título do Trabalho:	Acurácia da ultrassonografia à beira leito para prever desfecho da extubação de pacientes críticos: revisão sistemática de estudos diagnósticos				
Área de concentração:	Ciências da Saúde				
Linha de pesquisa:	PREVENÇÃO DE AGRAVOS À SAÚDE				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	EDUCAÇÃO EM SAÚDE				

Reuniu-se em web conferência pela plataforma Microsoft Teams, em conformidade com a PORTARIA Nº 36, DE 19 DE MARÇO DE 2020 da COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR - CAPES, pela Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Ciências da Saúde, assim composta: Professores Doutores: Eleusa Gallo Rosenberg (UEMG), Rogério de Melo Costa Pinto (UFU) e Tânia Maria da Silva Mendonça (UFU) orientadora da candidata.

Iniciando os trabalhos a presidente da mesa, Dra. Tânia Maria da Silva Mendonça, apresentou a Comissão Examinadora e a candidata, agradeceu a presença do público, e concedeu a Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovada.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.

Documento assinado eletronicamente por **Tânia Maria da Silva Mendonça, Presidente**, em



25/08/2022, às 10:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Eleusa Gallo Rosenberg, Usuário Externo**, em 25/08/2022, às 10:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Rogério de Melo Costa Pinto, Professor(a) do Magistério Superior**, em 25/08/2022, às 10:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **3869845** e o código CRC **3F32A476**.

---

*A todos os pacientes críticos que necessitam de cuidados intensivos e suas famílias que enfrentam lutas diárias por seus entes queridos*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que me apoiaram nessa trajetória enriquecedora e desafiadora.

Agradeço a minha família que sempre me incentivou a buscar novas conquistas e atingir novas metas, que me transformaram na profissional que hoje sou.

Agradeço a família do meu noivo por terem me acolhido e terem me apoiado como se fossem a minha, me dando suporte para enfrentar os dias mais difíceis.

Agradeço ao meu noivo, Rodolfo, por estar ao meu lado e me acompanhar em minha caminhada, abrindo meus olhos para que eu enxergasse o lado bom de cada desafio.

Agradeço a minha orientadora Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Tânia Maria da Silva Mendonça pelo suporte, orientações, ensinamentos durante todo esse período, incentivo e confiança em nosso trabalho.

Agradeço a Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Eliane Maria de Carvalho pelo apoio durante minha Residência Multiprofissional e nessa etapa do Mestrado Profissional.

Agradeço a Gabrielle Vinhal pela contribuição com a coleta de dados desse estudo.

Agradeço a todos os membros da banca pela atenção, disponibilidade e por todas as suas contribuições.

Agradeço a todos que de alguma forma fizeram parte dessa minha jornada.

## RESUMO

**Introdução:** O momento ideal para a extubação de pacientes críticos deve ser definido com cautela. Apesar de inúmeros métodos serem utilizados para prever o sucesso da retirada da via aérea artificial, cerca de 20% dos pacientes que são avaliados com métodos convencionais de desmame ventilatório falham no momento da extubação. O retorno ao suporte ventilatório gera complicações advindas de uma nova intubação, como maior risco de mortalidade, de infecções pulmonares, diminuição de força de musculatura respiratória e de internação prolongada. A necessidade de resultados mais precisos da extubação gera a busca por novos métodos de avaliação, como a ultrassonografia à beira leito. **Objetivo:** revisar sistematicamente a acurácia do ultrassom diagnóstico para prever os desfechos da extubação de pacientes em estado crítico. **Metodologia:** Foram realizadas buscas de estudos entre agosto de 2021 e março de 2022, nas bases de dados *Pubmed, Embase, Cochrane, Web of Science, Lilacs e Science Direct*. Foram incluídos estudos de acurácia diagnóstica, sem restrição de língua ou data de publicação, que apresentavam em sua amostra participantes com idade superior a 18 anos, internados em unidades de terapia intensiva, em ventilação mecânica há pelo menos 24 horas, avaliados com o ultrassom previamente a extubação. **Resultados:** A busca resultou em 47 referências. Quatro índices foram encontrados e avaliados. Os pontos de corte do Lung Ultrasound Score  $\leq 12$ , da fração de espessamento diafragmático  $\geq 30\%$ , da excursão diafragmática  $\geq 10$  mm e do Índice de Respiração Rápida e Superficial  $\leq 1,6$  resp/min/mm apresentaram os maiores valores de acurácia diagnóstica. **Conclusão:** Os resultados obtidos com o ultrassom à beira leito foram úteis na predição dos desfechos do desmame ventilatório.

**Descritores:** Ultrassom, Extubação, Desmame do Respirador, Ventilação Mecânica.

## ABSTRACT

**Introduction:** The ideal moment for extubation of critically ill patients must be carefully defined. Although numerous methods are used to predict the successful removal of the artificial airway, failure rates remain high and can generate numerous risks to patients requiring ventilatory support. The need for more accurate results generates the search for new assessment methods, such as bedside ultrasonography. **Objective:** systematically review the accuracy of diagnostic ultrasound to predict the outcomes of extubation in critically ill patients. **Methodology:** Searches of studies were conducted between August 2021 and March 2022 in *Pubmed, Embase, Cochrane, Web of Science, Lilacs, and Science Direct* databases. Studies of diagnostic accuracy were included, with no language or publication date restriction, which had in their sample participants admitted to intensive care units, on mechanical ventilation for at least 24 hours, evaluated with the ultrasound prior to extubation. **Results:** The search resulted in 47 references. Four indexes were found and evaluated. The cut-off points of the *Lung Ultrasound Score*  $\leq 12$ , the diaphragmatic thickening fraction  $\geq 30\%$ , the diaphragmatic excursion  $\geq 10$  mm, and the Fast and Surface Respiration Index  $\leq 1.6$  resp/min/mm showed the highest diagnostic accuracy values. **Conclusion:** The results obtained with bedside ultrasound were useful in predicting the outcomes of ventilatory weaning.

**Keywords:** *ultrasound, extubation, ventilator weaning, mechanical ventilation.*

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Diagrama de fluxo mostrando a triagem e seleção dos estudos.....	40
Figura 2. Avaliação da qualidade metodológica e risco de viés dos estudos incluídos (QUADAS-2) .....	46

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Pontos de corte de valores de deslocamento do diafragma e da fração de espessamento diafragmático indicados previamente à extubação.....	29
Tabela 2. Pontuação do Lung Ultrasound Score.....	33
Tabela 3. Características dos estudos incluídos.....	41
Tabela 4. Pontos de corte e seus respectivos valores de sensibilidade, especificidade e AUC.....	44

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>VMI</b>	Ventilação mecânica invasiva
<b>PIMAX</b>	Pressão inspiratória máxima
<b>DPOC</b>	Doença pulmonar obstrutiva crônica
<b>ED</b>	Excursão diafragmática
<b>FED</b>	Fração de espessamento diafragmático
<b>LUS</b>	<i>Lung Ultrasound Score</i>
<b>IRRS</b>	Índice de respiração rápida e superficial
<b>VT</b>	Volume corrente
<b>FR</b>	Frequência respiratória
<b>IPM/MIN/L</b>	Inspirações por minuto/ Minuto/ Litro
<b>TDI</b>	Espessura do diafragma na inspiração
<b>TDE</b>	Espessura do diafragma na expiração
<b>UTI</b>	Unidade de Terapia Intensiva
<b>N/I</b>	Não informado
<b>TRE</b>	Teste de respiração espontânea
<b>IDRRS</b>	Índice diafragmático de respiração rápida e superficial
<b>AUC</b>	Área sob a curva ROC
<b>ROC</b>	<i>Receiver Operating Characteristic Curve</i>

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1. Pacientes críticos em ventilação mecânica.....</b>	<b>17</b>
<b>2.2. Ventilação mecânica versus força muscular e função pulmonar.....</b>	<b>18</b>
<b>2.3. Processo de extubação de pacientes críticos.....</b>	<b>20</b>
<b>2.4. Relação entre o sucesso e a falha na extubação.....</b>	<b>22</b>
<b>2.5. Métodos de avaliação mais precisos.....</b>	<b>22</b>
<b>2.6. Ultrassom.....</b>	<b>23</b>
<b>2.7. Ultrassom diafragmático.....</b>	<b>24</b>
<b>2.7.1 Aspectos anatômicos e funcionais do diafragma.....</b>	<b>24</b>
<b>2.7.2. Aspectos metodológicos e técnicos do ultrassom diafragmático.....</b>	<b>25</b>
<b>2.7.3. Espessamento diafragmático.....</b>	<b>26</b>
<b>2.7.4. Excursão diafragmática.....</b>	<b>27</b>
<b>2.7.5. Índice diafragmático de respiração rápida e superficial.....</b>	<b>27</b>
<b>2.7.6. Principais limitações da ultrassonografia diafragmática.....</b>	<b>28</b>
<b>2.8. Ultrassom pulmonar.....</b>	<b>29</b>
<b>2.8.1. Aspectos anatômicos e funcionais do pulmão.....</b>	<b>29</b>
<b>2.8.2. Aspectos metodológicos e técnicos do ultrassom pulmonar.....</b>	<b>30</b>
<b>2.8.3. Deslizamento pleural.....</b>	<b>32</b>
<b>2.8.4. Condições patológicas.....</b>	<b>32</b>

<b>2.8.5. Lung Ultrasound Score.....</b>	<b>32</b>
<b>2.8.6. Limitações da técnica de ultrassonografia pulmonar.....</b>	<b>34</b>
<b>2.9. Ultrassom no processo de extubação.....</b>	<b>34</b>
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>36</b>
<b>3.1. Buscas Eletrônicas.....</b>	<b>36</b>
<b>3.2 Seleção de estudos.....</b>	<b>37</b>
<b>3.2.1. Critérios de inclusão.....</b>	<b>37</b>
<b>3.2.2. Critérios de exclusão.....</b>	<b>37</b>
<b>3.3. Extração e análise de dados.....</b>	<b>37</b>
<b>3.4. Risco de viés e qualidade metodológica dos estudos incluídos.....</b>	<b>38</b>
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>39</b>
<b>5. DISCUSSÃO.....</b>	<b>47</b>
<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>52</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>52</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Apesar de todos os avanços tecnológicos, a determinação do momento ideal para a extubação de pacientes críticos ainda corresponde a uma zona cinzenta (THILLE; CORTÉS-PUCH; ESTEBAN, 2013; TU et al., 2018; SAEED; LASRADO, 2020). A dificuldade na tomada de decisão da retirada do suporte ventilatório advém dos riscos gerados aos pacientes em uma extubação precoce ou tardia. A extubação de pacientes críticos de forma precoce está associada a altos índices de estresse cardiovascular, além de complicações respiratórias ocasionadas pela hipoventilação, como retenção de dióxido de carbono e a hipoxemia, que podem gerar necessidade de retorno à ventilação mecânica invasiva (GOLIGHER; FERGUSON; BROCHARD, 2016; DRES; DEMOULE, 2020). Ademais, a necessidade de manter a via aérea artificial por períodos prolongados pode acarretar redução da força muscular respiratória e alterações na função pulmonar, além de predispor a maiores chances de infecções, advindas do suporte ventilatório (JABER et al., 2011; DEAB; BELLANI, 2014; GAO et al., 2019).

Dada a complexidade da determinação do momento ideal da extubação de pacientes em estado crítico, cerca de 20% dos pacientes avaliados com os métodos convencionais preditivos de desmame, como teste de respiração espontânea, ventilação em parâmetros mínimos ou teste de respiração rápida e superficial, apresentaram falha na extubação, ou seja, necessitaram retornar para ventilação mecânica invasiva nas primeiras 48 horas após a retirada da via aérea artificial (MOKHLESI et al., 2007; DEAB; BELLANI, 2014 TU et al., 2018). A dificuldade de identificação das condições adequadas para que a extubação ocorra, é gerada pela subjetividade dos resultados de alguns desses métodos apresentados, visto que as interpretações das avaliações devem ser realizadas de acordo com as condições clínicas individuais de cada paciente. Para minimizar as chances de falha na retirada do suporte ventilatório desses pacientes outros métodos vêm sendo estudados, como a ultrassonografia à beira leito, visando a identificação de métodos mais precisos e que apresentem menor subjetividade em seus resultados (ASEHNOUNE et al., 2017; STEIDL et al., 2017).

A aplicabilidade do ultrassom em unidades de terapia intensiva tem sido correlacionado a avaliações mais precisas, que o colocam em posição de destaque na prática clínica como um dos possíveis instrumentos que podem ser utilizados em

avaliações previamente a extubação de pacientes críticos (OSMAN; HASHIM, 2017; BANERJEE; MEHROTRA, 2018; MCCOOL; OYIENG'O; KOO, 2020). Sua utilização vem sendo relatada há cerca de 70 anos e o instrumento têm se mostrado de grande valia na identificação e determinação de condições patológicas pulmonares, além de ser um método de baixo custo e fácil aplicabilidade e livre de radiação ionizante (FARGHALY; HASAN; MAKHLOUF, 2018; PALKAR et al., 2018). No entanto, apesar do instrumento apresentar pontos favoráveis, a acurácia do método para prever resultados da extubação de pacientes críticos ainda é pouco relatada, tornando o ultrassom um instrumento pouco utilizado nos setores de cuidados intensivos.

A utilização de métodos menos subjetivos de avaliação, como a análise da função diafragmática e pulmonar por meio do ultrassom, pode auxiliar na tomada de decisão dos profissionais de saúde frente ao momento ideal de extubação de pacientes críticos e minimizar os riscos a eles acarretados (TU et al., 2018; SOLIMAN et al., 2019; THILLE et al., 2020). Prever com maior precisão a retirada da via aérea artificial desses pacientes pode minimizar as chances de complicações advindas de uma extubação precoce ou tardia, o tempo de internação hospitalar e contribuir para redução dos gastos dos serviços de saúde (ESTEBAN et al., 2013; KARTHIKA et al., 2016; RAMIREZ-ESTRADA et al., 2018). Na hipótese do ultrassom se revelar um método menos subjetivo que aqueles já utilizados até o momento, o instrumento auxiliará na tomada de decisão da equipe de profissionais de saúde quanto o momento ideal para extubação de pacientes críticos. Portanto, o objetivo do presente estudo foi revisar sistematicamente a acurácia do ultrassom à beira leito para prever os desfechos da extubação de pacientes em estado crítico.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Pacientes críticos em ventilação mecânica**

Os avanços nos cuidados dos pacientes em estado crítico vêm ocorrendo ao longo dos anos, e prova disso, é a possibilidade de suporte ventilatório por meio de uma via aérea artificial, ou tubo orotraqueal, acoplado à ventilação mecânica invasiva (GRENVIK; PINSKY, 2009; RISTAGNO; WEIL, 2009; WEIL; TANG, 2011; MARSHALL et al., 2017). Há séculos os primeiros estudos com animais surgiram, no entanto, apenas em 1896 ocorreu a primeira intubação bem-sucedida em seres humanos submetidos a anestesia. Além disso, as evoluções dos ventiladores mecânicos permitiram

um suporte ventilatório mais seguro e com menores riscos aos pacientes que apresentam insuficiência respiratória aguda, ou crônica agudizada, e que necessitam manter a permeabilidade das vias aéreas, diminuir o trabalho respiratório e otimizar as trocas gasosas (ESTEBAN et al., 2013; WILSON; MATTHAY, 2014; CAWLEY, 2019; WITHERS et al., 2021).

O número de pacientes que necessitam de suporte ventilatório intensivo apresentou um aumento substancial ao longo dos anos, e apesar de benéfica quando necessária, a ventilação mecânica invasiva por tempo prolongado está associada a inúmeras complicações aos pacientes que dela necessitam (KLOMPAS, 2013; FICHTNER et al., 2019; HARIBHAI; MAHBOOBI, 2020). Dentre essas complicações, encontram-se as infecções e lesões pulmonares, diminuição de força muscular respiratória, maior tempo de internação hospitalar e maiores índices de mortalidade (BISSETT; GOSSELINK; VAN HAREN, 2020). Portanto, minimizar o tempo total entre o início da ventilação e a retirada da via aérea artificial deve ser um ponto preconizado nas equipes de cuidados intensivos (ROBBINS et al., 2015; FERNANDO et al., 2019). Algumas estratégias podem ser utilizadas para que isso aconteça, como os protocolos de retirada diária da sedação e a avaliação constante das condições clínicas e pulmonares dos pacientes em ventilação mecânica invasiva, que podem favorecer a extubação de forma mais precoce e diminuir os efeitos deletérios ocasionados pela internação prolongada (GOLDWASSER; DAVID, 2007; BURRY et al., 2014; CUTHILL et al., 2020).

## **2.2 Ventilação mecânica versus força muscular e função pulmonar**

Pacientes internados em Unidades de Terapia Intensiva necessitam, na maioria das vezes, de um tempo de internação prolongada para que sejam resolvidas as condições clínicas que acarretaram a admissão em ambiente hospitalar (LI; ZHAN; WANG, 2016). Nesse contexto, eles são submetidos a inúmeros procedimentos invasivos e condutas terapêuticas necessárias nos cuidados intensivos, que podem, em contrapartida, acarretar efeitos deletérios em outros sistemas corporais (ADMI et al., 2015; FERNANDEZ-GONZALO et al., 2018). A necessidade de ventilação mecânica invasiva por períodos prolongados pode gerar perda de força muscular e atrofia da musculatura respiratória, além de alterações na função pulmonar e gerar maiores riscos associados a infecções

(BEITLER; MALHOTRA; THOMPSON, 2016; BERGER et al., 2016; BROCHARD; SLUTSKY; PESENTI, 2016).

A diminuição da força muscular respiratória ocorre pela necessidade de suporte ventilatório invasivo em modos controlados, para que ocorra o descanso dessa musculatura, visando a diminuição da fadiga e do trabalho respiratório (VASSILAKOPOULOS; ZAKYNTHINOS; ROUSSOS, 2005; GOLIGHER; FERGUSON; BROCHARD, 2016; BISSETT; GOSSELINK; VAN HAREN, 2020). Além disso, em alguns casos é necessária a otimização da sedação por meio de doses mais elevadas ou pela utilização de bloqueadores neuromusculares (JARMAN et al., 2013; ARAGÓN et al., 2019). A associação de todos esses eventos, além de quadros de desnutrição e sepse, induzem a diminuição de números de fibras musculares, sarcômeros, área de secção transversa e conseqüentemente, a valores de força muscular respiratória significativamente reduzidos (SCHEFOLD; BIERBRAUER; WEBER-CARSTENS, 2010; BALDWIN; BERSTEN, 2014; CASAER, 2015).

Por ser o principal músculo inspiratório o diafragma é o mais afetado quando submetido a ventilação mecânica invasiva prolongada (SUPINSKI et al., 2018; DRES; DEMOULE, 2020). A atrofia diafragmática pode ter início nas primeiras 12 horas do suporte ventilatório e após esse período as alterações contráteis se tornam mais nítidas, com redução da capacidade do músculo de gerar força e volume corrente (DOT et al., 2017; GOLIGHER et al., 2017). A fraqueza dos músculos respiratórios se torna um agravante no processo de desmame e extubação, visto que o desequilíbrio entre a atividade muscular ou a sobrecarga mecânica imposta ao diafragma podem dificultar o sucesso da retirada da via aérea artificial (JUNG et al., 2016; LIU; LI, 2018; DRIDI et al., 2020).

Apesar de necessária para minimizar o trabalho respiratório e favorecer as funções pulmonares, a ventilação mecânica invasiva também pode acarretar complicações aos pulmões, se ofertada por tempo prolongado e de forma inadequada (FULLER et al., 2013; SADDY et al., 2014). O volutrauma e barotrauma são lesões pulmonares frequentes e ocorrem quando os pacientes são ventilados com volumes ou pressões superiores aos valores indicados para que se tenha uma ventilação protetora (BELONCLE et al., 2014; BROCHARD; SLUTSKY; PESENTI, 2016; NIEMAN et al., 2020). Além disso, o suporte ventilatório prolongado é associado a um maior número de infecções pulmonares, como a pneumonia associada a ventilação mecânica, devido à ausência de proteção das

vias aéreas acarretada pela presença do tubo orotraqueal, além de índices de mortalidade mais altos pela possibilidade da presença de microrganismos multirresistentes (CORNISTEIN et al., 2018; KÓZKA et al., 2020; PAPAZIAN; KLOMPAS; LUYT, 2020).

### **2.3 Processo de extubação de pacientes críticos**

A extubação é definida como a retirada da via aérea artificial, ou seja, do tubo orotraqueal dos pacientes que se encontram em ventilação mecânica invasiva (THILLE; CORTÉS-PUCH; ESTEBAN, 2013; SAEED; LASRADO, 2020). A partir do momento em que o paciente é submetido a uma intubação orotraqueal, a possibilidade de extubação deve ser discutida diariamente, para que ocorra o mais precocemente possível. Determinar o momento ideal para que ela ocorra ainda é um grande desafio, visto que a falha na extubação aumenta substancialmente o risco de mortalidade desses pacientes (ORTEGA et al., 2014; PAROTTO; COOPER; BEHRINGER, 2020).

