

# Aspectos metodológicos da avaliação e medidas da espessura diafragmática com uso do ultrassom

*Methodological aspects of assessing and measuring diaphragmatic thickness using ultrasound*

*Aspectos metodológicos de la evaluación y medición del espesor diafragmatico mediante ultrasonido*

Larissa Kaliny Souza Amorim<sup>1</sup>, Nehemias Pereira da Silva<sup>2</sup>,  
Wirlla Caroline Pimentel Silva Arandas<sup>3</sup>,  
Barbara Estephany Paulino Silva<sup>4</sup>, Bárbara Bernardo Figueirêdo<sup>5</sup>

1.Fisioterapeuta pelo Centro Universitário Tiradentes de Pernambuco. Recife-PE, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0009-0008-7268-7151>

2.Bacharel em Fisioterapia pelo Centro Universitário Tiradentes de Pernambuco. Recife-PE, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0009-0006-6429-0870>

3.Fisioterapeuta pelo Centro Universitário Tiradentes de Pernambuco. Recife-PE, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0009-0004-0949-4905>

4.Fisioterapeuta pelo Centro Universitário Tiradentes de Pernambuco. Recife-PE, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4906-0429>

5.Fisioterapeuta, Doutora em Biologia Aplicada à Saúde pela Universidade Federal de Pernambuco. Docente do curso de Fisioterapia do Centro Universitário Tiradentes de Pernambuco. Recife-PE, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4949-6268>

## Resumo

**Introdução.** O músculo diafragma pode ter sua função comprometida por algumas doenças. Como ferramenta avaliativa deste músculo, a ultrassonografia (USG) vem sendo utilizada como uma grande aliada para a avaliação da espessura diafragmática (ED). **Objetivo.** Revisar a literatura acerca dos aspectos metodológicos da avaliação com uso da USG para medir a ED em respiração espontânea de adultos não saudáveis e reunir os valores do espessamento encontrados. **Método.** Revisão integrativa da literatura, de caráter descritivo. A busca foi realizada nas bases de dados PubMed, SciELO, PEDro, CAPES e BVS, selecionando estudos descritivos, analíticos, e intervencionais, nos últimos 10 anos, com maiores de 18 anos. **Resultados.** Dos 157 estudos, 151 foram excluídos, resultando em 6 estudos elegíveis. A ED foi avaliada em adultos com as seguintes patologias: Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC), Acidente Vascular Cerebral (AVC), Câncer (CA) no pulmão, Charcot-Marie-Tooth 1ª (CMT1A), Anemia Falciforme (AF) e Miosite por Corpos de Inclusão (MCI). A ED variou na média de 0,18 (ED-Inspiratória) a 0,48 (ED-inspiratória). A menor ED encontrada foi na MCI e o maior valor foi no AVC. **Conclusão.** Foram adotadas diferentes metodologias para a avaliação da ED. A revisão forneceu importantes dados de aspectos metodológicos, visto que podem facilitar o diagnóstico clínico e auxiliar na reabilitação pulmonar.

**Unitermos.** Adulto; diafragma; diagnóstico por imagem; músculos respiratórios; ultrassonografia

## Abstract

**Introduction.** The diaphragm muscle can have its function compromised by some diseases. As an evaluation tool for this muscle, ultrasound (USG) has been used as a great ally for assessing diaphragmatic thickness (DT). **Objective:** To review the literature on the methodological aspects of evaluation using USG to measure DT in spontaneous breathing in unhealthy adults and to gather the thickening values found. **Method.** A descriptive integrative literature review. The search was carried out in the PubMed, SciELO, PEDro, CAPES and BVS databases, selecting descriptive, analytical, and interventional studies, in the last 10 years,

with people over the age of 18. **Results.** Of the 157 studies, 151 were excluded, resulting in 6 eligible studies. DT was assessed in adults with the following pathologies: Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD), Stroke, Cancer (CA) of the lung, Charcot-Marie-Tooth 1st (CMT1A), Sickle Cell Anemia (SCA) and Inclusion Body Myositis (ICM). The mean DT ranged from 0.18 (DT-Inspiratory) to 0.48 (DT-Inspiratory). The lowest DT was found in ICM and the highest was found in stroke. **Conclusion.** Different methodologies have been used to assess DT. The review provided important data on methodological aspects, since they can facilitate clinical diagnosis and assist in pulmonary rehabilitation.

