

Fisioter Bras 2019;20(4):570-7
<https://doi.org/10.33233/fb.v20i4.3221>

REVISÃO

Ultrassonografia diafragmática como ferramenta de avaliação no desmame da ventilação mecânica

Diaphragmatic ultrasound as assessment tool for mechanical ventilation weaning

Iani dos Santos Lippi*, Juliana Teixeira Mendes**, Marco Orsini***, Carolina Aguiar da Costa****, Suzana Griffó Tavares*****, Eduardo Tavares Lima Trajano****, Ricardo Gaudio de Almeida*****, Tiago Batista da Costa Xavier*****, Mauricio de Sant' Anna Jr*****, Victor Hugo Bastos*****, Silmar Teixeira*****, Luciana Moisés Camilo*****

Fisioterapeuta pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ), **Programa de Mestrado Profissional para Pesquisa Biomédica do Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho da Universidade Federal do Rio de Janeiro (IBCCF/UFRJ), *Universidade Iguazu – (UNIG) e Programa de Mestrado em Ciências Aplicadas em Saúde (USS – Universidade de Vassouras), Programa de Pós Doutorado em Mapeamento Cerebral e Funcionalidade – UFPI, ****Universidade de Vassouras, Programa de Mestrado em Ciências Aplicadas em Saúde (USS-PGCS), *****Hospital Federal dos Servidores do Estado do Rio de Janeiro (HFSE), *****Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ), Docente do curso de Fisioterapia, *****Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ), Docente do curso de Fisioterapia, Programa de Mestrado Profissional para Pesquisa Biomédica do Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho da Universidade Federal do Rio de Janeiro (IBCCF/UFRJ), *****Programa de Mapeamento Cerebral e Funcionalidade – UFPI*

Recebido 11 de julho de 2019; aceito 15 de agosto de 2019

Correspondência: Prof^a Luciana Moisés Camilo, Rua Professor Carlos Wenceslau, 343 Realengo 21710-240 Rio de Janeiro RJ, E-mail: luciana.camilo@ifrj.edu.br; Iani dos Santos Lippi: ianilippi2@gmail.com; Juliana Teixeira Mende: julianat.mendes@hotmail.com; Marco Orsini: orsinimarco@hotmail.com; Carolina Aguiar da Costa: carolaguiar.tr@hotmail.com; Suzana Griffó Tavares: suzanagriffo@yahoo.com.br; Eduardo Tavares Lima Trajano: eduardolimatrajano@hotmail.com; Ricardo Gaudio de Almeida: ricardo.almeida@ifrj.edu.br; Tiago Batista da Costa Xavier: tiago.xavier@ifrj.edu.br; Mauricio de Sant Anna Jr: mauricio.junior@ifrj.edu.br; Victor Hugo Bastos: victorhugobastos@ufpi.edu.br; Silmar Teixeira: silmarteixeira@ufpi.edu.br

Resumo

A ultrassonografia é uma ferramenta diagnóstica muito utilizada na unidade de terapia intensiva devido ao baixo custo, por não ser um procedimento invasivo, de rápido aprendizado e oferecendo toda a gama de informações sobre diferentes órgãos e tecidos. Nos últimos anos, tem sido publicado um número crescente de artigos sobre a avaliação do diafragma. A ultrassonografia pode ser uma ferramenta útil para avaliar a disfunção diafragmática em pacientes críticos, porém, apesar de existir padronização da técnica e das variáveis analisadas, ainda não existe consenso sobre a utilização das medidas que podem ser influenciadas pelo posicionamento do transdutor, tipo de ventilação (espontânea ou mecânica controlada) e posição do paciente. Sendo assim, esta revisão reuniu os trabalhos mais atuais a fim de elucidarmos as formas de avaliação morfofuncional por ultrassonografia do diafragma pela comunidade científica e fornecer conhecimentos acerca dessa ferramenta. As variáveis ultrassonográficas mais utilizadas pelos autores encontradas nesta revisão foram: 1) a espessura diafragmática (ED); 2) a fração de espessamento diafragmática (FED); 3) a excursão diafragmática (ExD). A utilização do ultrassom na avaliação da disfunção e atrofia diafragmática em pacientes ventilados mecanicamente parece estar bem estabelecida na literatura, porém, o uso dessas três variáveis na predição de sucesso de desmame e extubação apresentam resultados inconclusivos.