Por outro lado, o desmame ventilatório é definido como a evolução dos parâmetros ventilatórios para que o paciente seja liberado rapidamente da ventilação mecânica invasiva (BOLES et al., 2007; AMBROSINO; GABBRIELLI, 2010; ROSE et al., 2017). No entanto, o tempo entre a evolução dos parâmetros e a extubação pode ser longo, e pode demandar cerca de 40% do tempo ventilatório total. O tempo ideal para que a extubação de pacientes adultos ocorra é em até 14 dias, e após esse período a traqueostomia é o procedimento mais indicado (LIN et al., 2015; EL-ANWAR et al., 2017).

Para que a extubação ocorra de forma mais segura, o paciente deve apresentar resolução do quadro clínico que ocasionou a necessidade de suporte ventilatório, estabilidade hemodinâmica, adequado nível de consciência, capacidade de proteção de vias aéreas, drive respiratório e trocas gasosas preservadas (HOWIE; DUTTON, 2012; BOBBS et al., 2019). Além disso, uma avaliação adequada previamente a extubação deve ser realizada, por meio de métodos e técnicas disponíveis na prática clínica hospitalar. Para isso são disponíveis algumas formas de avaliação, comumente conhecidas como índices preditivos de desmame, que são considerados indicativos de possível sucesso na extubação de pacientes críticos (HUARINGA et al., 2013; EL-BARADEY; EL-SHMAA; GANNA, 2015; MABROUK et al., 2015).

O teste de respiração espontânea (TRE) é considerado um dos índices preditivos de desmame mais utilizados na prática clínica e pode ser realizado com auxílio de um tubo T conectado a uma fonte de oxigênio ou com o paciente em parâmetros ventilatórios mínimos em modo de pressão de suporte. Os pacientes podem ficar de 30 minutos à 2 horas em TRE, e se mantida adequada ventilação, troca gasosa e estabilidade hemodinâmica, eles são considerados aptos para a extubação (KHAMIEES et al., 2001; MAHUL et al., 2016; THILLE et al., 2020). No entanto, cerca de 20% dos pacientes que apresentam sucesso quando submetidos a este teste, apresentam falha ventilatória após a retirada da via aérea artificial (KULKARNI; AGARWAL, 2008; DEAB; BELLANI, 2014; SUBEDI et al., 2016). Já o índice de respiração rápida e superficial (IRSS) é um dos testes que apresenta resultados mais objetivos, por correlacionar os valores de volume corrente e a frequência respiratória (VT/ FR). Valores abaixo de 105 ipm/min/l são associados a maiores chances de sucesso após a extubação, devido a capacidade do paciente manter a ventilação adequada após a retirada do suporte ventilatório (KARTHIKA et al., 2016; GOHARANI et al., 2019; MUNSHI et al., 2020).

O teste do *cuff* ainda divide opiniões e muitos autores afirmam que sua avaliação de forma isolada é incapaz de prever sucesso na extubação de pacientes críticos (ANI; FEENEY, 2015; LEWIS; ALHAZZANI, 2017; PATEL; SCHNELL et al., 2019). A presença de edema de glote após a retirada da via aérea artificial é um dos principais fatores que acarretam a falha na extubação. A ausência de escape de ar quando o *cuff* é desinsuflado, é muitas vezes indicativo de presença de edema, possibilitando a otimização de corticoides para que a falha na retirada do suporte ventilatório seja minimizada. Valores de escape de ar entre 10 e 20% são correlacionados a maiores chances de sucesso na extubação, no entanto o teste do *cuff* ainda é considerado um índice subjetivo (SAHBAL et al., 2017; HASAN; AHMED, 2019). Já a pressão inspiratória máxima, ou P<sub>imáx</sub>, representa a capacidade da musculatura inspiratória do paciente de gerar força. Os valores são obtidos após três tentativas e muitos autores relatam que pacientes que apresentam resultados abaixo de -30cmH<sub>2</sub>O, apresentam baixas condições de se manterem em ventilação espontânea após a retirada da via aérea artificial (NEWTH; HOTZ; KHEMANI, 2020; VU et al., 2020). No entanto, para que se tenha uma maior acurácia, a pressão inspiratória máxima deve ser mensurada de forma conjunta com outros índices preditivos de desmame (SAVINO et al., 2014; OUELLETTE et al., 2017; FAHMY; KINAWY, 2019).

## **2.4 Relação entre o sucesso e a falha na extubação**

Os pacientes submetidos a ventilação mecânica invasiva, que se encontram com parâmetros mínimos em modo ventilatório espontâneo, estáveis hemodinamicamente, com causa da insuficiência respiratória corrigida, níveis de consciência adequados, proteção de vias aéreas eficaz e adequada troca gasosa, devem ser avaliados para que sejam extubados o mais precocemente possível (NITTA et al., 2019; QUINTARD et al., 2019). O sucesso na extubação não depende apenas de condições clínicas favoráveis, mas de uma avaliação precisa da função respiratória antes da retirada da via aérea artificial (HIGGS et al., 2018; SAEED; LASRADO, 2020). Para que isso ocorra o teste de respiração espontânea, pressão inspiratória máxima, teste do *cuff* e índice de respiração rápida e superficial são utilizados. Apesar de serem amplamente requisitados na prática clínica e no *checklist* das unidades de terapia intensiva, muitos resultados obtidos nessas avaliações são subjetivos e em alguns casos não são capazes de prever sucesso após a retirada da via aérea artificial (HOWIE; DUTTON, 2012; TU et al., 2018; BOBBS et al., 2019).

Muitos pacientes ainda apresentam falha na extubação e necessitam retornar ao suporte ventilatório invasivo em até 48 horas após a retirada da via aérea artificial (EPSTEIN, 2004; SAUGEL et al., 2012). O insucesso na extubação é multifatorial, mas tem como causas mais frequentes a insuficiência respiratória após a retirada da pressão positiva, obstrução laríngea, sangramentos excessivos, broncoespasmo e efeitos colaterais de medicamentos utilizados durante a internação (AGARWAL, 2008; CHENG et al., 2011; KULKARNI; THILLE; CORTÉS-PUCH; ESTEBAN, 2013). Pacientes que necessitam retornar a ventilação mecânica invasiva, apresentam índices de mortalidade significativamente superior, além de complicações advindas de uma nova intubação, como infecções pulmonares, maior comprometimento da musculatura respiratória, maior dificuldade de uma nova extubação, além de internação por um período prolongado e maiores custos aos serviços de saúde (FRUTOS-VIVAR et al., 2011; SURASERANIVONG et al., 2018).

## **2.5 Métodos de avaliação mais precisos**

Apesar dos índices preditivos de desmame contribuírem na tomada de decisão dos profissionais de saúde sobre o momento ideal para que ocorra a extubação de pacientes

críticos, em algumas situações, seus resultados subjetivos não são suficientes para prever sucesso na retirada da via aérea artificial e podem acarretar as complicações advindas de uma nova intubação (SAUGEL et al., 2012; ASEHNOUNE et al., 2017; STEIDL et al., 2017). Para minimizar esses riscos, novas formas de avaliação passaram a ser estudadas, dentre elas os métodos de diagnóstico de imagem (DININO et al., 2014; BAESS et al., 2016; FARGHALY; HASAN; MAKHLOUF, 2018; SOLIMAN et al., 2019). Apesar da radiografia de tórax ser comumente realizada nas unidades de terapia intensiva e constar como um item essencial previamente a extubação, a ressonância magnética nuclear e a tomografia computadorizada ainda são consideradas “padrão ouro” dentre os exames de imagem, devido a alta sensibilidade e especificidade na identificação e exclusão de diagnósticos ( FARGHALY; HASAN; MAKHLOUF, 2018; PALKAR et al., 2018).

Apesar de serem considerados métodos de diagnóstico de imagem de alta qualidade, a ressonância e a tomografia não são consideradas formas viáveis e práticas de avaliação para constarem na rotina clínica e no *checklist* dos itens necessários para a retirada do suporte ventilatório de pacientes críticos. Isso se deve por serem métodos de alto custo, que expõe os pacientes a radiação ionizante e que necessitam de transporte do paciente ao local da realização do exame ( NATALIN et al., 2010; EMERY et al., 2013). Em contrapartida, o ultrassom tem se mostrado um instrumento complementar eficaz na avaliação previamente a extubação de pacientes críticos, que apresenta sensibilidade e especificidade elevadas, além de inúmeras vantagens quando comparado a outros métodos (HAJI et al., 2018; TENZA-LOZANO et al., 2018; ZHANG; TEOH; KRISTENSEN, 2020a).

## **2.6 Ultrassom**

O ultrassom é um método de diagnóstico de imagem utilizado há cerca de 70 anos e que se encontra em constante evolução. O primeiro relato de sua utilização como uma ferramenta diagnóstica, ocorreu em 1942 na tentativa de visualização de tumores cerebrais ( KENDALL; HOFFENBERG; SMITH, 2007; CARSON; FENSTER, 2009). A formação e visualização da imagem ocorre devido a propagação de uma onda sonora causada pela vibração de suas partículas em um meio líquido, sólido ou em tecidos, com uma frequência superior à audível pelos ouvidos humanos (STAWICKI; BAHNER, 2015; BARJAKTAREVIC et al., 2021). Com os avanços obtidos na qualidade de imagem que o ultrassom fornece, devido aos elementos piezoelétricos presentes nos transdutores,

ocorreu um aumento da busca dos serviços de saúde em cuidados intensivos a esse instrumento (GENOVESE, 2016; PASCARELLA et al., 2020)

Apesar de alguns métodos de diagnóstico de imagem, como ressonância nuclear magnética e tomografia computadorizada serem consideradas padrão ouro na rotina hospitalar, o ultrassom apresenta inúmeras vantagens quando comparado a estes outros métodos (MOORE; GARDINER, 2020; BARJAKTAREVIC et al., 2021). Trata-se de um instrumento de baixo custo, fácil aplicabilidade, que pode ser realizado a beira leito, livre de radiação ionizante, que possibilita a visualização de uma imagem em tempo real e a identificação de estruturas profundas devido a frequências que variam de 1 a 15 MHz (GROOTE-BIDLINGMAIER; KOEGELENBERG, 2012; WINKLER et al., 2018). Além disso, possui modos de avaliação que possibilitam sua utilização por profissionais de diversas especialidades, facilitando a identificação de estruturas como vasos, coração e músculos (OGLAT et al., 2018; OÑATE MIRANDA; FREIRE; BUREAU, 2020).

O modo A, ou de amplitude, fornece uma imagem mais simples e é utilizado para fins diagnósticos ou terapêuticos. O modo B, possibilita a formação de uma imagem de forma bidimensional e o modo M, ou de movimento, é utilizado na verificação da movimentação das estruturas avaliadas. Já o modo *Doppler* é indicado para medir e visualizar o fluxo sanguíneo (CAROVAC; SMAJLOVIC; JUNUZOVIC, 2011; TAVARES et al., 2019). O ultrassom apresenta alta sensibilidade na identificação de condições patológicas, como consolidações pulmonares e alta especificidade na exclusão de alguns diagnósticos, como pneumotórax. É uma ferramenta que apresenta alta precisão e confiabilidade, quando realizado por profissionais treinados (FARGHALY; HASAN; MAKHLOUF, 2018; PALKAR et al., 2018). No entanto, assim como diversos outros instrumentos de avaliação, o ultrassom necessita de adequada calibração, manutenção e manuseio (DUBÉ et al., 2017; CAPPELLINI et al., 2020). Por todas as vantagens apresentadas, o ultrassom surgiu como uma possibilidade de método de avaliação complementar na extubação de pacientes em estado crítico (BANERJEE; MEHROTRA, 2018a; RAMAKRISHNAN; SIDDIQUI, 2018).

## **2.7 Ultrassom diafragmático**

### **2.7.1 Aspectos anatômicos e funcionais do diafragma**

O diafragma é um músculo em forma de cúpula, que se situa na cavidade torácica, entre o tórax e o abdome. Anatomicamente, apresenta uma porção tendinosa central

denominada centro frênico e três porções musculares periféricas denominadas como esternal, costal ou lateral e lombar (BORDONI; ZANIER, 2013; WALLDEN, 2017). O músculo origina-se anteriormente ao processo xifoide do esterno e nas superfícies internas das seis últimas costelas, além do transverso do abdômen. Já posteriormente, sua parte costal se origina nos ligamentos arqueados medial e lateral, corpos vertebrais L2 à L4 e ligamento longitudinal anterior e se encontram em um tendão central, onde todas as porções estão inseridas (KARDON, 2013; FOGARTY; SIECK, 2019; MERRELL). Funcionalmente, o diafragma se divide em região crural e região costal, sendo que a parte costal é de extrema importância para a constituição da zona de aposição do músculo durante a inspiração, que é considerado o espaço entre a superfície interna da caixa torácica e as fibras costais diafragmáticas (TROYER; WILSON, 2016).

A contração diafragmática ocorre por estímulo da inervação frênica originada das raízes de C3- C5. O músculo é composto por cerca de 55% de fibras musculares tipo I que geram uma contração lenta e apresentam alta resistência a fadiga, e 45% de fibras musculares tipo II, que apresentam contrações mais rápidas e uma menor resistência a fadiga (GRANSEE; MANTILLA; SIECK, 2012; MCCOOL; TZELEPIS, 2012). Para que ocorra a inspiração é necessária a integridade do eixo neuromuscular, onde nervo vago envia estímulos aos neurônios inspiratórios distribuídos na região bulbar, e isso acarreta estímulo dos nervos frênicos e intercostais (PICKERING; JONES, 2002; PEÑUELAS et al., 2019). Sua contração gera uma força de orientação caudal sobre o centro tendíneo que causa diminuição da pressão intratorácica, aumento da pressão abdominal e deslocamento da região anterior do abdome para fora, e a contração das fibras costais gera um deslocamento cranial das costelas, possibilitando a expansão torácica por meio do adequado movimento toraco-abdominal (MERRELL; KARDON, 2013; FOGARTY; MANTILLA; SIECK, 2018).

### **2.7.2 Aspectos metodológicos e técnicos do ultrassom diafragmático**

O ultrassom tem sido apontado como um bom preditor para determinar os resultados da extubação de pacientes em estado crítico, complementando a avaliação convencional realizada com os métodos preditivos de desmame ventilatório (DININO et al., 2014; FARGHALY; HASAN, 2017; HAJI et al., 2018). A capacidade contrátil e a movimentação adequada da musculatura respiratória estão associadas a maiores chances de liberação precoce da ventilação mecânica invasiva. No entanto, a necessidade de repouso prolongado dessa musculatura acarreta diminuição das fibras musculares, dos

sarcômeros, da área de secção transversa e da capacidade de gerar volume corrente (FORMENTI, 2016; ALI; MOHAMAD, 2017; UMBRELLO; ZAMBON et al., 2017). O diafragma é responsável por cerca de 70% do trabalho inspiratório e é o músculo mais afetado durante o período de suporte ventilatório (JABER et al., 2011; GOLIGHER; FERGUSON; BROCHARD, 2016).

O ultrassom é um instrumento de diagnóstico por imagem que permite a visualização a beira leito de diversas estruturas e possibilita a adoção de condutas dos profissionais de forma mais precoce (MICHALKE, 2012; WHITSON; MAYO, 2016). A avaliação diafragmática é realizada em âmbito hospitalar para que se possa avaliar as condições musculares por meio da movimentação e espessamento do diafragma. O movimento anormal do diafragma pode caracterizar lesão do nervo frênico, doenças neuromusculares, assim como a diminuição da espessura diafragmática pode indicar atrofia do músculo. Para isso, estão disponíveis sondas convexas e lineares, com frequências entre 2,0 à 5,0 MHZ e 7,0 a 10,0 MHZ, sendo que as frequências mais altas, possibilitam a obtenção de uma imagem com melhor qualidade, de estruturas mais superficiais. As frequências mais baixas permitem a visualização de estruturas mais profundas, porém, com diminuição da qualidade da imagem. A melhor visualização do diafragma, é em posição supina, com a cabeceira elevada entre 30-45° (MCCOOL; MINAMI, 2015; UMBRELLO; FORMENTI, 2016; HAAKSMA et al., 2018). Para que se obtenha resultados mais fidedignos e precisos, é necessário treinamento da equipe responsável para que se adquira maior domínio das técnicas realizadas (BOON et al., 2013; DUBÉ et al., 2017; CAPPELLINI et al., 2020).

### **2.7.3 Espessamento diafragmático**

Identificar o espessamento diafragmático e sua movimentação adequada se tornaram itens essenciais para verificação de possíveis alterações causadas na musculatura respiratória após um tempo prolongado sob ventilação mecânica invasiva (FRANCIS; HOFFER; REYNOLDS, 2016; DHUNGANA et al., 2017; NAKANISHI et al., 2019). A espessura diafragmática é melhor visualizada com uma sonda linear, posicionada na linha axilar média, entre o 8° e 10° espaços intercostais, visto que o diafragma é circundado por tecidos moles e fica paralelo a superfície da pele (LLAMAS-ÁLVAREZ; TENZA-LOZANO; LATOUR-PÉREZ, 2017; DRES; DEMOULE, 2020).

O diafragma é visualizado a uma profundidade de dois a quatro centímetros, e são identificadas três camadas do músculo, sendo que duas aparecem de forma hiperecogênica, sinalizando a pleura e a membrana peritoneal e uma aparece de maneira hipoeecogênica, representando a camada muscular diafragmática (BORDONI; ZANIER, 2013; TUINMAN et al., 2020). Quando o diafragma se contrai ativamente, sua espessura aumenta e é possível quantificar a atividade contrátil do músculo por meio da fração de seu espessamento. Esse valor é obtido por meio de uma medida realizada desde o centro da linha pleural até o centro da linha peritoneal, utilizando uma fórmula obtida a partir da capacidade residual funcional até a capacidade pulmonar total, por meio da análise da espessura do diafragma na inspiração (Edi) e na expiração (Ede), ou seja,  $(Edi - Ede/Ede) \times 100$  (GOLIGHER; FERGUSON; BROCHARD, 2016; THIMMAIAH; MJ; JAIN, 2016; MCCOOL; OYIENG'O; KOO, 2020)

#### **2.7.4 Excursão diafragmática**

O modo M é utilizado para avaliação do deslocamento diafragmático (EL-HALABY et al., 2016; UMBRELLO; FORMENTI, 2016). Para uma adequada visualização da excursão do diafragma, o paciente deve estar sentado e uma sonda convexa com menores frequências, entre 3-5 MHz, deve ser posicionada entre as linhas hemiclavicular, linha axilar e área subcostal. Quando o diafragma se contrai adequadamente, sua movimentação ocorre no sentido onde encontra-se posicionada a sonda (BOUSSUGES et al., 2020; SCHEPENS; FARD; GOLIGHER, 2020). Já o fígado e o baço são órgãos situados abaixo do diafragma e podem ser utilizados como janelas acústicas para avaliação da movimentação do principal músculo inspiratório. No entanto, a visualização da hemicúpula esquerda pode ser mais difícil, devido ao fato do baço apresentar uma pobre janela acústica (BARBARIOL et al., 2015; TUINMAN et al., 2020). A ultrassonografia realizada no modo M também é capaz de identificar a presença de paralisia diafragmática, onde os achados ultrassonográficos encontrados são imobilidade diafragmática caudal ou movimento paradoxal (EPELMAN et al., 2005; DUNCAN, 2016).

#### **2.7.5 Índice diafragmático de respiração rápida e superficial**

Frequentemente o índice de respiração rápida e superficial (IRRS) ou índice de Tobin, é utilizado em ambientes hospitalares de cuidados intensivos na avaliação

previamente a extubação de pacientes críticos (SOUZA; LUGON, 2015; GOHARANI et al., 2019). O índice traz a correlação entre volume corrente e frequência respiratória (FR/VT), e resultados abaixo ou acima de 105 respirações/ min/ L são considerados preditores de sucesso e falha na extubação (TOBIN; LAGHI; BROCHARD, 2009). No entanto, assim como outros índices preditivos de desmame, o índice de Tobin apresenta baixos valores de sensibilidade e especificidade, podendo gerar resultados inadequados devido à baixa acurácia (TRIVEDI et al., 2022).

Como estudos prévios associaram a avaliação do diafragma com bons resultados de desmame ventilatório, a proposta de um índice combinado aos resultados do ultrassom é considerada um possível preditor de sucesso na extubação de pacientes críticos (SPADARO, 2016; ABBAS et al., 2018). Os valores obtidos de excursão diafragmática durante avaliação do ultrassom, associados a frequência respiratória (FR/DE) podem minimizar os vieses de resultados de extubação, visto que a falha no desmame é multifatorial, incluindo a disfunção diafragmática (MOWAFY; ABDELGALEL, 2018).