**Keywords.** Adult; diaphragm; diagnostic Imaging; respiratory muscles; ultrasonography

---

## Resumen

**Introducción.** El músculo diafragma puede tener su función comprometida por algunas enfermedades. Como herramienta de evaluación de este músculo, el ultrasonografía (USG) ha sido utilizado como un gran aliado para la evaluación del espesor diafragmático (ED).

**Objetivo.** Revisar la literatura sobre los aspectos metodológicos de la evaluación con USG para medir el ED en la respiración espontánea en adultos no sanos y cotejar los valores de engrosamiento encontrados. **Método.** Revisión bibliográfica descriptiva integradora. La búsqueda fue realizada en las bases de datos PubMed, SciELO, PEDro, CAPES y BVS, seleccionando estudios descriptivos, analíticos e intervencionistas, en los últimos 10 años, con personas mayores de 18 años. **Resultados.** De los 157 estudios, 151 fueron excluidos, resultando 6 estudios elegibles. Se evaluó la ED en adultos con las siguientes patologías: Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC), Accidente Cerebro Vascular (ACV), Cáncer (CA) de pulmón, Charcot-Marie-Tooth 1º (CMT1A), Anemia Falciforme (ANC) y Miositis por Cuerpos de Inclusión (MCI). La ED media osciló entre 0,18 (ED-Inspiratoria) y 0,48 (ED-Inspiratoria). La ED más baja se encontró en la MCI y la más alta en la ACV. **Conclusión.** Se han adoptado diferentes metodologías para evaluar el ED. La revisión aportó datos importantes sobre aspectos metodológicos, ya que pueden facilitar el diagnóstico clínico y ayudar en la rehabilitación pulmonar.

**Palabras clave.** Adulto; diafragma; diagnóstico por imagen; músculos respiratorios; ultrasonido

---

Trabalho realizado no Centro Universitário Tiradentes de Pernambuco. Recife-PE, Brasil

Conflito de interesse: não

Recebido em: 19/07/2023

Aceito em: 07/11/2023

Endereço de correspondência: Nehemias Pereira da Silva. Email: [nehemiaspsilva@gmail.com](mailto:nehemiaspsilva@gmail.com)

---

## INTRODUÇÃO

O músculo diafragma é considerado o principal músculo da inspiração, visto que, durante a sua contração, ele gera uma pressão negativa dentro da caixa torácica, fazendo com que possibilite a entrada do ar nos pulmões. Em caso de disfunção deste músculo, pode-se afetar a capacidade inspiratória e a funcionalidade dos demais músculos respiratórios<sup>1</sup>.

A função diafragmática pode ser acometida por doenças que lesionam a sua própria musculatura, ou por doenças que acometem o eixo neuromuscular (centros cerebrais, nervo frênico ou transmissão neuromuscular)<sup>2</sup>. A fim de garantir a respiração ininterrupta, rítmica e contínua, as fibras musculares do diafragma precisam ser resistentes à fadiga<sup>3</sup>.

Ultimamente, com o decorrer dos anos, o interesse pelo método de avaliação por imagem do diafragma tem aumentado. A medição da espessura do músculo diafragma pode ser realizada através de métodos invasivos e não invasivos. Por um lado, o método invasivo inclui a colocação direta de sonda para medição da contração diafragmática por estimulação do nervo frênico e eletromiografia. Por outro, os métodos não invasivos abrangem Radiografia, Ultrassonografia (USG), Fluoroscopia, Tomografia Computadorizada (TC) e Ressonância Magnética (RM). Enfatiza-se que Radiografia, Fluoroscopia e TC são meios de obtenção de imagens associados à exposição de radiação e são contraindicados em gestantes. Além disso, a RM dinâmica e os métodos invasivos apresentam uma maior complexidade por exigirem um operador qualificado<sup>4</sup>.

Vale salientar que a USG pode ser uma grande aliada durante a avaliação do músculo diafragma. Ela possui diversos benefícios por ser um método avaliativo não invasivo e não radioativo, além de ser uma ferramenta frequentemente disponível em clínicas e hospitais de grandes centros<sup>5</sup>.

A USG diafragmática permite a avaliação da mobilidade e espessura diafragmática (ED), e pode ser realizada nos próprios leitos hospitalares e em ambulatórios clínicos. A ED é avaliada por meio do uso de um transdutor de alta frequência (7 a 10MHz). Já para avaliar a mobilidade diafragmática, utiliza-se o transdutor de baixa frequência (3 a 5MHz)<sup>5</sup>.

A ED é medida por um transdutor de alta frequência, na qual é inserida na parede torácica entre a 7ª e a 9ª costelas na zona de aposição (ZA), local que o conteúdo abdominal se aproxima das costelas inferiores. Nesta área o diafragma se apresenta com uma estrutura de cinco camadas, sendo três camadas do músculo central não ecogênico e duas camadas ecogênicas, além da pleura diafragmática e peritônio<sup>6</sup>.