Palavras-chave: ultrassonografia diafragmática, desmame da ventilação mecânica, terapia intensiva; urgência.

Abstract

Ultrasonography is an increasingly popular diagnostic tool in the intensive care unit because of its easy applicability, low cost, non-invasiveness, fast learning and delivering full range of information on different organs and tissues. In the recent years, an exponentially increasing number of articles has been published on diaphragm evaluation. Ultrasonography can be a useful tool to evaluate diaphragmatic dysfunction in critically ill patients. However, although the technique and variables analyzed are not standardized, there is still no consensus on the use of measures that can be influenced because the analysis may vary depending on the position of the transducer, the type of ventilation (spontaneous or mechanically controlled) and the position of the patient. Thus, this review brought together current works in order to elucidate the forms of morphologic and functional evaluation by diaphragm muscle ultrasonography in order to provide knowledge about this tool. The ultrasound variables most used by the authors were: 1) The diaphragmatic thickness; 2) The diaphragmatic thickening fraction; 3) The diaphragmatic excursion. The ultrasound tool in the evaluation of diaphragmatic dysfunction and atrophy in mechanically ventilated patients seems to be well established in the literature, but the use of these three variables in predicting successful weaning and extubation presents inconclusive results.

Key-words: diaphragmatic ultrasonography, weaning from mechanical ventilation; urgency.

Introdução

O diafragma é o principal músculo inspiratório, podendo ser afetado por diversos fatores. A utilização da ventilação mecânica em modo controlado é apontada como causa direta de fraqueza muscular devido à inatividade dos músculos respiratórios. Outros fatores também podem levar a essa fraqueza assim como tempo de ventilação mecânica, uso de bloqueadores neuromusculares, combinação de corticosteroides, nutrição inadequada e controle da sepse [1,2].

A disfunção diafragmática induzida por ventilador (VIDD) foi definida por Berger *et al.* [2], como a perda da capacidade de geração de força diafragmática relacionada diretamente com o uso da ventilação mecânica. O tempo de ventilação controlada e o ajuste inadequado do suporte ventilatório são fatores normalmente associados a VIDD. [2,5]. Portanto, a inatividade contrátil diafragmática pode ser a causa de VIDD, afetando significativamente a resistência diafragmática, descrita como a capacidade de manter a força contrátil diante de uma carga inspiratória resistiva [6,7].

O desmame abrange todo o processo de liberação de pacientes da ventilação mecânica (VM) até a extubação [3], portanto, a sua falha é determinada pelo desequilíbrio entre a carga mecânica imposta ao diafragma e a capacidade do mesmo de lidar com ela [4].

Os fármacos bloqueadores neuromusculares não despolarizantes (NMBDs) são definidos como inibidores competitivos da transmissão neuromuscular e são diversas vezes administrados em pacientes críticos associados com a sedação, com o objetivo de otimizar a adaptação do paciente na VM, reduzindo assim o consumo de oxigênio. Segundo Laghi e Tobin [8], mais de 2/3 dos pacientes adaptados na VM e que receberam bloqueadores neuromusculares (BNM) por mais de dois dias desenvolveram fraqueza prolongada [9]. Portanto, apesar de ser necessária a avaliação da função diafragmática antes de qualquer tentativa de desmame, essa variável ainda é pouco monitorada em UTI. A avaliação direta da força diafragmática se dá pela pressão gerada durante a estimulação do nervo frênico ou do índice de tensão-tempo diafragmático. Ambas as medidas, embora úteis na pesquisa, são invasivas e exigentes na prática de suas técnicas, demandando tempo e conhecimento específico por parte da equipe de assistência [4].