### **2.7.6 Principais limitações da ultrassonografia diafragmática**

Apesar de todas as vantagens quando comparado a outras formas de diagnóstico por imagem, o ultrassom também possui suas limitações. A forma de avaliação e a interpretação das imagens obtidas requerem avaliadores com experiência ou treinados para que se tenham diagnósticos mais precisos (FARGHALY; HASAN, 2017; LLAMAS-ÁLVAREZ; TENZA-LOZANO; LATOUR-PÉREZ, 2017; PALKAR et al., 2018). A avaliação diafragmática é favorecida por janelas acústicas geradas pelo fígado e baço. No entanto, o baço é considerado um órgão que fornece baixa janela acústica, dificultando a avaliação da hemicúpula diafragmática esquerda (BARBARIOL et al., 2015; GÖBL et al., 2017; TUINMAN et al., 2020). Além disso, a falta de padronização de pontos de corte para valores de fração de espessamento diafragmático e do deslocamento do músculo dificultam a tomada de decisão e a acurácia dos valores obtidos, como mostra a tabela 1 (MATAMIS et al., 2013; SARWAL; WALKER; CARTWRIGHT, 2013).

Tabela 1 - Pontos de corte de valores de deslocamento do diafragma e da fração de espessamento diafragmático indicados previamente à extubação

Estudos	Posição do paciente Posição da sonda Modo	Medidas	Valores de referência
<i>Dinino et al. (2014)</i>	Semi reclinada Modo B: sonda linear, ZA à caixa torácica linha axilar média (8° e o 10° espaços intercostais)	Espessamento diafragmático	FED: >30% Tde exp. > 17.0 mm
<i>Farghaly; Hasan, 2016</i>	Semi reclinada Modo B: sonda linear, ZA à caixa torácica linha axilar anterior e a linha axilar média (8° e o 9° espaços intercostais) Modo M- abaixo da margem subcostal direita	Espessamento diafragmático  Excursão diafragmática	FED: >34% Tdi insp.> 21.0 mm Tde exp.: >10.5 mm ED: >10.5
<i>Baess et al., 2016</i>	Semi reclinada Modo B e modo M: abaixo da margem costal direita em uma linha hemiclavicular ou nos últimos dois espaços da linha axilar anterior	Espessamento diafragmático  Excursão diafragmática	Tdi insp >41 mm Tde exp.> 33.0 mm FED < 30 ED >1.5 cm
<i>Zhang et al., 2019</i>	Semi reclinada Modo M: área subcostal entre as linhas axilar anterior e hemiclavicular	Excursão diafragmática	ED >1.72 cm
<i>Abdelwahed et al., 2019</i>	Semi reclinada Modo B e Modo M: sonda linear, ZA à caixa torácica linha axilar média (8° e 10° espaços intercostais)	Espessamento diafragmático	DTF>30

Adaptada de Santana et al. (2020)

Legenda:\*Tdi insp: espessamento diafragmático no final da inspiração; Tde exp: espessamento diafragmático; ED: excursão diafragmática; ZA: zona de aposição diafragmática.

## 2.8 Ultrassom pulmonar

### 2.8.1 Aspectos anatômicos e funcionais do pulmão

O sistema respiratório é dividido em trato respiratório superior, que incluem as estruturas localizadas fora do tórax, como nariz, seios nasais, boca, faringe e laringe e trato respiratório inferior, que incluem os órgãos presentes dentro da caixa torácica, representados pelos pulmões, traqueia e suas bifurcações (SHAH, 2015; LESLIE; WICK, 2018; PATWA). Os pulmões começam na parte inferior da traqueia e estão ligados por brônquios advindos de sua bifurcação. Além disso, as ramificações da traqueia em brônquios, bronquíolos e alvéolos geram a árvore brônquica. Os alvéolos são similares a

pequenos sacos de ar e são responsáveis pela troca gasosa nos pulmões (EFFROS, 2006; GANAPATHY et al., 2018).

Os pulmões estão localizados dentro da caixa torácica e são circundados pelo esterno, costelas e vértebras que fornecem proteção aos órgãos. Apesar dos pulmões direito e esquerdo serem similares, eles apresentam características morfológicas distintas. Ambos possuem um ápice, base, superfícies costal e medial, além de bordas anterior, posterior e inferior (JAVAN; HERRIN; TANGESTANIPOOR, 2016; CUPELLO et al., 2017; VERSCHAKELEN; DE WEVER, 2018). No entanto, o pulmão direito possui três lobos chamados de anterior, médio e inferior, que são divididos por duas fissuras denominadas oblíqua e horizontal. Já o pulmão esquerdo possui apenas um lobo anterior e um inferior e são divididos por uma fissura oblíqua. Além disso, cada lobo apresenta um número de segmentos distintos, que estão associados aos brônquios segmentares específicos (MARTIN; FRIJA; BURGEL, 2013; PROTTI et al., 2015).

A pleura visceral encontra-se aderida aos pulmões, enquanto a pleura parietal reveste a caixa torácica, mediastino, vértebra cervical inferior e diafragma. A presença de um fluido seroso em uma cavidade existente entre as pleuras, permite que o deslocamento entre elas ocorra e minimiza o impacto gerado por essa movimentação durante a respiração ( SHAH, 2015; GANAPATHY et al., 2018; LESLIE; WICK, 2018; PATWA). Os pulmões recebem inervação advinda dos plexos pulmonares, onde o estímulo simpático é oriundo dos troncos simpáticos e geram broncodilatação, vasoconstrição e inibição de secreção glandular. Já o estímulo parassimpático ocorre do nervo vago, que estimula a broncoconstrição e vasodilatação e estímulo de secreção glandular (AVEN; AI, 2013; DE VIRGILIIS; DI GIOVANNI, 2020).

### **2.8.2 Aspectos metodológicos e técnicos do ultrassom pulmonar**

Assim como a avaliação diafragmática influencia na tomada de decisão frente o momento ideal da extubação de pacientes em estado crítico, a avaliação pulmonar a beira leito pode contribuir para identificação de alterações no parênquima pulmonar que podem acarretar falha após a retirada do suporte ventilatório (SOUMMER et al., 2012; BOUHEMAD et al., 2015). Inicialmente o ultrassom não era utilizado com um método diagnóstico de imagem para avaliação das condições pulmonares, visto que a presença de ar tornava as ondas sonoras incapazes de gerar imagens, pela completa reflexão do feixe

ultrassônico ( PIETTE; DAOUST; DENAULT, 2013; GARGANI; VOLPICELLI, 2014). No entanto, a presença de algum fluido fisiológico ou patológico, permite a visualização de artefatos que possibilitam a análise da função e condição pulmonar (MEZIÈRE; SEITZ, 2009; CAROVAC; SMAJLOVIC; JUNUZOVIC, 2011; LEE, 2016; LICHTENSTEIN). Em pulmões que apresentam condições normais, é visualizada apenas uma linha horizontal hiperecótica, que representa a pleura, chamada de linha A. Já a presença de linhas hiperecóticas dispostas de forma vertical, podem ser vistas quando há diminuição da aeração pulmonar e possível síndrome intersticial, indicando alterações patológicas no pulmão analisado (MILLER, 2016; RAMBHIA et al., 2017). Esses artefatos são chamados de linhas B e estão pouco presentes em pulmões saudáveis. Além disso, o ultrassom apresenta 100% de especificidade para exclusão de diagnósticos como pneumotórax, quando identificadas as linhas verticais B (GARGANI; VOLPICELLI, 2014; TUINMAN et al., 2020).

Assim como o ultrassom diafragmático, diversos tipos de sondas estão disponíveis para avaliação pulmonar. Como as sondas de alta frequência permitem uma melhor visualização de estruturas superficiais, apenas a pleura anterior e seu movimento podem ser identificadas. O transdutor mais indicado para a avaliação pulmonar, é a sonda convexa, com frequências que variam entre 3 a 5 MHz, e possibilitam a identificação de estruturas mais profundas devido à alta penetração alcançada (GARGANI; VOLPICELLI, 2014; PIETTE; DAOUST; DENAULT, 2013). O melhor posicionamento para avaliação pulmonar é em decúbito dorsal e uma varredura adequada é indicada avaliando pelo menos três pontos em cada pulmão, posicionando a sonda entre os espaços intercostais, evitando as costelas (BOUHEMAD et al., 2015; MOJOLI et al., 2019). Na varredura anterior do tórax, são analisadas as regiões anterossuperior e anteroinferior. Já na região lateral são analisadas as regiões laterais superior e inferior, enquanto a varredura posterior possibilita a visualização das regiões posterossuperior e posteroinferior. Quando posicionada longitudinalmente, a sonda possibilita a visualização das costelas superiores, inferiores e a linha pleural. No entanto a melhor identificação da linha pleural ocorre com o posicionamento oblíquo da sonda, ao longo dos espaços intercostais (DEMI; EGAN; MULLER, 2020; LICHTENSTEIN, 2014; ROUBY et al., 2018; SOLDATI; SHER, 2009).

### **2.8.3 Deslizamento pleural**

As pleuras parietal e visceral aparecem como linhas ecogênicas e seu deslizamento é mais facilmente visualizado com uma varredura longitudinal, sendo identificado como um movimento para trás e para frente partindo da linha pleural, quando as pleuras se deslocam uma sobre a outra durante a respiração (GROOTE-BIDLINGMAIER; KOEGELENBERG, 2012; SARAOGI, 2015). Em modo M, um sinal comumente conhecido como “sinal de litoral” é visualizado durante a movimentação das pleuras. Acima da linha pleural são visualizadas linhas horizontais geradas pelo tecido subcutâneo e abaixo dela será identificada uma aparência arenosa, característica da movimentação pulmonar (GARGANI; VOLPICELLI, 2014; MILLER, 2016).

### **2.8.4 Condições patológicas**

Já em condições anormais, vários sinais citados na literatura caracterizam alterações no parênquima pulmonar. Um sinal conhecido como “sinal do código de barras” pode estar presente no exame de imagem, onde são visualizadas linhas retas horizontais indicativas de condições patológicas como pneumotórax, representando a ausência do deslizamento pleural (HWANG et al., 2018; VOLPICELLI et al., 2012). Já um sinal sinusoide pode ser visto durante a movimentação pulmonar, quando há presença de líquido durante o deslocamento das pleuras, característico de derrame pleural (SIKORA et al., 2012; BROGI et al., 2017) . A presença de três ou mais linhas B separadas por menos de 3 mm, representam o espessamento dos septos interlobulares, em condições como consolidações pulmonares e doenças intersticiais. O acometimento pulmonar pode ser difuso ou localizado e a adequada identificação dos artefatos possibilitam diagnósticos mais precisos (LICHTENSTEIN, 2014; NAZERIAN et al., 2015). Em condições patológicas com comprometimento difuso, podem ser citadas as pneumonias intersticiais, fibrose e edema pulmonar e síndrome do desconforto respiratório agudo. Já a síndrome intersticial alveolar associada a contusão pulmonar, pneumonia lobar ou atelectasia são características do comprometimento localizado (BLAIVAS, 2012; SOUMMER et al., 2012).

### **2.8.5 Lung Ultrasound Score**

A presença de consolidações pulmonares, como a broncopneumonia lobar, contusão pulmonar ou atelectasias lobares acarretam diminuição da aeração pulmonar e podem comprometer a tentativa de extubação de pacientes críticos (TENZA-LOZANO

et al., 2018; YADAV et al., 2019). A capacidade de identificação de alterações presentes no parênquima pulmonar e da quantificação das áreas afetadas pode resultar em minimização dos riscos associados a falha na extubação devido a condutas precoces nos casos necessários. A partir do *Lung Ultrasound Score*, é possível obter a quantificação de áreas comprometidas que apresentam diminuição da aeração pulmonar. Um pulmão normal possui artefatos horizontais em linhas A, caracterizando a aeração pulmonar adequada. Um comprometimento moderado da aeração pulmonar é visualizado quando há presença de múltiplas linhas B e bem separadas. Já uma diminuição da aeração de forma mais acentuada é caracterizada pela presença de linhas B mais próximas e a presença de consolidações pulmonares caracteriza a perda total da aeração pulmonar. São analisadas doze áreas pulmonares e os valores de referência de 0 à 36, correspondem a aeração normal e perda completa da aeração pulmonar, respectivamente (OSMAN; HASHIM, 2017; DARGENT et al., 2020; JI et al., 2020). A pontuação obtida com a avaliação ultrassonográfica a partir do *Lung Ultrasound Score*, pode ser vista na tabela 2.

Tabela 2 – Pontuação do *Lung Ultrasound Score*

Pontos para zonas pulmonares (12 áreas)	Grau de aeração pulmonar	Padrão ultrassonográfico
0 ponto	Aeração pulmonar normal	Linha A horizontal e não mais que 2 linhas B
1 ponto	Perda moderada de aeração pulmonar	Múltiplas linhas B com distâncias regulares ou irregulares
2 pontos	Perda severa de aeração pulmonar	Múltiplas linhas B unidas
3 pontos	Perda completa de aeração pulmonar	Consolidação pulmonar
Pontuação total	Mínimo: 0	Máximo: 36

Adaptada de Osman e Hashim (2017)

## **2.8.6 Limitações da técnica de ultrassonografia pulmonar**

Devido ao fato do ar refletir completamente as ondas ultrassônicas, a interpretação das imagens obtidas com a avaliação pulmonar são mais difíceis de serem analisadas e assim como no ultrassom diafragmático, a realização do exame de imagem requer profissionais treinados e com domínio da técnica aplicada para que a sua confiabilidade aumente (PIETTE; DAOUST; DENAULT, 2013; GARGANI; VOLPICELLI, 2014; PALKAR et al., 2018). As camadas entre a sonda e o pulmão são verificadas com precisão, no entanto a região sobre a linha pleural nem sempre é facilmente identificada e muitas vezes a inadequada interpretação da imagem pode gerar diagnósticos incorretos. Além disso a falta de padronização das formas de avaliação pode diminuir a precisão da técnica (HEW; TAY, 2016; LE NEINDRE et al., 2016). Em algumas patologias que requerem avaliação mais profunda do pulmão, como pacientes com Covid-19, os resultados de imagem gerados pelo ultrassom podem não ser suficientes e surgir necessidade de confirmação diagnóstica pela tomografia computadorizada, visto que as anormalidades precisam se estender até a superfície pleural para que ocorra identificação ultrassonográfica (ARAIZA-GARAYGORDOBIL et al., 2020; KHALILI; HASELI; IRANPOUR, 2020).

## **2.9 Ultrassom no processo de extubação**

Uma análise mais complexa de diversos órgãos e estruturas previamente a extubação, por meio de exames de imagem, como a tomografia computadorizada ou a ressonância nuclear magnética, poderia contribuir com menores índices de falha e retorno dos pacientes à ventilação mecânica invasiva (MAKHLOUF, 2018; LONGHINI et al., 2019). No entanto, a dificuldade encontrada no transporte de um paciente crítico até as salas de ressonância ou tomografia e os custos gerados aos serviços de saúde, inviabilizam que essa avaliação ocorra com frequência. Além disso, a radiografia e a tomografia acarretam exposição dos pacientes à radiação ionizante, que pode gerar riscos a saúde daqueles que são submetidos a esses exames de forma recorrente (NATALIN et al., 2010; EMERY et al., 2013). Devido a esses fatores, a ultrassonografia a beira leito passou a ser cogitada e seu papel na avaliação pulmonar e diafragmática previamente a extubação começou a ser descrito (BOUHEMAD et al., 2007; MANNO et al., 2012; RAHEJA et al., 2019).

O espessamento diafragmático e sua movimentação, além da avaliação da função pulmonar, são considerados os principais preditores ultrassonográficos para prever os desfechos da extubação de pacientes críticos (SOUMMER et al., 2012; JUNG et al., 2016; FARGHALY; HASAN, 2017). A musculatura respiratória sob ventilação mecânica invasiva, pode apresentar diminuição de suas fibras e fraqueza advindas do desuso. O espessamento diafragmático avaliado por meio do ultrassom, permite a identificação da capacidade de contração muscular, produção de força e volume corrente gerado pelo diafragma (VASSILAKOPOULOS; PETROF; 2004; GOLIGHER et al., 2015). Os resultados obtidos com a ultrassonografia são comumente convertidos em uma porcentagem, conhecida como fração de espessamento diafragmático (FED). Os pontos de corte de FED ainda são bem distintos na literatura, no entanto, valores abaixo de 30% são considerados indicativos de falha na extubação (ZAMBOM et al., 2017; ELSHAZLY et al., 2020).

A excursão diafragmática pode ser mensurada pelo ultrassom por meio da utilização de seu modo “M e sua avaliação permite a identificação de possíveis alterações que possam interferir na adequada função respiratória (PALKAR et al., 2018; RAMAKRISHNAN; SIDDIQUI; 2018). Valores de excursão diafragmática abaixo de 10 mm são indicativos de falha na retirada do suporte ventilatório. Além disso, os valores obtidos com sua movimentação estão sendo associados a alguns índices preditivos de desmame, na tentativa de deixá-los menos subjetivos (MATAMIS et al., 2013; TURTON; ALAIDAROUS; WELTERS, 2019). O índice diafragmático de respiração rápida e superficial (IDRRS) corresponde a uma dessas tentativas e a tomada de decisão dos profissionais é baseada nos resultados de excursão diafragmática e nos valores de volume correntes gerados, visto que, os pacientes que apresentam a capacidade de manter adequada função respiratória após a retirada da via aérea artificial, estão mais propensos a apresentarem sucesso na extubação, e aqueles com valores baixos de mobilidade do músculo podem sugerir a presença de disfunção diafragmática induzida pelo respirador (ABBAS et al., 2018; MOWAFY; ABDELGALEL, 2018; SANG et al., 2020).

Já em relação a avaliação pulmonar, o ultrassom é utilizado para quantificar a diminuição da aeração de algumas de suas regiões, que podem estar presentes em condições patológicas como nas consolidações pulmonares e atelectasias (TENZA-LOZANO et al., 2018; YADAV et al., 2019). A diminuição da ventilação alveolar e da troca gasosa são considerados indicativos de possível falha na extubação e estão

vinculadas a áreas pulmonares menos aeradas. Após o teste de respiração espontânea, algumas regiões dos pulmões podem apresentar desrecrutamento alveolar, indicando a necessidade da manutenção do suporte ventilatório (HAJI et al., 2018; AMROUSY et al., 2020). A identificação dessas alterações é facilmente visualizada em exames de imagem simples, como a radiografia de tórax. No entanto, a quantificação das áreas afetadas só é possível com auxílio do ultrassom, por meio do *lung ultrasound score*, ou LUS (MONGODI et al., 2017; DARGENT et al., 2020; JI et al., 2020). Alguns autores apontam que valores de LUS abaixo de 13 são preditivos de sucesso na extubação de pacientes críticos. Em contrapartida, valores acima de 17 estão associados a maiores chances de sofrimento pós extubação e falha na liberação da ventilação mecânica invasiva (SOUMMER et al., 2012; OSMAN; HASHIM, 2017)

Apesar de diversos trabalhos avaliarem a utilização do ultrassom previamente a extubação, muitas lacunas ainda persistem (SOUMMER et al., 2012; DININO et al., 2014; ABBAS et al., 2018). Por se tratar de um tema novo, a utilização do ultrassom para prever os desfechos da extubação de pacientes críticos ainda não é padronizada, ocorrendo divergências de condutas, de formas de avaliação e de pontos de corte de algumas variáveis analisadas (DININO et al., 2014; DRES et al., 2020) Além disso, pelo fato de poucos estudos avaliarem a acurácia do método nas Unidades de Terapia Intensiva, poucos profissionais adotam o instrumento na avaliação previamente a extubação. Com isso, uma revisão sistemática que inclua evidências mais atualizadas por meio de novos estudos diagnósticos disponíveis, além da avaliação de novos índices obtidos com o ultrassom, pode complementar resultados já obtidos em outras pesquisas e contribuir com a tomada de decisão dos profissionais sobre utilização do ultrassom em terapia intensiva e a sua acurácia na avaliação de pacientes críticos previamente a extubação.

### **3 METODOLOGIA**

#### **3.1 Buscas eletrônicas**

Após aprovação no Registro Internacional Prospectivo de Revisões Sistemáticas (PROSPERO), foram realizadas buscas nas bases eletrônicas de dados *Pubmed*, *Embase*, *Web of Science*, *Cochrane Central* e *Science Direct*. Dois avaliadores independentes realizaram as buscas entre agosto de 2021 à março de 2022, de estudos publicados sem

restrição de datas ou idioma, combinando os descritores indexados em cada base de dados e seus respectivos sinônimos. Foram utilizados os termos: “*mechanical ventilation*”, *ultrasonography*, “*airway extubation*” e “*weaning ventilator*”, seguindo o vocabulário controlado específico de cada base eletrônica. Além disso, foram realizadas buscas na literatura cinzenta, por meio de sites de dissertações e teses sobre o respectivo tema, sites de registros de ensaios clínicos e referências encontradas em outras revisões sistemáticas visando a identificação de estudos elegíveis por meio da técnica *Snowball*.