A ED pode ser visualizada no modo B e ser aferida no modo M. Ela é observada no espaço intercostal, onde as porções inferiores do diafragma possuem uma maior espessura, já as porções superiores apresentam uma menor espessura. Esse espessamento pode ser mensurado de acordo com a distância entre suas bordas, que são as duas linhas hiperecogênicas. Geralmente a espessura é avaliada na Capacidade Pulmonar Total (CPT), ou na Capacidade Residual Funcional (CRF) logo após de uma inspiração máxima. Quando a ED chega a medir <0,2cm no final da expiração, considera-se como ponto de corte de atrofia do músculo diafragma<sup>5,7</sup>.

A disfunção diafragmática (DD) pode ser diagnosticada por meio da medição da ED com aparelho de USG. Quando um diafragma apresenta paralisia, de forma crônica, ele é fino, atrófico e não se torna espesso no momento da inspiração<sup>1</sup>. E na paralisia do diafragma aguda ou subaguda, a ED pode ser normal, no entanto a capacidade de espessamento será limitada<sup>8</sup>. Sendo assim, a avaliação da espessura diafragmática e da fração de espessamento é importante para análise da função de contração do músculo diafragma e para o diagnóstico da atrofia deste músculo<sup>1</sup>.

Portanto, esta pesquisa objetivou revisar a literatura acerca dos aspectos metodológicos da avaliação com uso da USG para medir a espessura diafragmática em respiração espontânea de adultos não saudáveis e reunir os valores do espessamento encontrados.

## **MÉTODO**

Trata-se de uma revisão integrativa da literatura, de abordagem qualitativa e caráter descritivo. Uma revisão integrativa é uma metodologia que de forma abrangente busca identificar e sintetizar todas as informações relevantes da literatura em saúde para formular a melhor abordagem para o diagnóstico ou tratamento<sup>9</sup>.

A estratégia SPIDER foi utilizada para construir a questão de pesquisa e conduzir as buscas<sup>9</sup>. Esta estratégia foi desenvolvida a partir de uma adaptação da ferramenta PICO<sup>9</sup> para contribuir na robustez desta revisão e inclui os seguintes elementos: S (amostra): adultos; PI (fenômeno de

interesse): espessura diafragmática; D (desenho): estudos descritivos, analíticos e intervencionais; E (avaliação): Espessura diafragmática através da ultrassonografia; R (tipo de pesquisa): métodos mistos.

A busca foi realizada nas bases de dados eletrônicas *National Library of Medicine* (PubMed), *Scientific Electronic Library Online* (SciELO), *Physiotherapy Evidency Database* (PEDro), Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Biblioteca Virtual em Saúde (BVS), utilizando as palavra-chaves de acordo com Descritores em Ciências da Saúde (DECS): "adult", "diaphragm"; "diagnostic imaging"; "respiratory muscles"; "ultrasonography". utilizou-se o operador booleano "AND" entre as palavras-chaves acima citadas nos idiomas inglês, português e espanhol.

Além disso, as buscas eletrônicas foram limitadas, de acordo com os filtros disponíveis em cada base de dados. Na PubMed foram utilizados os filtros: *from 2012 by 2022; clinical trial, randomized controlled trial; 10 years; english, portuguese e spanish*. No Periódicos da CAPES foram utilizados os filtros: *desde 2012 até 2022; inglês, português e espanhol*. E no Portal Regional da BVS foram utilizados os filtros: *MEDLINE, LILACS; relato de casos, ensaio clínico controlado e estudo observacional; inglês, espanhol e português; últimos 10 anos*. A busca na literatura foi realizada no mês de agosto de 2022.

Os critérios de elegibilidade do presente estudo foram:  
a) estudos descritivos, analíticos e intervencionais; b)

amostra composta por maiores de 18 anos de idade, não saudáveis, em respiração espontânea que tivessem sido avaliados por meio da USG quanto a espessura do músculo diafragma; c) estudos publicados de 2012 a 2022; d) publicados nos idiomas português, inglês ou espanhol. Os estudos que não apresentaram todas essas características foram descartados, sendo excluídos também os estudos de revisão de literatura e revisão sistemática; e artigos que não continham dois ou mais elementos metodológicos relevantes, tais como, posição do paciente no momento da coleta, modo e modelo do USG utilizado, e a quantidade de medidas obtidas.