Nos últimos anos, tem crescido o interesse por métodos de avaliação por imagem do diafragma. A radiografia de tórax pode revelar a elevação da hemicúpula diafragmática, porém apresenta baixa sensibilidade ou especificidade [4,10,11]. A fluoroscopia e a tomografia computadorizada são técnicas que utilizam radiação ionizante, exigem operador qualificado e transporte do paciente para o departamento de radiologia [4,12]. A ressonância magnética é uma técnica que avalia quantitativamente a excursão, sincronia e velocidade do movimento diafragmático, mas apresenta como desvantagem a disponibilidade limitada, custos elevados e a necessidade de transporte do paciente [11]. Já a ultrassonografia (USG) apresenta diversas vantagens em relação aos demais métodos de avaliação por imagem, tais como ausência de radiação, disponibiliza a imagem em tempo real, trata-se de um método não invasivo, de baixo custo sendo de execução rápida e simples, o que permite sua utilização por profissionais treinados [2,12-14].

A USG é uma ferramenta cada vez mais conhecida e utilizada na unidade de terapia intensiva (UTI) por fisioterapeutas, sendo capaz de detectar o deslocamento diafragmático durante a respiração espontânea ou assistida, refletindo a capacidade do diafragma de gerar força e, portanto, volume corrente. No entanto, não está esclarecida na literatura a interpretação desse exame em relação ao processo de desmame da VM [15].

Esta revisão objetiva reunir estudos que utilizaram a avaliação da condição morfofuncional do músculo diafragma através de USG e sua associação com os desfechos de pacientes ventilados mecanicamente.

Metodologia

Trata-se de uma de revisão de literatura não sistemática, considerando as publicações disponíveis nas bases de dados bibliográficos PEDro, PubMed, MedLine e Scielo no período de 2008 a 2018. A coleta foi realizada por dois pesquisadores independentes e um terceiro para consenso. As buscas ocorreram no período de maio à junho de 2018. Os termos utilizados na pesquisa foram selecionados e combinados de acordo com os descritores em saúde da Biblioteca Virtual em Saúde: *Diaphragm, ultrasound, function and mechanical ventilation, weaning*. Os termos foram combinados e adaptados para que fosse possível a pesquisa em todas as bases de dados.

Critérios de inclusão e exclusão

Foram incluídos somente estudos experimentais do tipo ensaios clínicos, ensaios aleatorizados e estudos comparativos nos idiomas português, espanhol e inglês. Foram excluídos os estudos do tipo revisão sistemática, metanálise, consenso, teórico, estudo de caso, estudo piloto, editorial, realizados em modelo animal, população neonatal e pediátrica, além dos estudos duplicados.

Resultados

O resultado da busca encontra-se descrito na figura 1. Quatro estudos tiveram como objetivo relacionar as variáveis do US com o sucesso do desmame e/ou extubação, dois deles demonstraram longitudinalmente o comportamento da espessura diafragmática durante o período de VM, outros dois correlacionaram a espessura do músculo diafragma com os fatores de risco para disfunção diafragmática em UTI e outro autor investigou quais variáveis adquiridas pela USG no músculo diafragma poderia melhor expressar a função diafragmática.