## **3.2 Seleção dos estudos**

### **3.2.1 Critérios de inclusão**

Incluímos estudos sem restrição de data de publicação ou idioma, que avaliaram pacientes com idade superior a 18 anos, internados em Unidades de Terapia Intensiva (UTI) pública ou privada, submetidos a ventilação mecânica invasiva (VMI) por pelo menos 48 horas, em processo de desmame ventilatório, com condições clínicas estáveis, que apresentavam causa da insuficiência respiratória solucionada, que foram avaliados com o ultrassom a beira leito (diafragmático ou pulmonar) previamente a extubação e que os resultados do sucesso ou falha da retirada do suporte ventilatório estivessem descritos.

### **3.2.2 Critérios de exclusão**

Excluímos os estudos que avaliaram participantes que apresentaram diagnóstico clínico de trauma torácico, lesão cervical, paralisia diafragmática, doenças neuromusculares, gravidez ou instabilidade hemodinâmica previamente à extubação. Além disso, os estudos que não apresentaram em seus resultados os desfechos de sucesso ou falha da extubação após avaliação com ultrassom foram excluídos, bem como protocolos, anais de conferências publicados como resumos e estudos de delineamento caso-controle.

## **3.3 Extração e análise de dados**

A inclusão dos estudos e a seleção dos resultados foram obtidos por meio do *software* de gerenciamento de referências *Rayyan* (OUZZANI et al., 2016), com exclusão das duplicatas e posteriormente importação dos dados para uma planilha de Excel. As buscas foram realizadas por dois avaliadores de forma independente (L.G.O.A) e (E.M.C).

Os estudos foram inicialmente triados pelos títulos, resumos e palavras-chaves visando verificar sua elegibilidade. Os resultados foram categorizados em “sim”, “não” ou “talvez” e quando necessário, os estudos foram lidos na íntegra para determinação de sua classificação final. As divergências entre as avaliações feitas pelos dois coautores (L.G.O.A.) e (E.M.C), foram resolvidas por meio de discussões com terceiro autor (T. M. S. M.). Além disso, a ausência de informações ou de detalhes foram supridas por meio do contato com os autores dos estudos, caso fosse necessário.

Para determinar um grau de concordância entre os avaliadores utilizamos o Coeficiente de Kappa. O cálculo foi obtido por meio da subtração da “proporção observada de concordâncias”  $P(O)$ , dividida pelo total, pela “proporção esperada de concordâncias”  $P(E)$ . Após essa subtração, o valor obtido foi dividido pelo número 1 menos a “proporção observada de concordâncias”  $P(E)$ , seguindo a fórmula:  $P(O)-P(E)/1-P(E)$ . O Coeficiente de Kappa permite a identificação da concordância total entre os avaliadores (valor +1), discordância entre os juízes ou nenhuma concordância (valores entre -1 ou igual a 0).

Após identificação dos estudos incluídos, as autoras analisaram de forma independente os dados obtidos por meio de um formulário digital de extração de dados piloto projetado para esta revisão, que incluiu as características do estudo (número de identidade, primeiro autor, país, idioma, ano de publicação, tipo do estudo, nome do periódico, referências bibliográficas adicionais vinculadas ao estudo), características dos participantes do estudo (critérios de inclusão e exclusão, características clínicas, patologias e tratamentos), características do instrumento (modelo do ultrassom, forma de avaliação, variáveis estudadas) e resultados das avaliações (sucesso e falha na extubação e acurácia diagnóstica).

### **3.4 Risco de viés e qualidade metodológica dos estudos incluídos**

A ferramenta modificada de avaliação de qualidade para estudos de precisão diagnóstica, QUADAS-2 (WHITING et al., 2011), foi utilizada para avaliação do risco de viés dos estudos incluídos. A avaliação dos estudos de acurácia diagnóstica ocorreu em quatro domínios principais, sendo eles a seleção de participantes, o teste de índice, o padrão de referência e fluxo e tempo. Nos três primeiros domínios haviam dispostas perguntas sinalizadoras para avaliação dos riscos de viés relacionados, que auxiliaram na tomada de decisão dos avaliadores (L.G.O.A) e (T.M.S.M). Já o quarto domínio

apresentou questões relacionadas a preocupações com a aplicabilidade do teste. Cada domínio recebeu um julgamento de risco de viés “*low*”, “*high*” ou “*unclear*”, de acordo com o risco de viés apresentado, seguindo as questões norteadoras da ferramenta, ou incluídas pelos próprios avaliadores. No domínio de seleção de participantes, foi avaliado o risco de viés na seleção dos pacientes incluídos nos estudos. No domínio de teste de índice, a condução e/ou interpretação do método diagnóstico foram avaliadas. Já a condução e interpretação do teste de referência foram analisadas no terceiro domínio. Apenas o domínio quatro diferiu dos demais, pois foi avaliado pela aplicabilidade do teste e sua semelhança com a questão de pesquisa. Quando todas as questões norteadoras foram julgadas como “sim”, o domínio recebeu uma classificação de “baixo risco de viés”. Nos casos em que uma das questões sinalizadoras recebeu o julgamento “não”, o domínio foi classificado como “alto risco de viés”. Nos casos de ausência de informações e respostas pouco claras, as questões norteadoras foram classificadas como “incertas” e o domínio foi classificado como “preocupações não são claras” (WHITING et al., 2011).

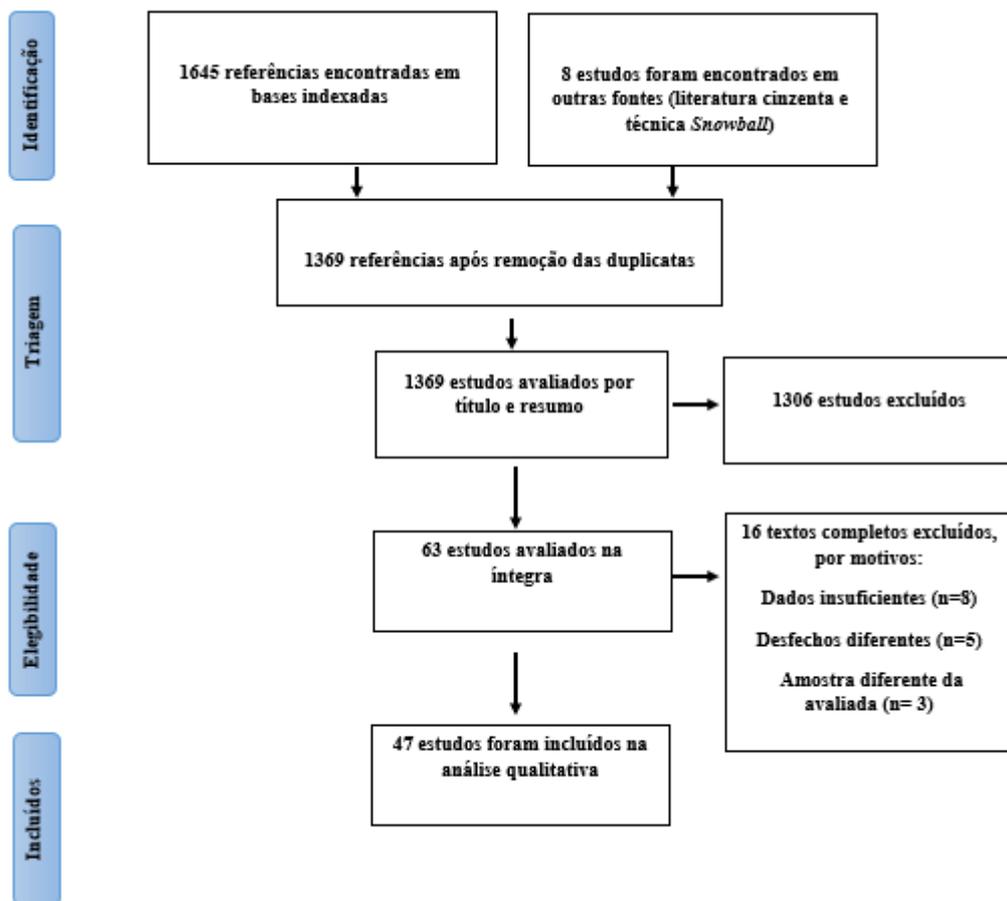
#### **4 RESULTADOS**

As buscas realizadas nas bases de dados indexadas e na literatura cinzenta resultaram em um total de 1645 referências. Outros oito estudos foram obtidos com a técnica *Snowball*. Após a remoção das duplicatas, 1369 estudos foram avaliados por título e resumo, nos quais 63 referências foram lidas na íntegra. Após a leitura na íntegra, 16 estudos foram excluídos. Foram incluídos 47 estudos que cumpriram os critérios de elegibilidade (Figura 1).

O cálculo do Coeficiente de Kappa foi realizado para avaliar a concordância entre os avaliadores e resultou em um índice de concordância de 93,62% e considerando o *Free Marginal Kappa* de 0,87, com um IC de 95%, obtivemos como resultado, uma concordância quase perfeita.

Figura 1. Diagrama de fluxo mostrando a triagem e seleção dos estudos

Figura 1. Diagrama de fluxo mostrando a triagem e seleção dos estudos



Fonte: próprios autores

As características dos estudos incluídos foram descritas na tabela 1.

Estudo/ Ano	N	País	Contexto	Duração VMI (dias)	Pontos de corte	Inclusão	Desenho do estudo
Abbas, 2018	50	Egito	UTI respiratória	8 dias	ED: $\geq 12$ mm IDRRS: $\geq 1,9$ resp/min/mm	Pacientes com DPOC no primeiro TRE	Coorte Prospectivo
Abdelwahed, 2019	65	Egito	UTI geral	7 dias	FED: $\geq 30\%$	Pacientes > 18 anos, prontos para desmame ventilatório	Coorte Prospectivo
Alam, 2022	31	Bangladesh	UTI geral	11 dias	ED: $\geq 11,43$ mm FED: $\geq 22,33\%$	Pacientes > 18 anos prontos para desmame ventilatório	Coorte Prospectivo
Ali, 2017	60	Egito	UTI geral	8 dias	FED: $\geq 30\%$	Pacientes em VMI >72 horas	Coorte Prospectivo
Baess, 2016	30	Egito	UTI geral UTI respiratória	4 dias	ED: $\geq 10$ mm FED: $\leq 30\%$	Pacientes com desmame ventilatório prolongado	Coorte Prospectivo
Banerjee, 2018	53	Índia	UTI geral	4 dias	ED: $\geq 11$ mm e FED: $\geq 18\%$	Pacientes com idades entre 18 e 50 anos	Coorte Prospectivo
Binet, 2014	51	França	UTI polivalente	N/I	LUS: $\leq 14$ e $\geq 19$ (falha)	Pacientes em VMI >48 horas	Coorte Prospectivo
Blumhof, 2016	52	Estados Unidos	UTI	6 dias	FED: $\geq 20\%$	> 18 anos em VMI >48 horas	Coorte Prospectivo
Carrie, 2017	67	França	UTI médica	9 dias	ED: $\geq 27$ mm	Pacientes em VMI >48 horas, antes do primeiro TRE	Coorte Prospectivo Multicêntrico
DiNino, 2014	63	Estados Unidos	UTI médica	4 dias	FED: $\geq 30\%$	Pacientes prontos para o TRE	Coorte Prospectivo
Dres, 2018	76	França	UTI médica	4 dias	FED: $\geq 25,8\%$	Pacientes em VMI >24 horas	Coorte Prospectivo
Eltrabili, 2019	30	Egito	UTI cirúrgica	N/I	ED: $\geq 10,4$ mm FED: $\geq 30,7\%$	VMI > 48 horas, pacientes com sepse abdominal	Coorte Prospectivo
Farghaly, 2017	54	Egito	UTI geral	5 dias	ED: $\geq 10,5$ mm e FED: $\geq 34,2\%$	Pacientes com DPOC, em VMI	Coorte Prospectivo
Fayed, 2016	116	Egito	UTI médica	N/I	FED: $\geq 29\%$	Pacientes com DPOC, em VMI	Coorte Prospectivo
Ferrari, 2014	46	Itália	Unidade de alta dependência	28 dias	FED: $\geq 36\%$	Pacientes em PSV, prontos para desmame ventilatório	Coorte Prospectivo
Haixiang, 2018	131	China	UTI geral	N/I	IDRRS: $\geq 1,65$ resp/min/mm	Pacientes em VMI > 48 horas, prontos para TRE	Coorte Prospectivo
Hayat 2017	100	Paquistão	UTI médica	7 dias	ED: $\geq 12$ mm	Pacientes prontos para desmame ventilatório	Coorte Prospectivo
Helmy 2021	22	Egito	UTI respiratória	4 dias	ED: $\geq 11$ mm	Pacientes com COVID-19, em VMI	Coorte Prospectivo
Huang, 2017	40	China	UTI médica	N/I	ED: $\geq 10,7$	Pacientes com >80 anos, em VMI >48 horas, prontos para TRE	Coorte Prospectivo
Hui, 2019	31	China	UTI médica	N/I	IDRRS: $\geq 1,8$ resp/min/mm	Pacientes em VMI prontos para desmame ventilatório	Coorte Prospectivo
Khan, 2018	90	Paquistão	UTI médica	N/I	ED: $\geq 13,5$ mm	Pacientes em VMI > 48 horas	Coorte Prospectivo
Kim, 2011	82	Coréia do Sul	UTI médica	16 dias	ED: < 14 mm	Pacientes prontos para desmame ventilatório	Coorte Prospectivo
Li, 2021	101	China	UTI médica	8 dias	LUS: 11; ED: >14 mm FED: $\geq 30\%$	Pacientes > 65 anos, prontos para desmame ventilatório	Coorte Prospectivo
Maiying 2018	40	China	UTI de emergência	N/I	IDRRS: $\geq 1,42$ resp/min/mm	Pacientes em VMI > 48 horas	Coorte Prospectivo
Mawla, 2020	90	Egito	UTI geral	N/I	ED: $\geq 13$ mm FED: $\geq 13,5\%$	Pacientes em VMI > 48 horas	Coorte Prospectivo
McCool, 2020	32	Estados Unidos	UTI médica	7 dias	FED: $\geq 30\%$	> 18 anos prontos para desmame ventilatório	Ensaio clínico

<b>Mohamed, 2021</b>	162	Egito	UTI respiratória	N/I	ED: $\geq 17$ mm; FED: $\geq 32,8\%$	Pacientes com doenças respiratórias em VMI	Coorte Prospectivo
<b>Mowafy, 2018</b>	106	Egito	UTI cirúrgica	3 dias	IDRRS: $< 1,6$ resp/ min/mm	$> 18$ anos, em VMI $> 48$ horas	Ensaio clínico
<b>Ning, 2019</b>	88	China	UTI geral	N/I	IDRRS: $< 1,73$ resp/min/mm	VM $> 48$ horas, prontos para o desmame ventilatório	Coorte Prospectivo
<b>Osman, 2017</b>	68	Egito	UTI geral	N/I	LUS: 12; ED: $\geq 10$ mm e FED: $\geq 28\%$	Pacientes em VMI prontos para desmame ventilatório	Coorte Prospectivo
<b>Palkar, 2017</b>	73	Estados Unidos	UTI geral	N/I	ED: $< 10$ mm	Pacientes em VMI prontos para desmame ventilatório	Coorte Prospectivo
<b>Palkar, 2018</b>	73	Estados Unidos	UTI geral	N/I	ED: $\geq 9,2$ mm	Pacientes em VMI prontos para desmame ventilatório	Coorte Prospectivo
<b>Pierrakos, 2021</b>	137	Bélgica; Itália; Holanda	UTI geral	N/I	LUS: 17 e 24	Pacientes em VMI	Coorte Prospectivo Multicêntrico
<b>Pirompanich, 2018</b>	34	Tailândia	UTI geral	N/I	FED: $\geq 26\%$	$> 18$ anos, VM $> 24$ horas, prontos para desmame ventilatório	Coorte Prospectivo
<b>Saeed, 2016</b>	50	Egito	UTI respiratória	6 dias	ED: $\geq 11$ mm	Pacientes com DPOC, em VMI	Coorte Prospectivo
<b>Samanta, 2017</b>	64	Índia	UTI geral; cirúrgica UTI adulto e pediátrica	12,5 dias	ED: $\geq 12$ mm FED: $\geq 24,5\%$	$> 18$ anos, VM $> 24$ horas, prontos para TRE	Coorte Prospectivo
<b>Shoair, 2016</b>	50	Egito	UTI geral	6 dias	LUS: $< 10$ e $\geq 18$ (falha)	VM $> 48$ horas, prontos para o primeiro TRE	Coorte Prospectivo
<b>Soliman, 2019</b>	100	Egito	UTI médica	N/I	LUS: $\geq 15,5$ FED: $\geq 29,5\%$	Pacientes em VMI $> 48$ horas	Coorte Prospectivo
<b>Soumer, 2012</b>	100	França	UTI geral	5 dias	LUS: $\geq 14$	Pacientes em VMI $> 48$ horas	Coorte Prospectivo
<b>Spadaro, 2016</b>	51	Itália	UTI geral	N/I	ED: $< 14$ mm $\geq 1,3$ resp/min/mm	VM $> 48$ horas, prontos para o primeiro TRE	Coorte Prospectivo
<b>Tenza-Lozano, 2018</b>	69	Espanha	UTI geral	4 dias	LUS: 7 FED: $\geq 24\%$	$> 18$ anos, VM $> 24$ horas, prontos para desmame ventilatório	Coorte Prospectivo
<b>Theerawit, 2018</b>	62	Tailândia	UTI médica UTI cirúrgica	3 dias	ED: $\geq 12,85$ mm	Pacientes prontos para o desmame ventilatório	Coorte Prospectivo
<b>Vivier, 2019</b>	191	França	UTI geral	5 dias	ED: $< 10$ mm FED: $< 30\%$	Pacientes com alto risco de reintubação	Coorte Prospectivo
<b>Yoo, 2017</b>	60	Coréia do Sul	UTI médica UTI cirúrgica	5 dias	ED: $\geq 14$ mm; FED: $\geq 30\%$	$> 18$ anos, prontos para desmame ventilatório	Coorte Prospectivo
<b>Zaytown, 2022</b>	64	Egito	UTI médica	N/I	IDRRS: $\geq 1,6$ resp/min/mm	VM $> 48$ horas, prontos para desmame ventilatório	Coorte Prospectivo
<b>Zhang, 2019</b>	131	China	UTI geral	3,5 dias	ED: $\geq 17,2$ mm e $\geq 16,3$ mm	Pacientes com DPOC	Coorte Prospectivo
<b>Zhimin, 2018</b>	76	China	UTI médica	N/I	IDRRS: $> 1,13$ resp/min/mm	Pacientes com DPOC, em VMI	Coorte Prospectivo

Legenda: UTI: Unidade de Terapia Intensiva; N/I: não informado; ED: excursão diafragmática; FED: fração de espessamento diafragmático; LUS: *Lung Ultrasound Score*; TRE: teste de respiração espontânea; VMI: ventilação mecânica invasiva; DPOC: doença pulmonar obstrutiva crônica.

Nos 47 estudos incluídos, quatro variáveis foram obtidas com a ultrassonografia à beira leito. Entre as variáveis analisadas com o ultrassom, quatro estudos avaliaram apenas o *Lung Ultrasound Score* (LUS), oito estudos avaliaram apenas a Fração de Espessamento Diafragmático (FED), seis estudos avaliaram de forma isolada o Índice Diafragmático de Respiração Rápida e Superficial (IDRRS) e 11 estudos avaliaram apenas a Excursão Diafragmática (ED). O restante dos estudos apresentou resultados de mais de um índice, sendo que três avaliaram o *Lung Ultrasound Score*, Fração de Espessamento Diafragmático e Excursão Diafragmática; um estudo apresentou resultados da Excursão Diafragmática e *Lung Ultrasound Score*; assim como um avaliou a Fração de Espessamento Diafragmático e *Lung Ultrasound Score*; dez estudos avaliaram a Fração de Espessamento Diafragmático e Excursão Diafragmática e três deles apresentaram resultados do Índice Diafragmático de Respiração Rápida e Superficial e Excursão Diafragmática. Ao todo, a excursão diafragmática foi identificada em 27 estudos, a fração de espessamento diafragmático foi apresentada em 23 estudos, em nove estudos foram descritos os resultados do *Lung Ultrasound Score*, assim como os resultados da acurácia do “Índice Diafragmático de Respiração Rápida e Superficial (IDRRS)”

O estudo de Helmy et al. (2021) apresentou 2 pontos de corte de excursão diafragmática que mostraram alta acurácia para prever sucesso na extubação de pacientes críticos. O ponto de corte de 12 mm na avaliação do hemidiafragma esquerdo apresentou os maiores valores de sensibilidade (100%) e especificidade (100%) encontrados. Já o ponto de corte de 11 mm para avaliação do hemidiafragma direito, mostrou valores de 100% de sensibilidade, 92% de especificidade e 0,996 na AUC. Apesar de vários estudos mostrarem altos valores de acurácia da excursão diafragmática, o estudo de Carrie et al. (2016), apresentou resultados negativos para as medidas obtidas com o ultrassom. Assim como no estudo de Vivier et al. (2019), onde o ponto de corte de <10 mm foi incapaz de prever a falha na extubação dos pacientes avaliados, e o índice apresentou baixos valores de sensibilidade e especificidade (0,52 e 0,54 respectivamente).