Dois revisores independentes (LKSA e NPS) realizaram o processo de seleção dos artigos de acordo com os critérios de elegibilidade pré-estabelecidos e o consenso entre eles foi adotado. Na análise preliminar, os artigos foram selecionados com base nas informações contidas nos títulos e resumos. Em seguida, foi feita a análise dos textos na íntegra e, somente os estudos que restaram ao final dessa avaliação, foram incluídos para a síntese qualitativa. Nos casos de discordância entre as partes, um terceiro revisor foi consultado (BBF).

## **RESULTADOS**

As buscas dos artigos foram feitas em cinco bases de dados, entretanto na SCIELO e PEDro nenhum artigo foi identificado. Apesar disso, foram encontrados 157 artigos

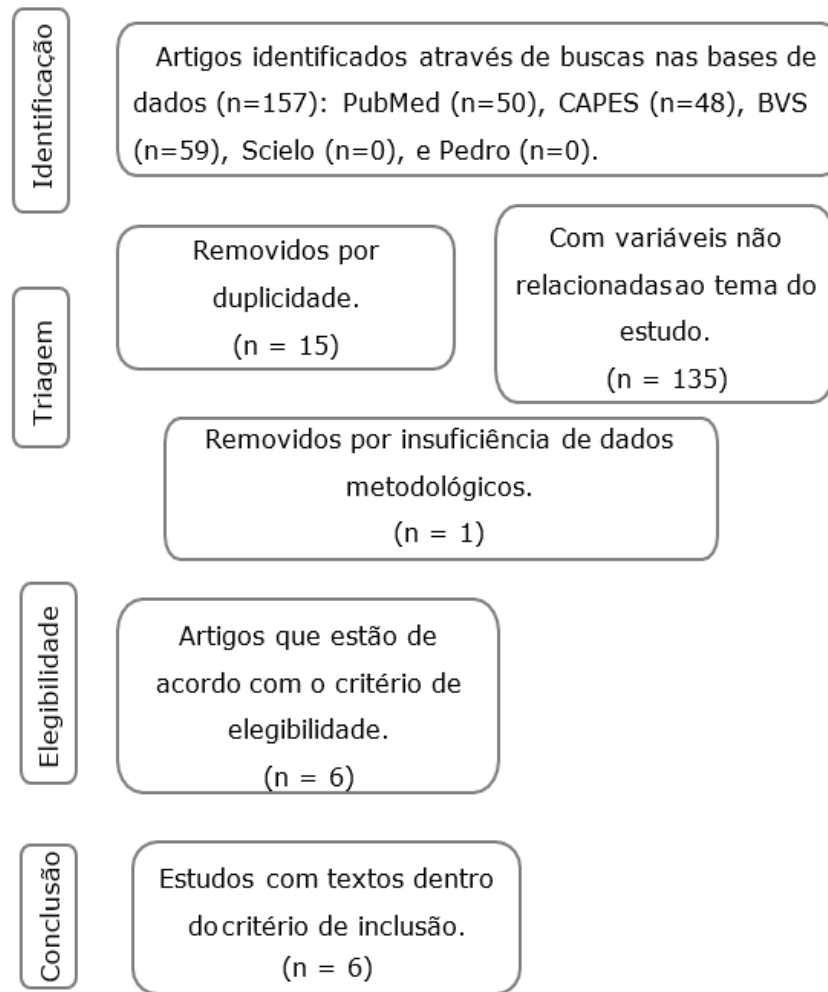
nas demais bases de dados (PUBMED, Periódicos da CAPES e Portal BVS).

Após leitura dos títulos e resumos, foram excluídos 151 estudos por não se enquadrarem nos critérios de elegibilidade: 15 por serem duplicados; 5 por envolverem apenas a mobilidade diafragmática; 3 por apresentarem idade abaixo de 18 anos; 69 por não deixarem claro o método utilizado ou por não apresentarem valores da medição ou abordagem da espessura diafragmática; 27 por estarem com texto completo indisponível; 5 por serem revisão sistemática ou de literatura; 14 por envolverem apenas indivíduos saudáveis e 12 por envolverem indivíduos doentes em respiração não espontânea (Figura 1).

O artigo de Jones 2020<sup>10</sup> realizou a medição da espessura diafragmática e a taxa de espessamento, porém foi excluído desta revisão após a leitura completa e minuciosa do artigo, por não descrever elementos metodológicos importantes como: modelo e modo do ultrassom (US), posicionamento do paciente para a avaliação e medidas da espessura do diafragma. Resultando assim em 6 artigos, que foram incluídos no presente estudo. A identificação e seleção dos estudos encontram-se no fluxograma (Figura 1).