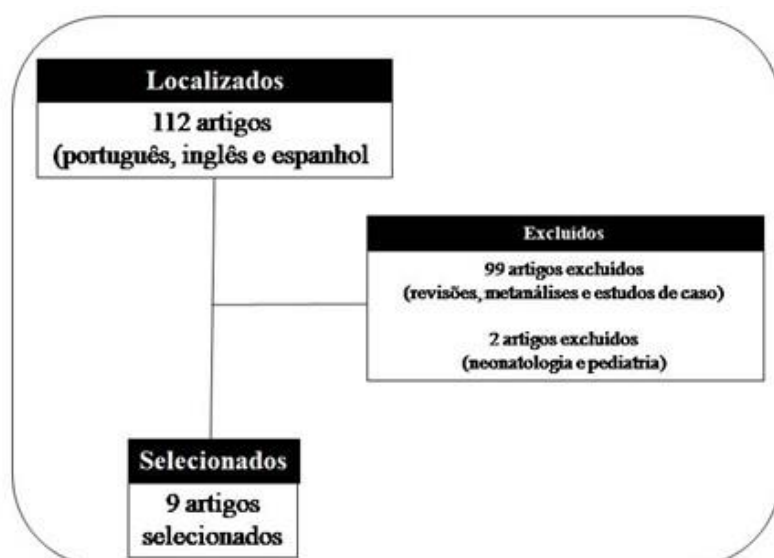


Figura 1 - Artigos localizados, excluídos e selecionados para o estudo conforme a definição dos critérios de inclusão e exclusão.

A tabela I exibe o tamanho amostral, as variáveis escolhidas para avaliação morfofuncional do músculo diafragma pelo método da USG e os desfechos encontrados em cada um dos estudos selecionados.

Tabela I - Síntese das amostras, variáveis analisadas pelo método de ultrassonografia e desfechos encontrados pelos estudos selecionados.

Autor, ano	Amostra	Variáveis analisadas	Desfecho
Zambon M, 2016 [16]	40	ED, FED	Diminuição da ED de 1,5%/dia na ventilação assistida com baixa pressão de suporte e 7,5%/dia em ventilação mecânica controlada, sendo o nível de suporte preditor na perda de espessura muscular.
Schepens T, 2015 [17]	53	ED	A atrofia do diafragma ocorreu de forma rápida já nas primeiras 24h, sendo maior ainda a diminuição da ED no decorrer das 72h de VMI.
Grosu HB, 2017 [18]	57	ED	Foi evidenciado uma atrofia progressiva do diafragma nas medidas de US em série nas primeiras 72h. Não encontraram correlação com a falha de extubação.
Mariani LF, 2016 [19]	34	ExD	DD unilateral foi encontrada em 13 (38%) pacientes, e em ambos os lados em 8 (24%) pacientes. Os pacientes com DD bilateral tem média de melhora de 4 dias após o início de desmame. Sendo que os desfechos com DD bilateral são mais desfavoráveis e com maior mortalidade. DD bilateral resolvida antes da alta da UTI em 5 dos 7 pacientes reavaliados.
Di Nino E, 2014 [20]	63	FED, ED	O ED pode predizer o sucesso ou o fracasso da extubação com testes de pressão de suporte e respiração espontânea e esse método pode ser especialmente útil na redução do número de extubações mal sucedidas.
Hayat A, 2017 [21]	100	ExD	ExD não foi capaz de prever sucesso no desmame.
Dubé BP, 2017 [22]	112	ED, ExD e FED.	Não foi encontrada correlação significativa entre a ED e sua capacidade contrátil, sugerindo que a ED não deve ser usada como um estimador da contratilidade do diafragma no ambiente da UTI. Em contraste, foi encontrado uma forte relação entre a FED e a estimulação do nervo frênico, quando medida em pacientes que recebem um modo parcial de assistência ventilatória.
Lu Z, 2016 [23]	41	ED e FED.	A DD avaliada por US modo B parece ser comum em indivíduos com desmame prolongado. Indivíduos com DD apresentaram maior duração da VM e permanência na UTI.
Yoo JW, 2017 [30]	60	ExD e FED.	O grau de ExD obtido por US durante o teste de respiração espontânea parece mais preciso do que a alteração do ED para prever o sucesso da extubação.

UTI = unidade de terapia intensiva; ED = espessamento diafragmático; FED = fração de espessamento diafragmático; ExD = excursão diafragmática; US = ultrassonografia; VM = ventilação mecânica; DD = disfunção diafragmática.