A fração de espessamento diafragmático (FED) foi avaliada em 23 estudos e seus valores de sensibilidade variaram entre 0,9 à 0,97 em 13 pontos de cortes apresentados em 23 referências. O estudo de Eltrabili (2019) apresentou o ponto de corte (>30,7%) com melhores valores de sensibilidade (94%) e especificidade (100%) para prever sucesso na extubação. Assim como na avaliação da excursão diafragmática, o estudo de

Vivier et al. (2019) também apresentou os menores resultados de sensibilidade (51%) e especificidade (41%) da fração de espessamento diafragmático para prever falha na extubação.

O *Lung Ultrasound Score* apresentou altos valores de sensibilidade em 3 estudos variando entre 0,92 e 1 entre seis pontos de corte distintos (BINET et al., 2014; SHOAEIR et al., 2015; OSMAN et al., 2017). Já em relação a especificidade, 12 pontos de corte apresentaram baixos e moderados valores, entre 0,47 à 0,87 e apenas 2 ( $LUS \leq 12$  e  $\geq 19$ ), apresentaram uma alta especificidade, entre 0,9 à 1 (SHOAEIR et al., 2016; OSMAN et al., 2017). O ponto de corte ( $\leq 12$ ) com melhores valores de sensibilidade, especificidade e AUC foi apresentado no estudo de Osman et al. (2017), com valores de 1; 0,96 e 0,94 respectivamente.

O índice diafragmático de respiração rápida e superficial apresentou como melhor ponto de corte para prever falha na extubação o valor  $\leq 1,6$  resp/min/mm, no ensaio clínico de Mowafy et al. (2021), com sensibilidade de 0,973, especificidade de 0,939 e AUC de 0,979. O mesmo ponto de corte foi avaliado nos estudos de Haixiang Zhang et al. (2018) e Zaytown et al. (2021). Os valores de sensibilidade, especificidade e AUC estão descritos na tabela 4.

Tabela 4. Pontos de corte e seus respectivos valores de sensibilidade, especificidade e AUC

Estudo/ Ano	Índice	Ponto de corte	Sensibilidade	Especificidade	AUC
Osman, 2017	LUS	<12/ sucesso extubação	1	0,96	0,942
Helmy, 2021	ED	>12 mm/ sucesso extubação	1	1	1
Helmy, 2021	ED	>11 mm/ sucesso extubação	1	0,92	0,996
Eltrabili, 2019	FED	>30,7%/ sucesso extubação	0,941	1	0,98
Mowafy, 2018	IDRRS	<1,6 resp/min/mm/ sucesso extubação	0,973	0,939	0,979
Vivier, 2019	DE	<10 mm/ falha extubação	0,52	0,54	-
Vivier, 2019	FED	<30%/ falha extubação	0,51	0,41	-

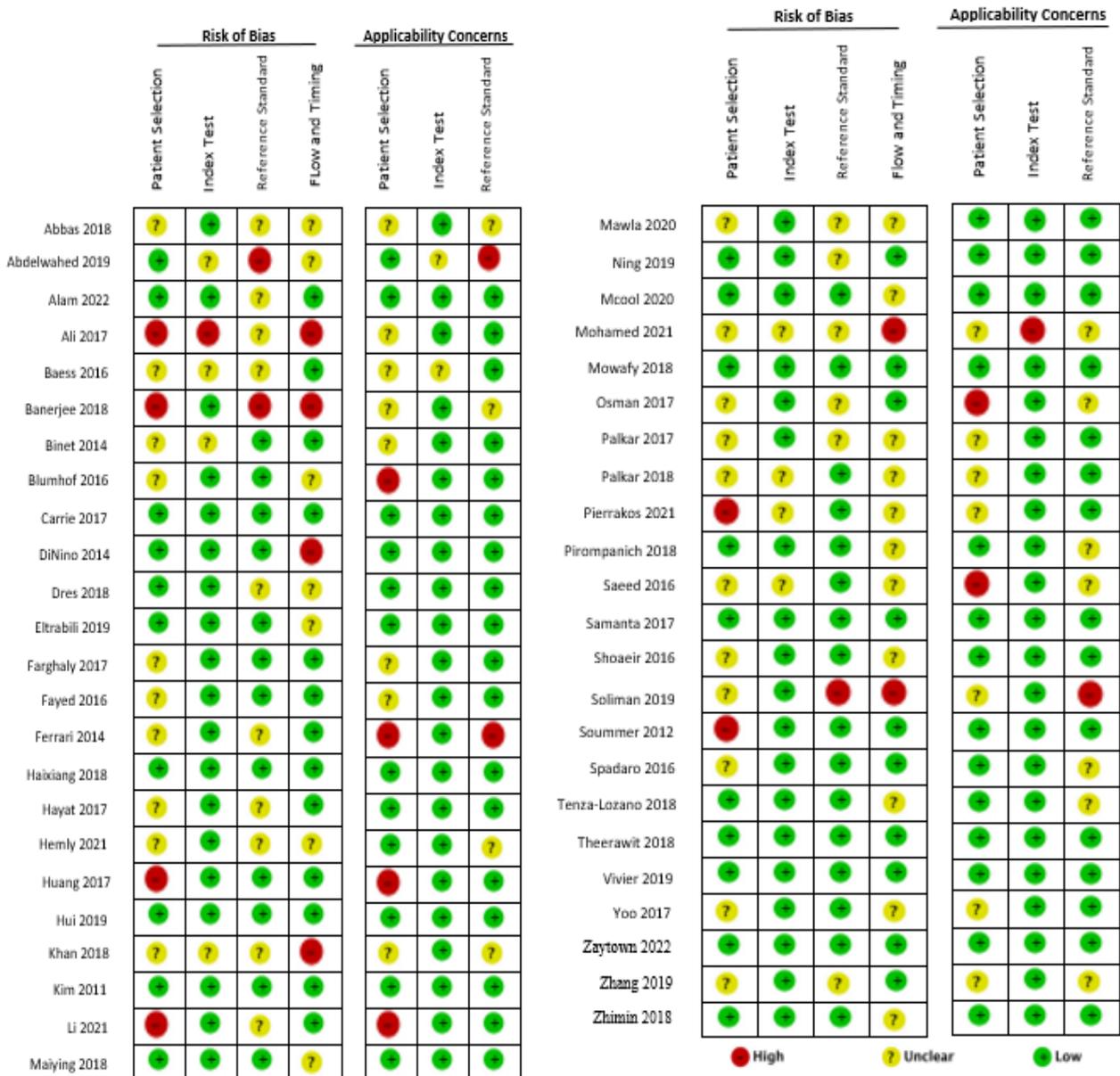
LUS: *Lung Ultrasound Score*; ED: Excursão Diafragmática; FED: Fração de Espessamento Diafragmático, IDRRS: Índice Diafragmático de Respiração Rápida e Superficial, AUC: área sob a curva ROC (*Receiver Operating Characteristics*)

Dos 47 estudos incluídos, apenas nove (KIM et al., 2011; CARRIE et al., 2017; SAMANTA et al., 2017; HAIXIANG ZHANG et al., 2018; MOWAFY; ABDELGALEL, 2018; THEERAWIT et al., 2018; VIVIER et al., 2019; FENG HUI et al., 2019; ZAYTOUN; ELSAYED; ELGHAZALY, 2021) apresentaram baixo risco de viés em todos os domínios e questões de aplicabilidade. Além disso, 35 estudos apresentaram risco pouco claro em pelo menos um dos domínios de avaliação. Já o domínio de seleção de participantes gerou alto risco de viés em 6 estudos (SOUMMER et al., 2012; ALI; MOHAMAD, 2017; HUANG et al., 2017; BANERJEE; MEHROTRA, 2018; LI; CHEN; YAN, 2021; PIERRAKOS et al., 2021), assim como o domínio de fluxo e tempo (DININO et al., 2014; ALI; MOHAMAD, 2017; BANERJEE; MEHROTRA, 2018; SOLIMAN et al., 2019; KHAN et al., 2018; MOHAMED et al., 2021). Um risco aumentado de viés ocorreu na inclusão de pacientes com condições pulmonares exclusivas, como doenças pulmonares obstrutivas crônicas ou infecção por COVID-19, aqueles com alto risco de reintubação ou idade avançada, ou estudos em que os autores avaliavam apenas a capacidade do paciente de iniciar um TRE, sem considerar outros fatores previamente a extubação (SOUMMER et al., 2012; FERRARI et al., 2014; SAEED et al., 2016; HUANG et al., 2017; LI, CHEN, YAN, 2021). Além disso, aqueles estudos que apresentavam critérios de exclusão pouco definidos, como exclusão de pacientes apenas pela faixa etária, por internação em meses prévios, pela necessidade de ventilação não invasiva antes da intubação, ou apenas pela não avaliação com teste índice também foram considerados com alto risco de viés (BLUMHOF et al., 2016; ALI; MOHAMED, 2017; BANERJEE; MEHROTRA, 2018; PIERRAKOS et al., 2021).

No domínio de teste índice, descrições detalhadas das avaliações e dos respectivos momentos em que os testes foram realizados foram descritas em 37 estudos. Apenas oito estudos apresentaram avaliações pouco claras do ultrassom pulmonar ou diafragmático (BINET et al., 2014; BAESS et al., 2016; SAEED et al., 2016; KHAN et al., 2018; PALKAR et al., 2018; ABDELWAHED et al., 2019; MOHAMED et al., 2021; PIERRAKOS et al., 2021) e dois estudos apresentaram alto risco de viés neste domínio (ALI; MOHAMED, 2017 e MOHAMED et al., 2021). Visto a ausência de teste de comparação nos estudos incluídos, utilizamos as definições de resultados de desmame ventilatório como teste de referência, seguindo os trabalhos de Lhamas-Alvarez et al. (2017) e Neindre et al. (2021). Essas definições geraram baixo viés em 43 estudos, pois as mesmas estavam claras e bem descritas. No entanto, quatro referências apresentaram

maiores preocupações, por definições inadequadas de falha na extubação ou ausência da definição de desfecho do desmame ventilatório (FERRARI et al., 2014; BANERJEE; MEHROTRA, 2018; ABDELWAHED et al., 2019; SOLIMAN et al., 2019). A maioria dos estudos apresenta lacunas sobre o tempo entre o momento da avaliação com o ultrassom até o momento da extubação, além de muitos não especificarem as causas de exclusão de pacientes da análise final (Figura 2).

Figura 2. Avaliação da qualidade metodológica e risco de viés dos estudos incluídos (QUADAS-2)



Apenas 17 estudos apresentaram resultados do índice APACHE 2 (*Acute Physiology and Chronic Health Evaluation*), que determina os índices de gravidade de pacientes em terapia intensiva a partir de critérios clínicos (KNAUS et al., 1985). As pontuações com o índice foram significativamente menores em pacientes com extubação bem sucedida (SAMANTA et al., 2017; HASAN, 2017; ELTRABILI et al., 2019; FARGHALY; LIN NING et al., 2019; ZHANG et al., 2019; HELMY et al., 2021). Já o índice da Avaliação Sequencial de Falência Orgânica, SOFA (SINGER et al., 2016), apareceu em apenas 7 estudos, confirmando menores valores de escore em pacientes liberados com sucesso da ventilação mecânica, ou sem disfunção diafragmática.

## 5 DISCUSSÃO

Os índices obtidos com os resultados da ultrassonografia diafragmática e pulmonar foram úteis na predição do desfecho da extubação de pacientes críticos em 45 estudos. A obtenção da espessura do diafragma por análise ultrassonográfica permite a análise da fração de espessamento diafragmático (FED), que se relaciona com a contração do músculo e de seu trabalho respiratório em resposta a determinada carga imposta, e auxilia no processo de diagnóstico de paralisia ou atrofia diafragmática. Apesar de não existir uma padronização sobre os valores da fração de espessamento diafragmático para prever sucesso na extubação, em um consenso recentemente publicado, especialistas em ultrassonografia diafragmática concordaram que a diminuição da espessura basal do diafragma em 10% ou mais, é considerada um adequado ponto de corte para identificação de atrofia clinicamente relevante (HAAKSMA et al., 2022).

Em nossos estudos, aqueles que apresentaram ponto de corte de FED igual ou acima a 30% apresentaram altos valores de sensibilidade e especificidade. A fração de espessamento diafragmática no estudo de Ali et al. (2016), gerou sensibilidade de 97,3%, já no estudo de McCool et al. (2020) de 80,8% e no estudo de Li et al. (2021) 94%. Em relação a especificidade, os valores obtidos foram 85,2%, 90,9% e 84%, respectivamente. Já os estudos que utilizaram pontos de corte mais baixos para prever sucesso da extubação, como 10% (BLUMHOF et al., 2016), 18% (BANERJEE; MEHROTRA, 2018), 20% (YOO et al., 2018) e 22% (ALAM et al., 2022) apresentaram redução dos valores de sensibilidade ou especificidade, visto que a acurácia do teste pode ser comprometida por fatores que aumentam as chances de falha na retirada do suporte

ventilatório, como a redução da capacidade de contração diafragmática, da força e de volume corrente gerado (DOT et al., 2017; LIPPI et al., 2019; SCHEPENS; GOLIGHER, 2019).

Apesar de valores mais elevados de FED serem mais sugestivos de sucesso no desmame ventilatório, outros fatores devem ser considerados para minimizar os riscos de falha de extubação de pacientes críticos. Como a fração de espessamento diafragmático pode apresentar diferentes resultados durante o teste de respiração espontânea, de acordo com a carga imposta pela ausência ou diminuição do suporte ventilatório, pacientes com doença cardíaca ou doença pulmonar crônica, podem apresentar altos valores de FED durante a avaliação ultrassonográfica. No entanto, esses valores podem ser obtidos por uma resposta ao aumento da carga cardiorrespiratória, imposta ao diafragma durante uma tentativa de respiração espontânea, podendo chegar resultados inadequados e decisões imprecisas de retirada da via aérea artificial, podendo aumentar as chances de falha ventilatória, como apresentado no estudo de Vivier et al. (2019).

O deslocamento do diafragma foi analisado em 27 estudos. A avaliação da mobilidade diafragmática permite a identificação de disfunções advindas do período de suporte ventilatório invasivo. Os resultados da excursão do diafragma se mostraram úteis na predição do desfecho da extubação, especialmente nos estudos que utilizaram ponto de corte acima de 10 mm. No estudo de Helmy et al. (2021), a ED apresentou 100% de sensibilidade e 96% de especificidade para prever sucesso na retirada do suporte ventilatório de pacientes críticos. Já no estudo de Abbas et al. (2016), valores abaixo de 12 mm para falha na extubação geraram sensibilidade de 92% e especificidade de 91%. O estudo de Kim et al. (2011) apresentou sensibilidade, especificidade e acurácia mais baixos, com valores de 83%, 41% e 0,61, respectivamente. O estudo de Baess (2016) apresentou resultados similares, com valores ainda mais baixos de acurácia (0,512). No entanto, os estudos que apresentaram resultados insatisfatórios, utilizaram amostras que podem ter influenciado nos desfechos negativos do método, como pacientes com disfunções diafragmáticas prévias ou tempo elevado de ventilação mecânica. Devido a diminuição do trabalho diafragmático em modos ventilatórios controlados, o tempo prolongado em suporte ventilatório gera perda de fibras musculares e de sua área de secção transversa, contribuindo para redução do deslocamento do diafragma e de sua capacidade de gerar força.

O índice de respiração rápida e superficial (IRRS) é frequentemente utilizado na prática clínica e valores abaixo de 105 rpm/ L são considerados preditores de sucesso do desmame ventilatório. No entanto, assim como os demais índices comumente utilizados, os valores de acurácia do IRRS são discutíveis (SOUZA; LUGON, 2015; KARTHIKA et al., 2016). Apesar da intolerância à retirada do suporte ventilatório ser caracterizada pelo aumento da frequência respiratória e pela presença de uma respiração mais superficial decorrente redução do volume corrente, muitos estudos demonstram que a análise isolada desses achados não é suficiente na predição de desfecho da retirada da via aérea artificial (BESCH et al., 2015). Trivedi et al. (2022) e colaboradores, em uma metanálise recente, concluíram que o IRRS apresentou moderada sensibilidade (83%) e baixa especificidade (58%) para prever sucesso na extubação de pacientes adultos. A combinação dos resultados da excursão diafragmática obtidos com o ultrassom e índice de Tobin, é considerada uma nova possibilidade para obtenção de um índice mais preciso para determinar os resultados da extubação de pacientes críticos. O índice diafragmático de respiração rápida e superficial (IDRRS) mostrou-se com alta acurácia em vários estudos quando comparado ao índice tradicional (SPADARO et al., 2016; ABBAS et al., 2018; MOWAFY; ABDELGALEL, 2018; ZHANG; TEOH; KRISTENSEN, 2020). Essa afirmação justifica-se pela possibilidade da ultrassonografia à beira leito possibilitar a identificação da redução da capacidade do diafragma de gerar volume corrente, assim como verificar a incapacidade do músculo de vencer as cargas mecânicas a ele impostas decorrentes de desordens de seu deslocamento, previamente à decisão de extubação dos pacientes avaliados.

Já o *Lung Ultrasound Score* foi um índice avaliado em poucos estudos e sua reprodutibilidade ainda não é bem descrita. No entanto, seus resultados mostram alta acurácia na exclusão e confirmação de diagnósticos de condições pulmonares que estão associadas a falha no desmame ventilatório, como atelectasias, consolidações e diminuição da aeração pulmonar, que podem comprometer os resultados da extubação. Yadav et al. (2019), avaliaram pacientes antes da extubação visando minimizar as chances de falha da retirada da via aérea artificial e 24 horas depois de sua retirada, para verificar a necessidade de retorno do suporte ventilatório. Apenas um paciente falhou na extubação e o ultrassom pulmonar se mostrou uma ferramenta útil na avaliação de pacientes críticos em VMI. Os espessamentos dos septos interlobulares e a diminuição da aeração pulmonar podem ser identificadas com LUS, caracterizadas pela presença de linhas B no exame de

imagem. No estudo de Alansary et al. (2021), pacientes que apresentavam menos que duas linhas B durante a avaliação com o LUS, apresentaram maiores chances de sucesso na retirada do suporte ventilatório. Apesar de pouco estudado, alguns estudos mostram que a avaliação pulmonar pode ser tão eficaz quanto a avaliação diafragmática na predição de resultados de desmame ventilatório, visto a possibilidade de identificação de complicações previamente a extubação, como edema pulmonar cardiogênico ou a presença de condições pulmonares patológicas (OSMAN; HASHIM, 2017; GONZÁLEZ-AGUIRRE et al., 2019).

Na avaliação com a ferramenta QUADAS-2, o domínio “critérios de seleção” gerou alto risco de viés na qualidade metodológica de seis estudos incluídos. Esses estudos incluíram exclusivamente pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC), pacientes idosos ou com alto risco de reintubação (HUANG et al., 2017; VIVIER et al., 2019; LI; CHEN; YAN, 2021). Pacientes com DPOC podem apresentar desequilíbrio entre as cargas impostas e a capacidade pulmonar, além de hiperinsuflação gerada pela doença e limitação do fluxo aéreo. Além disso, a doença pode ocasionar retificação diafragmática, que é associada à redução da zona de aposição do diafragma e redução do comprimento de suas fibras musculares (BORDONI; et al., 2016). Já o processo fisiológico de envelhecimento acarreta alterações que predispõe à falha na retirada do suporte ventilatório, como no estudo de Vivier et al. (2019), que incluiu pacientes com idade superior a 65 anos e com alto risco de reintubação. A fraqueza de musculatura respiratória, a diminuição da pressão transdiafragmática, a diminuição da movimentação costovertebral e esternal, o enrijecimento da caixa torácica, a redução de proteínas contráteis, o aumento do tecido conjuntivo, a redução da capacidade inspiratória e alterações na complacência e elasticidade dos pulmões, são alterações inerentes ao envelhecimento que podem contribuir para desfechos negativos na extubação desses pacientes (OTTENHEIJM; HUNKS; DEKHUIJZEN; 2008; ELSAWY; 2017; CAO, et al., 2022; BORDONI; MORABITO; SIMONELLI, 2020).

Smolin et al. (2020), estudaram os fatores que influenciam os desfechos de pacientes idosos em ventilação mecânica pela primeira vez. Dos 554 idosos avaliados, 64,1% evoluíram para óbito intra-hospitalar, e daqueles que sobreviveram, 14,1% permaneceram em ventilação mecânica invasiva crônica, e 13,6% evoluíram para traqueostomia. Além disso, mostraram que idades superiores à 85 anos, morbidades e alterações no estado funcional prévio, levaram a piores desfechos na extubação e

mortalidade durante o período de internação e após alta hospitalar. Já Hsu et al. (2020), realizaram um grande estudo de coorte retrospectivo, e subdividiram 7095 idosos em ventilação mecânica invasiva em 3 grupos, sendo idosos jovens com idades entre 65 e 74 anos, idosos de meia idade de 75 à 84 anos, e longevos com idades acima de 85 anos. Além de mostrarem os altos índices de mortalidade dos idosos estudados em 1 ano, o estudo mostrou que o prognóstico de pacientes com insuficiência respiratória aguda e com necessidade de suporte ventilatório invasivo, não é favorável, dando ênfase em maiores comprometimentos e riscos de idosos com idades mais avançadas.

A Avaliação em Saúde da Fisiologia Aguda e Crônica 2 (APACHE 2) e a Avaliação Sequencial da Falência Orgânica (SOFA), foram realizadas e discutidas em poucos estudos, e seus resultados podem auxiliar na determinação da gravidade de pacientes internados em Unidades de Terapia Intensiva. O estudo de Bien et al. (2016) mostrou que há uma correlação com a pontuação de scores do APACHE e SOFA, que determinam a gravidade de pacientes em UTI's, e os desfechos no desmame ventilatório. No entanto, como avaliação de forma isolada, o índice não é eficaz para prever liberação da ventilação mecânica, segundo estudo de Jarmula et al. (2017). No estudo de Saad et al. (2006), a APACHE é utilizada como ferramenta preditiva no tempo de intubação, onde baixos valores foram correlacionados a menor tempo em suporte ventilatório. Apesar de não prever com precisão o tempo exato de necessidade de ventilação mecânica invasiva, seus resultados podem auxiliar na avaliação prognóstica dos pacientes e otimizar ações preventivas nas unidades de terapia intensiva.

Apesar de resultados satisfatórios e positivos quanto a acurácia do ultrassom para prever resultados da extubação de pacientes críticos, algumas limitações também foram encontradas no estudo. O alto risco de viés em alguns domínios da ferramenta QUADAS-2 e a heterogeneidade encontrada em algumas formas de avaliação, nas amostras incluídas e nos pontos de corte apresentados, podem minimizar as chances de generalização de alguns resultados e conseqüentemente a tomada de decisão dos profissionais de saúde sobre a adoção do método nas avaliações em Unidades de Terapia Intensiva. Além disso, a capacitação dos profissionais que realizaram as avaliações ultrassonográficas foi descrita em poucos estudos, que pode ter influenciado negativamente em alguns desfechos apresentados, visto que as avaliações realizadas por profissionais inexperientes, podem gerar conclusões inadequadas, insatisfatórias e reduzir a confiabilidade entre os avaliadores. No entanto, apesar de certas limitações, o ultrassom

diagnóstico se mostrou uma nova possibilidade de avaliação previamente à retirada do suporte ventilatório de pacientes críticos. Novos estudos estão surgindo sobre o tema e podem auxiliar na implementação da ultrassonografia à beira leito nos setores de Terapia Intensiva.

## 6 CONCLUSÃO

O ultrassom pulmonar e diafragmático se mostrou útil na predição dos desfechos da extubação de pacientes em estado crítico, com altos e moderados valores de acurácia nos estudos apresentados. Os índices excursão diafragmática (ED), fração de espessamento diafragmático (FED), *Lung Ultrasound Score* (LUS) e Índice Diafragmático de Respiração Rápida e Superficial (IDRRS) apresentaram resultados objetivos, que podem contribuir nas avaliações previamente a extubação em Unidades de Terapia Intensiva, auxiliando na tomada de decisão das equipes de profissionais de saúde quanto o momento ideal para extubação de pacientes críticos. No entanto, ainda são necessários novos estudos sobre o tema, assim como a padronização dos pontos de corte e formas de avaliação realizadas com o ultrassom à beira leito.

## REFERÊNCIAS

- ABBAS, A. et al. Role of diaphragmatic rapid shallow breathing index in predicting weaning outcome in patients with acute exacerbation of COPD. **International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease**, v. 13, p. 1655–1661, maio 2018. <https://doi.org/10.2147/COPD.S161691>
- ADMI, H. et al. From Research to Reality: Minimizing the Effects of Hospitalization on Older Adults. **Rambam Maimonides Medical Journal**, v. 6, n. 2, abr. 2015. <https://doi.org/10.5041/RMMJ.10201>
- ALAM, M. J. et al. Diaphragm ultrasound as a better predictor of successful extubation from mechanical ventilation than rapid shallow breathing index. **Acute and Critical Care**, v. 37, n. 1, p. 94–100, jan. 2022. <https://doi.org/10.4266/acc.2021.01354>
- ALI, E. R.; MOHAMAD, A. M. Diaphragm ultrasound as a new functional and morphological index of outcome, prognosis and discontinuation from mechanical ventilation in critically ill patients and evaluating the possible protective indices against VIDD. **Egyptian Journal of Chest Diseases and Tuberculosis**, v. 66, n. 2, p. 339–351, abr. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ejcdt.2016.10.006>
- AMBROSINO, N.; GABBRIELLI, L. The difficult-to-wean patient. **Expert Review of Respiratory Medicine**, v. 4, n. 5, p. 685–692, out. 2010. <https://doi.org/10.1586/ers.10.58>

ARAGÓN, R. E. et al. Sedation practices and clinical outcomes in mechanically ventilated patients in a prospective multicenter cohort. **Critical Care**, v. 23, n. 1, p. 130, abr. 2019. <https://doi.org/10.1186/s13054-019-2394-9>

ARAIZA-GARAYGORDOBIL, D. et al. Lung ultrasound for the identification of COVID-19 pneumonia. **Cardiovascular and Metabolic Science**, v. 31, n. S3, p. 178–181, 2020. <https://doi.org/10.24875/ACM.M20000071>

ASEHNOUNE, K. et al. Extubation Success Prediction in a Multicentric Cohort of Patients with Severe Brain Injury. **Anesthesiology**, v. 127, n. 2, p. 338–346, ago. 2017. <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000001725>

AVEN, L.; AI, X. Mechanisms of respiratory innervation during embryonic development. **Organogenesis**, v. 9, n. 3, p. 194–198, jul. 2013. <https://doi.org/10.4161/org.24842>

BAESS, A. I. et al. Diaphragmatic ultrasound as a predictor of successful extubation from mechanical ventilation: thickness, displacement, or both? **Egyptian Journal of Bronchology**, v. 10, n. 2, p. 162–166, ago. 2016. <https://doi.org/10.4103/1687-8426.184370>

BALDWIN, C. E.; BERSTEN, A. D. Alterations in Respiratory and Limb Muscle Strength and Size in Patients With Sepsis Who Are Mechanically Ventilated. **Physical Therapy**, v. 94, n. 1, p. 68–82, jan. 2014. <https://doi.org/10.2522/ptj.20130048>

BANERJEE, A.; MEHROTRA, G. Comparison of Lung Ultrasound-based Weaning Indices with Rapid Shallow Breathing Index: Are They Helpful? **Indian Journal of Critical Care Medicine: Peer-Reviewed, Official Publication of Indian Society of Critical Care Medicine**, v. 22, n. 6, p. 435–440, jun. 2018. [https://doi.org/10.4103/ijccm.IJCCM\\_331\\_17](https://doi.org/10.4103/ijccm.IJCCM_331_17)

BARBARIOL, F. et al. Point-of-care ultrasound of the diaphragm in a liver transplant patient with acute respiratory failure. **Critical Ultrasound Journal**, v. 7, mar. 2015. <https://doi.org/10.1186/s13089-015-0021-9>

BARJAKTAREVIC, I. et al. The Evolution of Ultrasound in Critical Care. **Journal of ultrasound in medicine : official journal of the American Institute of Ultrasound in Medicine**, v. 40, n. 2, p. 401–405, fev. 2021. <https://doi.org/10.1002/jum.15403>

BEITLER, J. R.; MALHOTRA, A.; THOMPSON, B. T. Ventilator-Induced Lung Injury. **Clinics in chest medicine**, v. 37, n. 4, p. 633–646, dez. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ccm.2016.07.004>

BELONCLE, F. et al. Update in Acute Lung Injury and Mechanical Ventilation 2013. **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, v. 189, n. 10, p. 1187–1193, maio 2014. <https://doi.org/10.1164/rccm.201402-0262UP>

BERGER, D. et al. Dysfunction of respiratory muscles in critically ill patients on the intensive care unit. **Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle**, v. 7, n. 4, p. 403–412, 2016. <https://doi.org/10.1002/jcsm.12108>

BESCH, G. et al. Prospective assessment of the ability of rapid shallow breathing index computed during a pressure support spontaneous breathing trial to predict extubation

failure in ICU. **Critical Care**, v. 19, n. Suppl 1, p. 232, 2015. <https://doi.org/10.1186/cc14312>

BIEN, U. et al. Identifying APACHE II and SOFA Threshold Values that Predict Successful Weaning and Extubation from Mechanical Ventilation. In: **C51. RESPIRATORY FAILURE: HIGH FLOW OXYGEN, LIBERATION, NON-INVASIVE, AND PROLONGED VENTILATION**. American Thoracic Society International Conference Abstracts. [s.l.] American Thoracic Society, p. 529, 2016.

BISSETT, B.; GOSSELINK, R.; VAN HAREN, F. M. P. Respiratory Muscle Rehabilitation in Patients with Prolonged Mechanical Ventilation: A Targeted Approach. **Critical Care**, v. 24, mar. 2020. <https://doi.org/10.1186/s13054-020-2783-0>

BLAIVAS, M. Lung Ultrasound in Evaluation of Pneumonia. **Journal of Ultrasound in Medicine**, v. 31, n. 6, p. 823–826, jun. 2012. <https://doi.org/10.7863/jum.2012.31.6.823>

BLUMHOF, S. et al. Change in diaphragmatic thickness during the respiratory cycle predicts extubation success at various levels of pressure support ventilation. **Lung**, v. 194, n. 4, p. 519–525, 2016. <https://doi.org/10.1007/s00408-016-9911-2>

BOBBS, M. et al. Decreasing failed extubations with the implementation of an extubation checklist. **The American Journal of Surgery**, v. 217, n. 6, p. 1072–1075, jun. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2019.02.028>

BOLES, J.-M. et al. Weaning from mechanical ventilation. **European Respiratory Journal**, v. 29, n. 5, p. 1033–1056, maio 2007. <https://doi.org/10.1183/09031936.00010206>

BOON, A. J. et al. Two-dimensional ultrasound imaging of the diaphragm: Quantitative values in normal subjects. **Muscle & Nerve**, v. 47, n. 6, p. 884–889, 2013. <https://doi.org/10.1002/mus.23702>

BORDONI, B.; MORABITO, B.; SIMONELLI, M. Ageing of the Diaphragm Muscle. **Cureus**, v. 12, n. 1, p. 664, 2020. <https://doi.org/10.7759/cureus.6645>

BORDONI, B.; ZANIER, E. Anatomic connections of the diaphragm: influence of respiration on the body system. **Journal of Multidisciplinary Healthcare**, v. 6, p. 281–291, jul. 2013. <https://doi.org/10.2147/JMDH.S45443>

BOUHEMAD, B. et al. Ultrasound for “Lung Monitoring” of Ventilated Patients. **Anesthesiology**, v. 122, n. 2, p. 437–447, fev. 2015. <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000000558>

BROCHARD, L.; SLUTSKY, A.; PESENTI, A. Mechanical Ventilation to Minimize Progression of Lung Injury in Acute Respiratory Failure. **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, v. 195, n. 4, p. 438–442, set. 2016. <https://doi.org/10.1164/rccm.201605-1081CP>

BROGI, E. et al. Thoracic ultrasound for pleural effusion in the intensive care unit: a narrative review from diagnosis to treatment. **Critical Care**, v. 21, n. 1, p. 325, dez. 2017. <https://doi.org/10.1186/s13054-017-1897-5>

- BURRY, L. et al. Daily sedation interruption versus no daily sedation interruption for critically ill adult patients requiring invasive mechanical ventilation. **The Cochrane Database of Systematic Reviews**, v. 2014, n. 7, jul. 2014. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD009176.pub2>
- CAPPELLINI, I. et al. Evaluation of diaphragm thickening by diaphragm ultrasonography: a reproducibility and a repeatability study. **Journal of Ultrasound**, 2020. <https://doi.org/10.1007/s40477-020-00462-x>
- CAROVAC, A.; SMAJLOVIC, F.; JUNUZOVIC, D. Application of Ultrasound in Medicine. **Acta Informatica Medica**, v. 19, n. 3, p. 168–171, set. 2011. <https://doi.org/10.5455/aim.2011.19.168-171>
- CARRIE, C. et al. Ultrasonographic diaphragmatic excursion is inaccurate and not better than the MRC score for predicting weaning-failure in mechanically ventilated patients. **Anaesthesia, Critical Care & Pain Medicine**, v. 36, n. 1, p. 9–14, fev. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.accpm.2016.05.009>
- CARSON, P. L.; FENSTER, A. Anniversary Paper: Evolution of ultrasound physics and the role of medical physicists and the AAPM and its journal in that evolution. **Medical Physics**, v. 36, n. 2, p. 411–428, 2009. <https://doi.org/10.1118/1.2992048>
- CASAER, M. P. Muscle weakness and nutrition therapy in ICU. **Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care**, v. 18, n. 2, p. 162–168, mar. 2015. <https://doi.org/10.1097/MCO.000000000000150>
- CAWLEY, M. J. Modos avançados de ventilação mecânica: introdução para o farmacêutico em cuidados intensivos. **Journal of Pharmacy Practice**, v. 32, n. 2, p. 186–198, abr. 2019.
- CHENG, A.-C. et al. The Outcome and Predictors of Failed Extubation in Intensive Care Patients—The Elderly is an Important Predictor. **International Journal of Gerontology**, v. 5, n. 4, p. 206–211, dez. 2011. <https://doi.org/10.1016/j.ijge.2011.09.021>
- CORNISTEIN, W. et al. [Pneumonia associated with mechanical ventilation. Update and recommendations inter- Societies SADI-SATI]. **Medicina**, v. 78, n. 2, p. 99–106, 2018.
- CUPELLO, C. et al. Lung anatomy and histology of the extant coelacanth shed light on the loss of air-breathing during deep-water adaptation in actinistians. **Royal Society Open Science**, v. 4, n. 3, 2013. <https://doi.org/10.1098/rsos.161030>
- CUTHILL, J. A. et al. The effects of sedation cessation within the first four hours of intensive care unit admission in mechanically ventilated critically ill patients – a quality improvement study. **EClinicalMedicine**, v. 26, set. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2020.100486>
- DARGENT, A. et al. Lung ultrasound score to monitor COVID-19 pneumonia progression in patients with ARDS. **PLoS ONE**, v. 15, n. 7, jul. 2020. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236312>
- DE VIRGILIIS, F.; DI GIOVANNI, S. Lung innervation in the eye of a cytokine storm: neuroimmune interactions and COVID-19. **Nature Reviews Neurology**, v. 16, n. 11, p. 645–652, nov. 2020. <https://doi.org/10.1038/s41582-020-0402-y>

- DEAB, S. A. E. A. E. S.; BELLANI, G. Extubation failure after successful spontaneous breathing trial: prediction is still a challenge! **Respiratory Care**, v. 59, n. 2, p. 301–302, fev. 2014. <https://doi.org/10.4187/respcare.03037>
- DEMI, L.; EGAN, T.; MULLER, M. Lung Ultrasound Imaging, a Technical Review. **Applied Sciences**, v. 10, n. 2, p. 462, jan. 2020. <https://doi.org/10.3390/app10020462>
- DHUNGANA, A. et al. Reproducibility of diaphragm thickness measurements by ultrasonography in patients on mechanical ventilation. **World Journal of Critical Care Medicine**, v. 6, n. 4, p. 185–189, nov. 2017. <https://doi.org/10.5492/wjccm.v6.i4.185>
- DININO, E. et al. Diaphragm ultrasound as a predictor of successful extubation from mechanical ventilation. **Thorax**, v. 69, n. 5, p. 423–427, mai. 2014. <https://doi.org/10.1136/thoraxjnl-2013-204111>
- DOT, I. et al. Diaphragm Dysfunction in Mechanically Ventilated Patients. **Archivos De Bronconeumologia**, v. 53, n. 3, p. 150–156, mar. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.arbr.2016.12.011>
- DRES, M.; DEMOULE, A. Monitoring diaphragm function in the ICU. **Current Opinion in Critical Care**, v. 26, n. 1, p. 18–25, fev. 2020. <https://doi.org/10.1097/MCC.0000000000000682>
- DRIDI, H. et al. Late Ventilator-Induced Diaphragmatic Dysfunction After Extubation. **Critical Care Medicine**, v. 48, n. 12, p. e1300, dez. 2020. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000004569>
- DUBÉ, B.-P. et al. Ultrasound evaluation of diaphragm function in mechanically ventilated patients: comparison to phrenic stimulation and prognostic implications. **Thorax**, v. 72, n. 9, p. 811–818, set. 2017. <https://doi.org/10.1136/thoraxjnl-2016-209459>
- DUNCAN, K. A eficácia da ultrassonografia na detecção de paralisia diafragmática: um distúrbio respiratório raro. **Journal of Diagnostic Medical Sonography**, v. 32, n. 2, p. 104–106, mar. 2016. <https://doi.org/10.1177/8756479316634023>
- EFFROS, R. M. Anatomy, development, and physiology of the lungs. **GI Motility online**, mai. 2006. 10.1038/gimo73
- EL-ANWAR, M. W. et al. Tracheostomy in the Intensive Care Unit: a University Hospital in a Developing Country Study. **International Archives of Otorhinolaryngology**, v. 21, n. 1, p. 33–37, mar. 2017. <https://doi.org/10.1055/s-0036-1584227>
- EL-BARADEY, G. F.; EL-SHMAA, N. S.; GANNA, S. A. Can integrative weaning index be a routine predictor for weaning success? **Indian Journal of Critical Care Medicine : Peer-reviewed, Official Publication of Indian Society of Critical Care Medicine**, v. 19, n. 12, p. 703–707, dez. 2015. <https://doi.org/10.4103/0972-5229.171352>
- EL-HALABY, H. et al. Sonographic Evaluation of Diaphragmatic Excursion and Thickness in Healthy Infants and Children. **Journal of Ultrasound in Medicine**, v. 35, n. 1, p. 167–175, 2016. <https://doi.org/10.7863/ultra.15.01082>

ELTRABILI, H. H. et al. Evaluation of diaphragmatic ultrasound indices as predictors of successful liberation from mechanical ventilation in subjects with abdominal sepsis. **Respiratory care**, v. 64, n. 5, p. 564–569, 2019. <https://doi.org/10.4187/respcare.06391>

EMERY, D. J. et al. Overuse of Magnetic Resonance Imaging. **JAMA Internal Medicine**, v. 173, n. 9, p. 823–825, mai. 2013. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2013.3804>

EPELMAN, M. et al. M-mode sonography of diaphragmatic motion: description of technique and experience in 278 pediatric patients. **Pediatric Radiology**, v. 35, n. 7, p. 661–667, jul. 2005. <https://doi.org/10.1007/s00247-005-1433-7>

EPSTEIN, S. K. Extubation failure: an outcome to be avoided. **Critical Care**, v. 8, n. 5, p. 310, ago. 2004. <https://doi.org/10.1186/cc2927>

ESTEBAN, A. et al. Evolution of mortality over time in patients receiving mechanical ventilation. **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, v. 188, n. 2, p. 220–230, 2013. <https://doi.org/10.1164/rccm.201212-2169OC>

FAHMY, H.; KINAWY, S. Predictive Accuracy of Maximal Inspiratory Pressure, Airway Occlusion Pressure and its Ratio for Successful Liberation from Mechanical Ventilation. **Journal of Anesthesia & Clinical Research**, v. 10, n. 11, p. 4, 2019.