Foi observado nos estudos selecionados a utilização de três variáveis: espessura diafragmática (n = 7); excursão diafragmática (n = 5) e fração de espessamento diafragmática

em volume corrente (n = 5). Um artigo utilizou 2 variáveis, espessura e excursão diafragmática para avaliação estática e dinâmica; 2 artigos combinaram as técnicas de excursão e fração de espessamento diafragmático; 1 artigo utilizou a espessura e a fração de espessamento do diafragma; e 3 artigos utilizaram as três variáveis.

Foram relatadas atrofia e disfunção diafragmática em função do tempo de ventilação mecânica em 6 artigos. A correlação da espessura diafragmática com o sucesso ou fracasso da extubação e desmame foi mostrada em 3 artigos, sendo 2 deles conclusivos de que não existe correlação significativa para estas condições. Um artigo mostrou que o grau de excursão diafragmática parece ser uma variável mais fidedigna para prever sucesso da extubação. Apenas um trabalho objetivou avaliar pacientes em ventilação mecânica não invasiva e mostrou que a mesma provoca uma maior mobilidade diafragmática vista pela ultrassonografia, sendo bem associada aos níveis de pressão parcial de dióxido de carbono inicial e aos 15 minutos de ventilação. Nenhum dos artigos acompanhou resultados em longo prazo, após o período em que o paciente não se encontrava mais em VM.

Discussão

Esta revisão procurou avaliar a condição morfofuncional do músculo diafragma através de ultrassonografia e sua associação com os desfechos de pacientes ventilados mecanicamente a partir da análise de nove estudos clínicos. A escolha do USG diafragmático em pacientes ventilados mecanicamente objetivou demonstrar os efeitos deletérios da ventilação mecânica, tais como hipotrofia e perda de mobilidade, dessa musculatura [16,17,29]. Outros estudos propuseram a utilização da USG diafragmática para prever sucesso de desmame, porém, os resultados ainda se apresentam inconclusivos [20,26].

Nos estudos longitudinais selecionados, onde foi analisada a espessura diafragmática, observou-se hipotrofia associada ao aumento do tempo de VM. Tal fato demonstra que ocorre redução da espessura muscular após o início da VM, em especial nas primeiras 24 horas. Ficou também evidenciando que a hipotrofia diafragmática ocorre proporcionalmente ao tempo de VM [17].

A hipotrofia do diafragma avaliada por ultrassonografia foi observada por Grosu *et al.* [18]. Os autores descrevem que a redução da massa muscular pode chegar a 6% de espessura por dia de VM.

Esses achados se coadunam com os descritos por Zambon [16] que relatou que a hipotrofia diária foi em média de 7,5% durante VMC, decrescendo para 5,3% com altos níveis de pressão de suporte (> 12 cmH₂O), e 1,5% com baixos níveis de pressão de suporte. Não houve hipotrofia atrofia quando os pacientes foram ventilados espontaneamente ou com pressão positiva contínua nas vias aéreas [16].

Hudson [27], também é taxativo ao afirmar que tanto a ventilação controlada, quanto a assistida podem promover hipotrofia diafragmática e como consequência a disfunção contrátil. Além disso, salienta que a hipotrofia diafragmática não está associada somente ao tempo de VM, mas também ao estresse oxidativo e protease.

Schepens [17] descreveu que o declínio da espessura do diafragma foi de 10,9% dia. Após 24 horas de ventilação a queda da espessura do diafragma foi de 9%. Esses resultados são similares aos obtidos por Grosu [18], que menciona que houve redução na espessura do diafragma em 84% de um total de 57 pacientes ventilados mecanicamente avaliados após 72 horas.

O tamanho das fibras musculares esqueléticas é regulado pelo equilíbrio entre a degradação e síntese proteica. Porém é bem estabelecido que a proteólise associada a depressão da síntese proteica resulta em perda líquida de proteína e hipotrofia das fibras do diafragma [28].

Considerando que a hipotrofia muscular diafragmática é um fenômeno indubitavelmente inevitável em pacientes ventilados mecanicamente, o uso da USG como ferramenta de avaliação longitudinal mostra-se bastante útil e sensível no que tange a mensuração dos efeitos deletérios a nível morfofuncional do diafragma.