FARGHALY, S.; HASAN, A. A. Diaphragm ultrasound as a new method to predict extubation outcome in mechanically ventilated patients. **Australian Critical Care**, v. 30, n. 1, p. 37–43, jan. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.aucc.2016.03.004>

FARGHALY, S.; HASAN, A. A.; MAKHLOUF, H. A. Assessment of ventilator-induced diaphragmatic dysfunction in patients with chronic obstructive pulmonary disease using transthoracic ultrasonography. **Egyptian Journal of Bronchology**, v. 12, n. 2, p. 218–225, 2018.

FENG HUI, H. et al. A clinical study about D -RSBI directed weaning in the ICU patients undergoing mechanical ventilation. **Chinese Journal of Critical Care Medicine**, v. 39, n. 1, p. 34–37, 2019.

FERNANDEZ-GONZALO, S. et al. Do sedation and analgesia contribute to long-term cognitive dysfunction in critical care survivors? **Medicina Intensiva (English Edition)**, v. 42, n. 2, p. 114–128, mar. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.medine.2017.06.011>

FERNANDO, S. M. et al. Frailty and invasive mechanical ventilation: association with outcomes, extubation failure, and tracheostomy. **Intensive Care Medicine**, v. 45, n. 12, p. 1742–1752, dez. 2019. <https://doi.org/10.1007/s00134-019-05795-8>

FERRARI, G. et al. Diaphragm ultrasound as a new index of discontinuation from mechanical ventilation. **Critical Ultrasound Journal**, v. 6, n. 1, p. 8, 2014. <https://doi.org/10.1186/2036-7902-6-8>

FICHTNER, F. et al. Clinical Guideline for Treating Acute Respiratory Insufficiency with Invasive Ventilation and Extracorporeal Membrane Oxygenation: Evidence-Based Recommendations for Choosing Modes and Setting Parameters of Mechanical Ventilation. **Respiration**, v. 98, n. 4, p. 357–372, 2019. <https://doi.org/10.1159/000502157>

FOGARTY, M. J.; MANTILLA, C. B.; SIECK, G. C. Breathing: Motor Control of Diaphragm Muscle. **Physiology (Bethesda, Md.)**, v. 33, n. 2, p. 113–126, mar. 2018. <https://doi.org/10.1152/physiol.00002.2018>

FOGARTY, M. J.; SIECK, G. C. Evolution and Functional Differentiation of the Diaphragm Muscle of Mammals. **Comprehensive Physiology**, v. 9, n. 2, p. 715–766, mar. 2019. <https://doi.org/10.1002/cphy.c180012>

FRANCIS, C. A.; HOFFER, J. A.; REYNOLDS, S. Ultrasonographic Evaluation of Diaphragm Thickness During Mechanical Ventilation in Intensive Care Patients. **American Journal of Critical Care**, v. 25, n. 1, p. 1-8, jan. 2016. <https://doi.org/10.4037/ajcc2016563>

FRUTOS-VIVAR, F. et al. Outcome of reintubated patients after scheduled extubation. **Journal of Critical Care**, v. 26, n. 5, p. 502–509, out. 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jcrc.2010.12.015>

FULLER, B. M. et al. Mechanical Ventilation and Acute Lung Injury in Emergency Department Patients with Severe Sepsis and Septic Shock: an Observational Study. **Academic emergency medicine: official journal of the Society for Academic Emergency Medicine**, v. 20, n. 7, p. 659–669, jul. 2013. <https://doi.org/10.1111/acem.12167>

GANAPATHY, A. et al. Cadaveric Study of Lung Anatomy: A Surgical Overview. **Journal of Medical Research and Innovation**, p. e000149, nov. 2018. <https://doi.org/10.32892/jmri.149>

GAO, S. et al. Clinical guidelines on perioperative management strategies for enhanced recovery after lung surgery. **Translational lung cancer research**, v. 8, n. 6, p. 1174, 2019.

GARGANI, L.; VOLPICELLI, G. How I do it: lung ultrasound. **Cardiovascular Ultrasound**, v. 12, p. 25, jul. 2014. <https://doi.org/10.1186/1476-7120-12-25>

GENOVESE, M. Transdutores de ultrassom. **Journal of Diagnostic Medical Sonography**, v. 32, n. 1, p. 48–53, jan. 2016. <https://doi.org/10.1177/8756479315618207>

GÖBL, R. et al. Acoustic window planning for ultrasound acquisition. **International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery**, v. 12, n. 6, p. 993–1001, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11548-017-1551-3>

GOHARANI, R. et al. A rapid shallow breathing index threshold of 85 best predicts extubation success in chronic obstructive pulmonary disease patients with hypercapnic respiratory failure. **Journal of Thoracic Disease**, v. 11, n. 4, p. 1223–1232, abr. 2019. <https://doi.org/10.21037/jtd.2019.03.103>

GOLDWASSER, R. S.; DAVID, C. M. Weaning from mechanical ventilation: let's perform a strategy. **Revista Brasileira de Terapia Intensiva**, v. 19, n. 1, p. 107–112, mar. 2007. <https://doi.org/10.1590/S0103-507X2007000100014>

GOLIGHER, E. C. et al. Mechanical Ventilation–induced Diaphragm Atrophy Strongly Impacts Clinical Outcomes. **American Journal of Respiratory and Critical Care**

**Medicine**, v. 197, n. 2, p. 204–213, 20 set. 2017. <https://doi.org/10.1164/rccm.201703-0536OC>

GOLIGHER, E. C.; FERGUSON, N. D.; BROCHARD, L. J. Clinical challenges in mechanical ventilation. **The Lancet**, v. 387, n. 10030, p. 1856–1866, abr. 2016. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)30176-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)30176-3)

GONZÁLEZ-AGUIRRE, J. E. et al. Pulmonary Ultrasound and Diaphragmatic Shortening Fraction Combined Analysis for Extubation-Failure-Prediction in Critical Care Patients. **Archivos de Bronconeumología (English Edition)**, v. 55, n. 4, p. 195–200, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.arbr.2018.09.015>

GRANSEE, H. M.; MANTILLA, C. B.; SIECK, G. C. Respiratory Muscle Plasticity. **Comprehensive Physiology**, v. 2, n. 2, p. 1441–1462, abr. 2012. <https://doi.org/10.1002/cphy.c110050>

GRENVIK, A.; PINSKY, M. R. Evolution of the intensive care unit as a clinical center and critical care medicine as a discipline. **Critical Care Clinics**, v. 25, n. 1, p. 239–250, x, jan. 2009. <https://doi.org/10.1016/j.ccc.2008.11.001>

GROOTE-BIDLINGMAIER, F. VON; KOEGELENBERG, C. F. N. A practical guide to transthoracic ultrasound. **Breathe**, v. 9, n. 2, p. 132–142, dez. 2012. <https://doi.org/10.1183/20734735.024112>

HAAKSMA, M. E. et al. Ultrasound imaging of the diaphragm: facts and future. A guide for the bedside clinician. **Respiratory Medicine**, v. 26, n. 2, p. 6, 2018.

HAAKSMA, M. E. 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. **Critical Care (London, England)**, v. 26, n. 1, p. 99, abr. 2022. <https://doi.org/10.1186/s13054-022-03975-5>

HAI XIANG ZHANG, H. et al. Diaphragmatic ultrasonography in predicting outcome of ventilator weaning in patients with mechanical ventilation. **Zhejiang Medical Journal**, v. 40, n. 9, p. 919–923, 2018.

HAJI, K. et al. The impact of heart, lung and diaphragmatic ultrasound on prediction of failed extubation from mechanical ventilation in critically ill patients: a prospective observational pilot study. **Critical Ultrasound Journal**, v. 10, n. 1, p. 13, jul. 2018. <https://doi.org/10.1186/s13089-018-0096-1>

HARIBHAI, S.; MAHBOOBI, S. K. Ventilator Complications. In: **StatPearls**. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2020.

HELMY, M. A. et al. Diaphragmatic excursion: A possible key player for predicting successful weaning in patients with severe COVID-19. **Anaesthesia, Critical Care & Pain Medicine**, v. 40, n. 3, jun. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.accpm.2021.100875>

HEW, M.; TAY, T. R. The efficacy of bedside chest ultrasound: from accuracy to outcomes. **European Respiratory Review**, v. 25, n. 141, p. 230–246, set. 2016. <https://doi.org/10.1183/16000617.0047-2016>

HIGGS, A. et al. Guidelines for the management of tracheal intubation in critically ill adults. **British journal of anaesthesia**, v. 120, n. 2, p. 323–352, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.bja.2017.10.021>

HOWIE, W. O.; DUTTON, R. P. Implementation of an evidence-based extubation checklist to reduce extubation failure in patients with trauma: a pilot study. **AANA journal**, v. 80, n. 3, p. 179–184, jun. 2012.

HUANG, D. et al. Using M-mode ultrasonography to assess diaphragm dysfunction and predict the success of mechanical ventilation weaning in elderly patients. **Journal of Thoracic Disease**, v. 9, n. 9, p. 3177–3186, set. 2017. <https://doi.org/10.21037/jtd.2017.08.16>

HUARINGA, A. J. et al. O Índice de Desmame como Preditor do Sucesso do Desmame. **Journal of Intensive Care Medicine**, v. 28, n. 6, p. 369–374, nov. 2013.

HWANG, T. S. et al. Usefulness of transthoracic lung ultrasound for the diagnosis of mild pneumothorax. **Journal of Veterinary Science**, v. 19, n. 5, p. 660–666, set. 2018. <https://doi.org/10.4142/jvs.2018.19.5.660>

JABER, S. et al. Rapidly Progressive Diaphragmatic Weakness and Injury during Mechanical Ventilation in Humans. **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, v. 183, n. 3, p. 364–371, fev. 2011. <https://doi.org/10.1164/rccm.201004-0670OC>

JARMAN, A. M. et al. The Association between Sedation Practices and Duration of Mechanical Ventilation in Intensive Care. **Anaesthesia and Intensive Care**, v. 41, n. 3, p. 311–315, maio 2013. <https://doi.org/10.1177/0310057X1304100306>

JAVAN, R.; HERRIN, D.; TANGESTANIPOOR, A. Understanding Spatially Complex Segmental and Branch Anatomy Using 3D Printing: Liver, Lung, Prostate, Coronary Arteries, and Circle of Willis. **Academic Radiology**, v. 23, n. 9, p. 1183–1189, set. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2016.04.010>

JL, L. et al. Prognostic value of bedside lung ultrasound score in patients with COVID-19. **Critical Care**, v. 24, n. 1, p. 700, dez. 2020. <https://doi.org/10.1186/s13054-020-03416-1>

JUNG, B. et al. Diaphragmatic dysfunction in patients with ICU-acquired weakness and its impact on extubation failure. **Intensive Care Medicine**, v. 42, n. 5, p. 853–861, mai. 2016. <https://doi.org/10.1007/s00134-015-4125-2>

KARTHIKA, M. et al. Rapid shallow breathing index. **Annals of Thoracic Medicine**, v. 11, n. 3, p. 167–176, 2016. <https://doi.org/10.4103/1817-1737.176876>

KENDALL, J. L.; HOFFENBERG, S. R.; SMITH, R. S. History of emergency and critical care ultrasound: The evolution of a new imaging paradigm: **Critical Care Medicine**, v. 35, n. Suppl, p. 126–130, maio 2007. <https://doi.org/10.1097/01.CCM.0000260623.38982.83>

KHALILI, N.; HASELI, S.; IRANPOUR, P. Lung Ultrasound in COVID-19 Pneumonia: Prospects and Limitations. **Academic Radiology**, v. 27, n. 7, p. 1044–1045, jul. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2020.04.032>

- KHAMIEES, M. et al. Predictors of Extubation Outcome in Patients Who Have Successfully Completed a Spontaneous Breathing Trial. **Chest**, v. 120, n. 4, p. 1262–1270, out. 2001. <https://doi.org/10.1378/chest.120.4.1262>
- KHAN, M. T. et al. Comparing Ultrasound-based Diaphragmatic Excursion with Rapid Shallow Breathing Index as a Weaning Predictor. **Cureus**, v. 10, n. 12, dez. 2018. <https://doi.org/10.7759/cureus.3710>
- KIM, K. et al. Diaphragm dysfunction assessed by ultrasonography: influence on weaning from mechanical ventilation. **Critical care medicine**, v. 39, n. 12, dez. 2011. <https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e3182266408>
- KLOMPAS, M. Complications of Mechanical Ventilation — The CDC’s New Surveillance Paradigm. **New England Journal of Medicine**, v. 368, n. 16, p. 1472–1475, abr. 2013. <https://doi.org/10.1056/NEJMp1300633>
- KNAUS, W. A. et al. APACHE II: a severity of disease classification system. **Critical Care Medicine**, v.13, n.10, p. 818-829, 1985. <https://doi.org/10.1097/00003246-198510000-00009>
- KÓZKA, M. et al. Risk Factors of Pneumonia Associated with Mechanical Ventilation. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 2, jan. 2020. <https://doi.org/10.3390/ijerph17020656>
- KULKARNI, A. P.; AGARWAL, V. Extubation failure in intensive care unit: predictors and management. **Indian Journal of Critical Care Medicine: Peer-Reviewed, Official Publication of Indian Society of Critical Care Medicine**, v. 12, n. 1, p. 1–9, jan. 2008. <https://doi.org/10.4103/0972-5229.40942>
- LE NEINDRE, A. et al. Thoracic ultrasound: Potential new tool for physiotherapists in respiratory management. A narrative review. **Journal of Critical Care**, v. 31, n. 1, p. 101–109, fev. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jcrc.2015.10.014>
- LEE, F. C. Y. Lung ultrasound—a primary survey of the acutely dyspneic patient. **Journal of Intensive Care**, v. 4, n. 1, p. 57, ago. 2016. <https://doi.org/10.1186/s40560-016-0180-1>
- LESLIE, K. O.; WICK, M. R. 1 - Lung Anatomy. In: LESLIE, K. O.; WICK, M. R. (Eds.). **Practical Pulmonary Pathology: A Diagnostic Approach (Third Edition)**, Elsevier, 2018. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-44284-8.00001-6>
- LI, S.; CHEN, Z.; YAN, W. Application of bedside ultrasound in predicting the outcome of weaning from mechanical ventilation in elderly patients. **BMC Pulmonary Medicine**, v. 21, n. 1, p. 217, jul. 2021. <https://doi.org/10.1186/s12890-021-01605-4>
- LICHTENSTEIN, D. A. Lung ultrasound in the critically ill. **Annals of Intensive Care**, v. 4, n. 1, p. 1, jan. 2014. <https://doi.org/10.1186/2110-5820-4-1>
- LICHTENSTEIN, D.; MEZIÈRE, G.; SEITZ, J. The Dynamic Air Bronchogram: A Lung Ultrasound Sign of Alveolar Consolidation Ruling Out Atelectasis. **Chest**, v. 135, n. 6, p. 1421–1425, jun. 2009. <https://doi.org/10.1378/chest.08-2281>

LIN, N. et al. **Application of diaphragm ultrasound in weaning of mechanically ventilated patients**. Chinese Journal of Respiratory and Critical Care. 2019. Disponível em: <[https://www-cnki-com-cn.translate.google.com/Article/CJFDTTotal-ZGHW201904010.htm?\\_x\\_tr\\_sch=http&\\_x\\_tr\\_sl=zh-CN&\\_x\\_tr\\_tl=pt&\\_x\\_tr\\_hl=pt-BR&\\_x\\_tr\\_pto=sc](https://www-cnki-com-cn.translate.google.com/Article/CJFDTTotal-ZGHW201904010.htm?_x_tr_sch=http&_x_tr_sl=zh-CN&_x_tr_tl=pt&_x_tr_hl=pt-BR&_x_tr_pto=sc)>. Acesso em: 16 jul. 2022.

LIN, W.-C. et al. Is tracheostomy a better choice than translaryngeal intubation for critically ill patients requiring mechanical ventilation for more than 14 days? A comparison of short-term outcomes. **BMC Anesthesiology**, v. 15, n. 1, p. 181, 15 dez. 2015. <https://doi.org/10.1186/s12871-015-0159-9>

LIPPI, I. DOS S. et al. Ultrassonografia diafragmática como ferramenta de avaliação no desmame da ventilação mecânica. **Fisioterapia Brasil**, v. 20, n. 4, p. 570–577, 3 set. 2019. <https://doi.org/10.33233/fb.v20i4.3221>

LIU, Y.-Y.; LI, L.-F. Disfunção do diafragma induzida pelo ventilador em doenças críticas. **Experimental Biology and Medicine**, v. 243, n. 17–18, p. 1331–1339, 1 dez. 2018. <https://doi.org/10.1177/1535370218811950>

LLAMAS-ÁLVAREZ, A. M.; TENZA-LOZANO, E. M.; LATOUR-PÉREZ, J. Diaphragm and Lung Ultrasound to Predict Weaning Outcome: Systematic Review and Meta-Analysis. **Chest**, v. 152, n. 6, p. 1140–1150, dez. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2017.08.028>

MABROUK, A. A. et al. Evaluation of some predictors for successful weaning from mechanical ventilation. **Egyptian Journal of Chest Diseases and Tuberculosis**, v. 64, n. 3, p. 703–707, jul. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ejcdt.2015.03.021>

MAHUL, M. et al. Spontaneous breathing trial and post-extubation work of breathing in morbidly obese critically ill patients. **Critical Care**, v. 20, n. 1, p. 346, out. 2016. <https://doi.org/10.1186/s13054-016-1457-4>

MARSHALL, J. C. et al. What is an intensive care unit? A report of the task force of the World Federation of Societies of Intensive and Critical Care Medicine. **Journal of Critical Care**, v. 37, p. 270–276, fev. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jccr.2016.07.015>

MARTIN, C.; FRIJA, J.; BURGEL, P.-R. Dysfunctional lung anatomy and small airways degeneration in COPD. **International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease**, v. 8, p. 7–13, 2013. <https://doi.org/10.2147/COPD.S28290>

MATAMIS, D. et al. Sonographic evaluation of the diaphragm in critically ill patients. Technique and clinical applications. **Intensive Care Medicine**, v. 39, n. 5, p. 801–810, mai. 2013. <https://doi.org/10.1007/s00134-013-2823-1>

MCCOOL, F. D.; MINAMI, T. Diaphragm Ultrasound in the Intensive Care Unit. In: JANKOWICH, M.; GARTMAN, E. (Eds.). **Ultrasound in the Intensive Care Unit**. Medicina Respiratória. New York, NY: Springer, p. 235–248, 2015. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-1723-5\\_11](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-1723-5_11)

MCCOOL, F. D.; OYIENG’O, D. O.; KOO, P. The Utility of Diaphragm Ultrasound in Reducing Time to Extubation. **Lung**, v. 198, n. 3, p. 499–505, jun. 2020. <https://doi.org/10.1007/s00408-020-00352-3>

- MCCOOL, F. D.; TZELEPIS, G. E. Dysfunction of the diaphragm. **The New England Journal of Medicine**, v. 366, n. 10, p. 932–942, 8 mar. 2012. <https://doi.org/10.1056/NEJMra1007236>
- MERRELL, A. J.; KARDON, G. Development of the diaphragm, a skeletal muscle essential for mammalian respiration. **The FEBS journal**, v. 280, n. 17, set. 2013. <https://doi.org/10.1111/febs.12274>
- MICHALKE, J. A. An overview of emergency ultrasound in the United States. **World Journal of Emergency Medicine**, v. 3, n. 2, p. 85–90, 2012. <https://doi.org/10.5847/wjem.j.issn.1920-8642.2012.02.001>
- MILLER, A. Practical approach to lung ultrasound. **BJA Education**, v. 16, n. 2, p. 39–45, 1 fev. 2016. <https://doi.org/10.1093/bjaceaccp/mkv012>
- MOHAMED, R. S. E. et al. The role of diaphragmatic ultrasound as a predictor of successful extubation from mechanical ventilation in respiratory intensive care unit. **The Egyptian Journal of Bronchology**, v. 15, n. 1, p. 51, nov. 2021. <https://doi.org/10.1186/s43168-021-00095-6>
- MOJOLI, F. et al. Lung Ultrasound for Critically Ill Patients. **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, v. 199, n. 6, p. 701–714, 2019. <https://doi.org/10.1164/rccm.201802-0236CI>
- MOKHLESI, B. et al. Predicting extubation failure after successful completion of a spontaneous breathing trial. **Respiratory care**, v. 52, p. 1710–7, dez. 2007.
- MOORE, S.; GARDINER, E. Point of care and intensive care lung ultrasound: A reference guide for practitioners during COVID-19. **Radiography**, v. 26, n. 4, p. 297–302, nov. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.radi.2020.04.005>
- MOWAFY, S.; ABDELGALEL, E. Diaphragmatic rapid shallow breathing index for predicting weaning outcome from mechanical ventilation: Comparison with traditional rapid shallow breathing index. **Egyptian Journal of Anaesthesia**, v. 35, dez. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.egja.2018.10.003>
- MUNSHI, F. A. et al. Rapid Shallow Breathing Index as a Predictor of Extubation Outcomes in Pediatric Patients Underwent Cardiac Surgeries at King Faisal Cardiac Center. **Cureus**, v. 12, n. 6, jun. 2020. <https://doi.org/10.7759/cureus.8754>
- NAKANISHI, N. et al. Change in diaphragm and intercostal muscle thickness in mechanically ventilated patients: a prospective observational ultrasonography study. **Journal of Intensive Care**, v. 7, n. 1, p. 56, dez. 2019. <https://doi.org/10.1186/s40560-019-0410-4>
- NATALIN, R. A. et al. Contemporary Applications and Limitations of Magnetic Resonance Imaging Contrast Materials. **The Journal of Urology**, v. 183, n. 1, p. 27–33, jan. 2010. <https://doi.org/10.1016/j.juro.2009.09.029>
- NAZERIAN, P. et al. Accuracy of lung ultrasound for the diagnosis of consolidations when compared to chest computed tomography. **The American journal of emergency medicine**, v. 33, jan. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2015.01.035>

NEWTH, C. J.; HOTZ, J. C.; KHEMANI, R. G. Ventilator Liberation in the Pediatric ICU. **Respiratory Care**, v. 65, n. 10, p. 1601–1610, 2020. <https://doi.org/10.4187/respcare.07810>

NIEMAN, G. F. et al. Prevention and treatment of acute lung injury with time-controlled adaptive ventilation: physiologically informed modification of airway pressure release ventilation. **Annals of Intensive Care**, v. 10, n. 1, p. 3, jan. 2020. <https://doi.org/10.1186/s13613-019-0619-3>

NITTA, K. et al. A comprehensive protocol for ventilator weaning and extubation: a prospective observational study. **Journal of Intensive Care**, v. 7, n. 1, p. 50, nov. 2019. <https://doi.org/10.1186/s40560-019-0402-4>

OGLAT, A. A. et al. A Review of Medical Doppler Ultrasonography of Blood Flow in General and Especially in Common Carotid Artery. **Journal of Medical Ultrasound**, v. 26, n. 1, p. 3–13, mar. 2018. [https://doi.org/10.4103/JMU.JMU\\_11\\_17](https://doi.org/10.4103/JMU.JMU_11_17)

OÑATE MIRANDA, M.; FREIRE, V.; BUREAU, N. J. VIDEO: Dynamic Ultrasound Evaluation for Soft-Tissue Injuries of the Extremities: Hand, Wrist, and Ankle. **AJR Am J Roentgenol**, p. 871–871, 2020. <https://doi.org/10.2214/AJR.19.22040>

ORTEGA, R. et al. Endotracheal Extubation. **New England Journal of Medicine**, v. 370, n. 3, p. 4, jan. 2014. <https://doi.org/10.1056/NEJMvcm1300964>

OSMAN, A.; HASHIM, R. Diaphragmatic and lung ultrasound application as new predictive indices for the weaning process in ICU patients. **The Egyptian Journal of Radiology and Nuclear Medicine**, v. 48, jan. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ejrm.2017.01.005>

OUELLETTE, D. R. et al. Liberation From Mechanical Ventilation in Critically Ill Adults: An Official American College of Chest Physicians/American Thoracic Society Clinical Practice Guideline: Inspiratory Pressure Augmentation During Spontaneous Breathing Trials, Protocols Minimizing Sedation, and Noninvasive Ventilation Immediately After Extubation. **Chest**, v. 151, n. 1, p. 166–180, jan. 2017.

OUZZANI, M. et al. **Rayyan - a web and mobile app for systematic reviews**. Systematic Reviews, 2016. Disponível em: <https://www.rayyan.ai/cite/>. <https://doi.org/10.1186/s13643-016-0384-4>

PALKAR, A. et al. Diaphragm Excursion-Time Index: A New Parameter Using Ultrasonography to Predict Extubation Outcome. **Chest**, v. 153, n. 5, p. 1213–1220, mai. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2018.01.007>

PAPAZIAN, L.; KLOMPAS, M.; LUYT, C.-E. Ventilator-associated pneumonia in adults: a narrative review. **Intensive Care Medicine**, v. 46, n. 5, p. 888–906, maio 2020. <https://doi.org/10.1007/s00134-020-05980-0>

PAROTTO, M.; COOPER, R. M.; BEHRINGER, E. C. Extubation of the Challenging or Difficult Airway. **Current Anesthesiology Reports**, p. 1–7, set. 2020. <https://doi.org/10.1007/s40140-020-00416-3>

PASCARELLA, G. et al. The evolution of ultrasound role in COVID-19 pandemic: from triage to screening. **Anesthesia and Analgesia**, jul. 2020.

PATWA, A.; SHAH, A. Anatomy and physiology of respiratory system relevant to anaesthesia. **Indian Journal of Anaesthesia**, v. 59, n. 9, p. 533–541, set. 2015. <https://doi.org/10.4103/0019-5049.165849>

PEÑUELAS, O. et al. Ventilator-induced diaphragm dysfunction: translational mechanisms lead to therapeutic alternatives in the critically ill. **Intensive care medicine experimental**, v. 7, n. 1, p. 1–25, 2019. <https://doi.org/10.1186/s40635-019-0259-9>

PICKERING, M.; JONES, J. F. The diaphragm: two physiological muscles in one. **Journal of Anatomy**, v. 201, n. 4, p. 305–312, out. 2002. <https://doi.org/10.1046/j.1469-7580.2002.00095.x>

PIERRAKOS, C. et al. A Lower Global Lung Ultrasound Score Is Associated with Higher Likelihood of Successful Extubation in Invasively Ventilated COVID-19 Patients. **Am J Trop Med Hyg**, p. 1490–1497, 2021. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.21-0545>

PIETTE, E.; DAOUST, R.; DENAULT, A. Basic concepts in the use of thoracic and lung ultrasound. **Current Opinion in Anesthesiology**, v. 26, n. 1, p. 20–30, fev. 2013. <https://doi.org/10.1097/ACO.0b013e32835afd40>

PROTTI, A. et al. Lung anatomy, energy load, and ventilator-induced lung injury. **Intensive Care Medicine Experimental**, v. 3, n. 1, p. 34, dez. 2015. <https://doi.org/10.1186/s40635-015-0070-1>

QUINTARD, H. et al. Experts' guidelines of intubation and extubation of the ICU patient of French Society of Anaesthesia and Intensive Care Medicine (SFAR) and French-speaking Intensive Care Society (SRLF). **Annals of Intensive Care**, v. 9, n. 1, p. 13, jan. 2019. <https://doi.org/10.1186/s13613-019-0483-1>

RAMAKRISHNAN, P.; SIDDIQUI, S. Extubation success can be better predicted by diaphragmatic excursion using ultrasound compared to rapid shallow breathing index. **Indian Journal of Anaesthesia**, v. 62, n. 10, p. 814, jan. 2018. [https://doi.org/10.4103/ija.IJA\\_428\\_18](https://doi.org/10.4103/ija.IJA_428_18)

RAMBHIA, S. H. et al. Thoracic Ultrasound: Technique, Applications, and Interpretation. **Current Problems in Diagnostic Radiology**, v. 46, n. 4, p. 305–316, jul. 2017. <https://doi.org/10.1067/j.cpradiol.2016.12.003>

RAMIREZ-ESTRADA, S. et al. Ventilator-associated events versus ventilator-associated respiratory infections—moving into a new paradigm or merging both concepts, instead? **Annals of translational medicine**, v. 6, n. 21, 2018. <https://doi.org/10.21037/atm.2018.10.54>

RISTAGNO, G.; WEIL, M. H. History of Critical Care Medicine: The Past, the Present and the Future. In: GULLO, A. et al. (Eds.). **Intensive and Critical Care Medicine: WFSICCM World Federation of Societies of Intensive and Critical Care Medicine**. Milano: Springer Milan, p. 3–17, 2009. [https://doi.org/10.1007/978-88-470-1436-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-88-470-1436-7_1)

ROBBINS, M. et al. Early extubation attempts reduce length of stay in extremely preterm infants even if re-intubation is necessary. **Journal of Neonatal-Perinatal Medicine**, v. 8, n. 2, p. 91–97, 2015. <https://doi.org/10.3233/NPM-15814061>

ROSE, L. et al. Variation in Definition of Prolonged Mechanical Ventilation. **Respiratory Care**, v. 62, n. 10, p. 1324–1332, out. 2017. <https://doi.org/10.4187/respcare.05485>

ROUBY, J.-J. et al. Training for Lung Ultrasound Score Measurement in Critically Ill Patients. **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, v. 198, n. 3, p. 398–401, mar. 2018. <https://doi.org/10.1164/rccm.201802-0227LE>

SADDY, F. et al. Ventilator-Associated Lung Injury during Assisted Mechanical Ventilation. **Seminars in Respiratory and Critical Care Medicine**, v. 35, n. 04, p. 409–417, ago. 2014. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1382153>

SAEED, A. M. et al. Role of ultrasound in assessment of diaphragmatic function in chronic obstructive pulmonary disease patients during weaning from mechanical ventilation. **Egyptian Journal of Bronchology**, v. 10, n. 2, p. 167–172, ago. 2016. <https://doi.org/10.4103/1687-8426.184363>

SAEED, F.; LASRADO, S. Extubation. In: **StatPearls**. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2020.

SAMANTA, S. et al. Diaphragm thickening fraction to predict weaning—a prospective exploratory study. **Journal of intensive care**, v. 5, n. 1, p. 1–9, 2017. <https://doi.org/10.1186/s40560-017-0258-4>

SARAOGI, A. Lung ultrasound: Present and future. **Lung India : Official Organ of Indian Chest Society**, v. 32, n. 3, p. 250–257, 2015. <https://doi.org/10.4103/0970-2113.156245>

SARWAL, A.; WALKER, F. O.; CARTWRIGHT, M. S. Neuromuscular Ultrasound for Evaluation of the Diaphragm. **Muscle & nerve**, v. 47, n. 3, p. 319–329, mar. 2013. <https://doi.org/10.1002/mus.23671>

SAUGEL, B. et al. Prediction of extubation failure in medical intensive care unit patients. **Journal of Critical Care**, v. 27, n. 6, p. 571–577, dez. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jcrc.2012.01.010>

SAVINO, S. et al. A methodological approach for determination of maximal inspiratory pressure in patients undergoing invasive mechanical ventilation. **Minerva anesthesiologica**, v. 81, maio 2014.

SCHEFOLD, J. C.; BIERBRAUER, J.; WEBER-CARSTENS, S. Intensive care unit—acquired weakness (ICUAW) and muscle wasting in critically ill patients with severe sepsis and septic shock. **Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle**, v. 1, n. 2, p. 147–157, dez. 2010. <https://doi.org/10.1007/s13539-010-0010-6>

SCHEPENS, T.; GOLIGHER, E. C. Lung-and diaphragm-protective ventilation in acute respiratory distress syndrome: rationale and challenges. **Anesthesiology**, v. 130, n. 4, p. 620–633, 2019. <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000002605>

SIKORA, K. et al. Ultrasound for the Detection of Pleural Effusions and Guidance of the Thoracentesis Procedure. **ISRN Emergency Medicine**, v. 2012, nov. 2012. <https://doi.org/10.5402/2012/676524>

SINGER, M. et al. The Third International Consensus Definitions for Sepsis and Septic Shock (Sepsis-3). **JAMA**, v. 315, n. 8, p. 801-810, 2016. <https://doi.org/10.1001/jama.2016.0287>

SOLDATI, G.; SHER, S. Bedside lung ultrasound in critical care practice. **Minerva anesthesiologica**, v. 75, p. 509–17, out. 2009.

SOLIMAN, A. M. et al. Ultrasound-guided assessment of diaphragmatic thickness as an indicator of successful extubation in mechanically ventilated cancer patients. **Anaesthesia, Pain & Intensive Care**, p. 175–185, 2019. <https://doi.org/10.35975/apic.v23i2.1066>

SOUMMER, A. et al. Ultrasound assessment of lung aeration loss during a successful weaning trial predicts postextubation distress\*. **Critical Care Medicine**, v. 40, n. 7, p. 2064–2072, jul. 2012. <https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e31824e68ae>

SOUZA, L. C. DE; LUGON, J. R. The rapid shallow breathing index as a predictor of successful mechanical ventilation weaning: clinical utility when calculated from ventilator data. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 41, p. 530–535, dez. 2015. <https://doi.org/10.1590/s1806-37132015000000077>

SPADARO, S. et al. Can diaphragmatic ultrasonography performed during the T-tube trial predict weaning failure? The role of diaphragmatic rapid shallow breathing index. **Critical Care (London, England)**, v. 20, n. 1, p. 305, set. 2016. <https://doi.org/10.1186/s13054-016-1479-y>

STEIDL, C. et al. Tracheostomy, Extubation, Reintubation: Airway Management Decisions in Intubated Stroke Patients. **Cerebrovascular Diseases (Basel, Switzerland)**, v. 44, n. 2, p. 1–9, 2017. <https://doi.org/10.1159/000471892>

SUBEDI, P. et al. Higher Work of Breathing at the End of Successful Spontaneous Breathing Trial Does Not Predict Extubation Failure. **CHEST**, v. 150, n. 4, p. 304, out. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2016.08.317>

SUPINSKI, G. S. et al. Diaphragm dysfunction in critical illness. **Chest**, v. 153, n. 4, p. 1040–1051, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2017.08.1157>

SURASERANIVONG, R. et al. Association between age-related factors and extubation failure in elderly patients. **PLoS ONE**, v. 13, n. 11, nov. 2018. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0207628>

TAVARES, J. et al. **<p>Global Ultrasound Check for the Critically Ill (GUCCI)&mdash;a new systematized protocol unifying point-of-care ultrasound in critically ill patients based on clinical presentation</p>**. Disponível em: <https://www.dovepress.com/global-ultrasound-check-for-the-critically-ill-gucci-a-new-systematize-peer-reviewed-fulltext-article-OAEM>. Acesso em: 11 mar. 2021.

TENZA-LOZANO, E. et al. Lung and diaphragm ultrasound as predictors of success in weaning from mechanical ventilation. **Critical Ultrasound Journal**, v. 10, jun. 2018. <https://doi.org/10.1186/s13089-018-0094-3>

THEERAWIT, P. et al. Diaphragmatic parameters by ultrasonography for predicting weaning outcomes. **BMC Pulmonary Medicine**, v. 18, p. 175, nov. 2018. <https://doi.org/10.1186/s12890-018-0739-9>

THILLE, A. W. et al. Pressure-Support Ventilation vs T-Piece During Spontaneous Breathing Trials Before Extubation Among Patients at High Risk of Extubation Failure: A Post-Hoc Analysis of a Clinical Trial. **Chest**, v. 158, n. 4, p. 1446–1455, out. 2020.

THILLE, A. W.; CORTÉS-PUCH, I.; ESTEBAN, A. Weaning from the ventilator and extubation in ICU. **Current Opinion in Critical Care**, v. 19, n. 1, p. 57–64, fev. 2013. <https://doi.org/10.1097/MCC.0b013e32835c5095>

THIMMAIAH, V. T.; MJ, G.; JAIN, K. P. Evaluation of Thickness of Normal Diaphragm by B Mode Ultrasound. v. 3, n. 9, p. 3, 2016.

TOBIN, M. J.; LAGHI, F.; BROCHARD, L. Role of the respiratory muscles in acute respiratory failure of COPD: lessons from weaning failure. **Journal of Applied Physiology**, v. 107, n. 3, p. 962–970, 2009. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00165.2009>

TRIVEDI, V. et al. The Usefulness of the Rapid Shallow Breathing Index in Predicting Successful Extubation: A Systematic Review and Meta-analysis. **Chest**, v. 161, n. 1, p. 97–111, jan. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2021.06.030>

TROYER, A. D.; WILSON, T. A. Action of the diaphragm on the rib cage. **Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)**, v. 121, n. 2, p. 391–400, ago. 2016. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00268.2016>

TU, C.-S. et al. A Decision for Predicting Successful Extubation of Patients in Intensive Care Unit. **BioMed Research International**, v. 2018, p. 1–11, jan. 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/6820975>

TUINMAN, P. R. et al. Respiratory muscle ultrasonography: methodology, basic and advanced principles and clinical applications in ICU and ED patients—a narrative review. **Intensive care medicine**, v. 46, n. 4, p. 594–605, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00134-019-05892-8>

UMBRELLO, M.; FORMENTI, P. Ultrasonographic assessment of diaphragm function in critically ill subjects. **Respiratory care**, v. 61, n. 4, p. 542–555, 2016. <https://doi.org/10.4187/respcare.04412>

VASSILAKOPOULOS, T.; ZAKYNTHINOS, S.; ROUSSOS, C. Bench-to-bedside review: Weaning failure – should we rest the respiratory muscles with controlled mechanical ventilation? **Critical Care**, v. 10, n. 1, p. 204, nov. 2005.

VERSCHAKELEN, J. A.; DE WEVER, W. Basic Anatomy and CT of the Normal Lung. In: VERSCHAKELEN, J. A.; DE WEVER, W. (Eds.). **Computed Tomography of the Lung: A Pattern Approach**. Radiologia Médica. Berlin, Heidelberg: Springer, p. 3–19, 2018. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-39518-5\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-642-39518-5_2)

VIVIER, E. et al. Inability of Diaphragm Ultrasound to Predict Extubation Failure: A Multicenter Study. **Chest**, v. 155, n. 6, p. 1131–1139, jun. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2019.03.004>

VOLPICELLI, G. et al. International evidence-based recommendations for point-of-care lung ultrasound. **Intensive Care Medicine**, v. 38, n. 4, p. 577–591, abr. 2012. <https://doi.org/10.1007/s00134-012-2513-4>

VU, P. H. et al. Predictive value of the negative inspiratory force index as a predictor of weaning success: a cross-sectional study. **Acute and Critical Care**, v. 35, n. 4, p. 279–285, nov. 2020. <https://doi.org/10.4266/acc.2020.00598>

WALLDEN, M. The diaphragm - More than an inspired design. **Journal of Bodywork and Movement Therapies**, v. 21, n. 2, p. 342–349, abr. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2017.03.013>

WEIL, M. H.; TANG, W. From Intensive Care to Critical Care Medicine. **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, v. 183, n. 11, p. 1451–1453, jun. 2011. <https://doi.org/10.1164/rccm.201008-1341OE>

WHITSON, M. R.; MAYO, P. H. Ultrasonography in the emergency department. **Critical Care**, v. 20, n. 1, p. 227, ago. 2016. <https://doi.org/10.1186/s13054-016-1399-x>

WILSON, J. G.; MATTHAY, M. A. Mechanical Ventilation in Acute Hypoxemic Respiratory Failure: A Review of New Strategies for the Practicing Hospitalist. **Journal of hospital medicine : an official publication of the Society of Hospital Medicine**, v. 9, n. 7, p. 469–475, jul. 2014. <https://doi.org/10.1002/jhm.2192>

WINKLER, M. H. et al. Diagnostic Accuracy of Chest Radiograph, and When Concomitantly Studied Lung Ultrasound, in Critically Ill Patients With Respiratory Symptoms: A Systematic Review and Meta-Analysis. **Critical Care Medicine**, v. 46, n. 7, p. 707–714, jul. 2018. <https://doi.org/10.1097/CCM.00000000000003129>

WITHERS, A. et al. Highlights from the Respiratory Failure and Mechanical Ventilation 2020 Conference. **ERJ Open Research**, v. 7, n. 1, jan. 2021. <https://doi.org/10.1183/23120541.00752-2020>

YADAV, M. K. et al. Lung ultrasound score before and after extubation for predicting weaning outcome. **Journal of Chitwan Medical College**, v. 9, n. 4, p. 15–17, 27 dez. 2019. <https://doi.org/10.54530/jcmc.92>

YOO, J.-W. et al. Comparison of clinical utility between diaphragm excursion and thickening change using ultrasonography to predict extubation success. **The Korean Journal of Internal Medicine**, v. 33, n. 2, p. 331–339, mar. 2018. <https://doi.org/10.3904/kjim.2016.152>

ZAMBON, M. et al. Assessment of diaphragmatic dysfunction in the critically ill patient with ultrasound: a systematic review. **Intensive Care Medicine**, v. 43, n. 1, p. 29–38, jan. 2017. <https://doi.org/10.1007/s00134-016-4524-z>

ZAYTOUN, T. M.; ELSAYED, H. E.; ELGHAZALY, A. M. The role of diaphragmatic rapid shallow breathing index and maximum inspiratory pressure in predicting outcome of weaning from mechanical ventilation. **The Egyptian Journal of Chest Diseases and Tuberculosis**, v. 70, n. 4, p. 526, jan. 2021.

ZHANG, J.; TEOH, W. H.; KRISTENSEN, M. S. Ultrasound in Airway Management. **Current Anesthesiology Reports**, p. 1–10, 2020. <https://doi.org/10.1007/s40140-020-00412-7>