Nesta revisão foram encontrados seis artigos que investigaram a deterioração progressiva do trofismo da musculatura diafragmática em função do tempo de VM, porém não localizamos nenhum trabalho que utilizasse a USG com a medida de espessura diafragmática e possíveis ganhos de massa em virtude de treinamento específico, como o treinamento muscular inspiratório [16-20,23].

Todas as avaliações de espessura e mobilidade diafragmáticas nos estudos que pretendiam usar o US como ferramenta preditiva de sucesso de desmame ou extubação foram realizadas com o paciente respirando em volume corrente. Porém, os índices preditivos para desmame e extubação utilizam métodos de avaliação de força e endurance, que usualmente solicitam que o paciente desenvolva inspiração rápida e profunda. Partindo desse pressuposto, o músculo diafragma apresenta dinâmica e espessamento diferente, quando é realizada avaliação da força inspiratória máxima e/ou enquanto o paciente ventila a volume corrente. Isso poderia auxiliar a explicar o porquê da utilização das variáveis obtidas pelo US em volume controlado como um índice preditivo para extubação, ainda que apresenta-se inconclusiva na literatura.

De acordo com Dubé [22], existe uma forte relação entre a força de contração do diafragma e a fração de espessamento, mas somente quando medida em ventilação assistida por pressão de suporte. A hipótese dos autores é que existe um maior esforço respiratório espontâneo em ventilação por pressão de suporte quando comparado a ventilação controlada. De fato, parece intuitivo supor que, na ausência de esforços respiratórios ativos, não se pode esperar que a fração de espessamento diafragmática atue como um estimador fisiológico dinâmico da função do diafragma.

Um único estudo se propôs a discutir quais das variáveis ultrassonográficas melhor descrevem a função diafragmática [22]. Os autores descrevem que é o primeiro estudo a investigar sistematicamente a relação entre marcadores derivados da função do diafragma (estimulação do nervo frênico) e um método estabelecido de avaliação da contratilidade do diafragma. Esses resultados ajudam a esclarecer a validade das medidas ultrassonográficas da função do diafragma na população da UTI, delinear as circunstâncias em que essas medidas devem ser realizadas para representar verdadeiramente a função do diafragma e sugerir que o valor prognóstico da função do diafragma nessa população é possível avaliar usando a USG. O autor sugere que os resultados obtidos fornecem evidências necessárias de que a fração de espessamento, avaliada pela USG, pode ser utilizada como método confiável para descrever a função diafragmática em modo de pressão de suporte, devido a presença de esforço como descrito anteriormente, e que para além de objetivos prognósticos, além de elucidar que as informações fornecidas pela USG podem ser utilizadas para manejo de indicações e acompanhamento de abordagens terapêuticas, como o treinamento muscular inspiratório.

Conclusão

As variáveis ultrassonográficas mais utilizadas pelos autores na atualidade são a espessura diafragmática, a fração de espessamento diafragmática e a excursão diafragmática. O uso do ultrassom na avaliação temporal da disfunção e hipotrofia diafragmáticas em pacientes ventilados mecanicamente parece estar bem estabelecido na literatura, porém, o emprego dessas três variáveis na predição de desfechos como sucesso de desmame e extubação apresentam resultados inconclusivos e merecem ser melhor estudadas.

Referências

1. Samanta S, Singh RK, Baronia AK, Poddar B, Azim A, Gurjar M. Diaphragm thickening fraction to predict weaning: a prospective exploratory study. *J Intensive Care* 2017;5:62. <https://doi.org/10.1186/s40560-017-0258-4>
2. Berger D, Bloechlinger S, Haehling SV, Doehner W, Takala J, Graggen WJ et al. Dysfunction of respiratory muscles in critically ill patients on the intensive care unit. *J Cachexia Sarcopenia Muscle* 2016;7:403-12. <https://doi.org/10.1002/jcsm.12108>
3. Flevari A, Lignos M, Konstantonis D, Armaganidis A. Diaphragmatic ultrasonography as an adjunct predictor tool of weaning success in patients with difficult and prolonged weaning. *Minerva Anestesiologica* 2016;82(11):1149-57.
4. Doorduyn J, Hees HWH, Hoeven JGVD, Heunks LMA. Monitoring of the respiratory muscles in the critically ill. *Am J Respir Crit Care Med* 2013;187(1):20-7. <https://doi.org/10.1164/rccm.201206-1117CP>
5. Demoule A, Jung B, Prodanovic H, Molinari N, Chanques G, Coirault C et al. Diaphragm dysfunction on admission to the intensive care unit. Prevalence, risk factors, and prognostic impact: a prospective study. *Am J Respir Crit Care Med* 2013;188(2):213-9. <https://doi.org/10.1164/rccm.201209-1668OC>

6. Levine S, Nguyen T, Taylor N, Friscia ME, Budak MT, Rothenberg P et al. Rapid disuse atrophy of diaphragm fibers in mechanically ventilated humans. *N Engl J Med* 2008;358(13):1327-35. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa070447>
7. Goligher E, Dres M, Fan E, Rubenfeld GD, Scales DC, Herridge MS et al. Mechanical ventilation-induced diaphragm atrophy strongly impacts clinical outcomes. *Am J Respir Crit Care Med* 2018;197(2):204-13. <https://doi.org/10.1164/rccm.201703-0536OC>
8. Laghi F, Tobin MJ. Disorders of the respiratory muscles. *Am J Respir Crit Care Med* 2003;168:10-48. <https://doi.org/10.1164/rccm.2206020>
9. Deem S, Lee CM, Curtis JR. Acquired neuromuscular disorders in the intensive care unit. *Am J Respir Crit Care Med* 2003;168:735-9. <https://doi.org/10.1164/rccm.200302-191UP>
10. Zambon M, Greco M, Bocchino S, Cabrini L, Beccaria PF, Zangrillo A. Assessment of diaphragmatic dysfunction in the critically ill patient with ultrasound: a systematic review. *Intensive Care Med* 2017;43(1):29-38. <https://doi.org/10.1007/s00134-016-4524-z>
11. Sarwal A, Walker FO, Cartwright MS. Neuromuscular ultrasound for evaluation of the diaphragm. *Muscle Nerve* 2013;47(3):319-29. <https://doi.org/10.1002/mus.23671>
12. Matamis D, Soilemezi E, Tsagourias M, Akoumianaki E, Dimassi S, Boroli F et al. Sonographic evaluation of the diaphragm in critically ill patients: technique and clinical applications. *Intensive Care Med* 2013;39:801-10. <https://doi.org/10.1007/s00134-013-2823-1>
13. Santana P, Prina E, Albuquerque ALP, Carvalho CRR, Caruso P. Identificação da diminuição da mobilidade diafragmática e do espessamento diafragmático na doença pulmonar intersticial: utilidade da ultrassonografia. *J Bras Pneumol* 2016;42(2):88-94. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-37562015000000266>
14. Kim WY, Suh HJ, Hong SB, Koh Y, Lim CM. Diaphragm dysfunction assessed by ultrasonography: influence on weaning from mechanical ventilation. *Crit Care Med* 2011;39(12):2627-30. <https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e3182266408>
15. Spadaro S, Grasso S, Mauri T, Corte FD, Alvisi V, Ragazzi R et al. Can diaphragmatic ultrasonography performed during the T-tube trial predict weaning failure? The role of diaphragmatic rapid shallow breathing index. *Crit Care* 2016;20:305. <https://doi.org/10.1186/s13054-016-1479-y>
16. Zambon M, Beccaria P, Matsuno J, Gemma M, Frati E, Colombo S et al. Mechanical ventilation and diaphragmatic atrophy in critically ill patients: an ultrasound study. *Crit Care Med* 2016;44(7):1347-52. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000001657>
17. Schepens T, Verbrugghe W, Dams K, Corthouts B, Parizel PM, Jorens PG. The course of diaphragm atrophy in ventilated patients assessed with ultrasound: a longitudinal cohort study. *Crit Care* 2015;19(1). <https://doi.org/10.1186/s13054-015-1141-0>
18. Grosu HB, Ost DE, Lee YI, Song J, Li L, Eden E et al. Diaphragm muscle thinning in subjects receiving mechanical ventilation and its effect on extubation. *Respir Care* 2017;62(7):904-11. <https://doi.org/10.4187/respcare.05370>
19. Mariani LF, Bedel J, Gros A, Lerolle N, Milojevic K, Laurent V et al. Ultrasonography for screening and follow-up of diaphragmatic dysfunction in the icu: a pilot study. *J Intensive Care Med* 2016;31(5):338-43. <https://doi.org/10.1177/0885066615583639>
20. Di Nino E, Gartman EJ, Sethi JM, McCool FD. Diaphragm ultrasound as a predictor of successful extubation from mechanical ventilation. *Thorax* 2014;69(5):431. <https://doi.org/10.1136/thoraxjnl-2013-204111>
21. Hayat A, Khan A, Khalil A, Asghar A. Diaphragmatic excursion: Does it predict successful weaning from mechanical ventilation? *J Coll Physicians Surg Pak* 2017;27(12):743-6.
22. Dubé BP, Dres M, Mayaux J, Demiri S, Similowski T, Demoule A. Ultrasound Evaluation of diaphragm function in mechanically ventilated patients: comparison to phrenic stimulation and prognostic implications. *Thorax* 2017;72(9):811-8. <https://doi.org/10.1136/thoraxjnl-2016-209459>
23. Lu Z, Xu Q, Yuan Y, Zhang G, Guo F, Ge H. Diaphragmatic dysfunction is characterized by increased duration of mechanical ventilation in subjects with prolonged weaning. *Respir Care* 2016;61(10):1316-22. <https://doi.org/10.4187/respcare.04746>
24. Nicolás JAS, Gómez CC, Villegas TV, Salmerón PP, Pérez BG. Relation between ultrasound-measured diaphragm movement and partial pressure of carbon dioxide in blood from patients with acute hypercapnic respiratory failure after the start of

- noninvasive ventilation in an emergency department. *Revista de la Sociedad Española de Medicina de Urgencias y Emergencias* 2016;28(5):345-8.
25. Yang L, Luo J, Bourdon J, Lin MC, Gottfried SB, Petrof BJ. Controlled mechanical ventilation leads to remodeling of the rat diaphragm. *American J Respir Crit Care Med* 2002;166(8):1135-40. <https://doi.org/10.1164/rccm.2202020>
 26. Kim WY, Lim CM. Ventilator-induced diaphragmatic dysfunction: diagnosis and role of pharmacological agents. *Respir Care* 2017;62(11):1485-91. <https://doi.org/10.4187/respcare.05622>
 27. Hudson MB, Smuder AJ, Nelson WB, Bruells CS, Levine S, Powers SK. Both high level pressure support ventilation and controlled mechanical ventilation induce diaphragm dysfunction and atrophy. *Crit Care Med* 2012;40(4):1254-60. <https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e31823c8cc9>
 28. Powers SK, Wiggs MP, Sollanek KJ, Smuder AJ. Ventilator-induced diaphragm dysfunction: cause and effect. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 2013;305(5):R464-77. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00231.2013>
 29. Umbrello M, Formenti P. Ultrasonographic assessment of diaphragm function in critically ill subjects. *Respir Care* 2016;61(4):542-55. <https://doi.org/10.4187/respcare.04412>
 30. Yoo JW, Lee SJ, Lee JD, Kim HC. Comparison of clinical utility between diaphragm excursion and thickening change using ultrasonography to predict extubation success. *KJIM* 2017;33(2). <https://doi.org/10.3904/kjim.2016.152>