Figura 1. Fluxograma das fases de identificação e seleção de estudos sobre avaliação da ED através da ultrassonografia em adultos não saudáveis.



Na Tabela 1 encontram-se informações dos estudos quanto aos tipos de estudos, número da amostra, média das idades e doença. Dos seis estudos selecionados, dois tratava-se de estudo caso-controle<sup>11,12</sup>, dois eram estudos controlados randomizados<sup>13,14</sup>, dois tratava-se de estudos transversais<sup>15,16</sup>.

Tabela 1. Características dos artigos selecionados quanto aos tipos de estudos, amostra, média das idades, e doença, 2022.

<b>Autor/ano</b>	<b>Tipo de estudo</b>	<b>Amostra</b>		<b>Média das idades (anos)</b>	<b>Doença</b>
Baria 2014 <sup>11</sup>	Caso Controle	200 indivíduos, sendo 50 doentes.		69	Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica
Cho 2018 <sup>13</sup>	Ensaio Controlado Randomizado	25 indivíduos doentes.		47,58	Acidente Vascular Cerebral
Kocjan 2018 <sup>14</sup>	Ensaio Controlado Randomizado	102	indivíduos, sendo 62 doentes.	49,6	Câncer no pulmão
Spiesshoefer 2019 <sup>12</sup>	Caso Controle	38	indivíduos, sendo 19 doentes.	47	Charcot-Marie-Tooth 1A
Zeitoune 2020 <sup>15</sup>	Transversal Observacional	84 indivíduos, sendo 44 doentes.		24,5	Anemia falciforme
Lelièvre 2021 <sup>16</sup>	Transversal	40 indivíduos, sendo 22 doentes (dois foram excluídos posteriormente devido à incerteza diagnóstica).		68	Miosite de Corpos de Inclusão

A espessura diafragmática (ED) foi descrita em adultos com as patologias: Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC)<sup>11</sup>; Acidente Vascular Cerebral (AVC)<sup>13</sup>; Câncer (CA) no pulmão<sup>14</sup>; Charcot-Marie-Tooth 1A (CMT1A)<sup>12</sup>; Anemia Falciforme (AF)<sup>15</sup> e Miosite por Corpos de Inclusão (MCI)<sup>16</sup>.

Foram encontradas diferentes formas de coleta da espessura diafragmática. Na Tabela 2, constam os métodos (incluindo modo utilizado, modelo do aparelho, quantidade de medições e posição do paciente), e os valores encontrados nos estudos das medidas de espessura do músculo diafragma. E na Tabela 3 apresentam-se os estudos quanto aos objetivos dos estudos, resultados encontrados e conclusão.

Tabela 2. Características dos estudos selecionados quanto aos métodos e medidas da ED encontradas, 2022.

<b>Autor/ano</b>	<b>Método</b>	<b>Medidas de espessura</b>
Baria 2014 <sup>11</sup>	a) Modo: B. b) US e transdutor utilizado: US portátil (Logiq E, GE) e um aparelho linear de 8 a 13 MHz. Transdutor de matriz. c) Quantidade de medições: 3 medições na insp. máx., e 3 medições na exp. máx. d) Posição do paciente: Supina	Valores da ED média em indivíduos com DPOC: D,(cm): 0,28 (Ø);[0,11-1,02] E,(cm): 0,32 (Ø); [0,11-0,79]. Valores da RE em indivíduos com DPOC: D: 1,9 (Ø); [1,2-3,2]. E: 1,9 (Ø); [1,2-3,8]. Valores da ED em pacientes com aprisionamento de ar: D,(cm): 0,26 (Ø); [0,14-0,59]. E,(cm): 0,26 (Ø); [0,15-0,52]. Valores da RE em indivíduos com aprisionamento de ar: D: 2,0 (Ø); [1,3-2,8]. E: 2,3 (Ø); [1,8-3,3].
Cho 2018 <sup>13</sup>	a) Modo: B em tempo real. b) US e transdutor utilizado: US MYSONO U5, Samsung Medicine, Seul, Coréia, com um transdutor linear de 5,0–14,0 MHz. c) Quantidade de medições: 6 medições. d) Posição do paciente: Ortostática e supina.	<i>Características Base</i> Valores da ED em indivíduos com AVC (n=12): ED afetada durante o repouso: 0,21 (0,05). ED afetada durante a contração: 0,38 (0,08). RE no diafragma afetado: 80,69 (47,20). ED não afetada durante o repouso: 0,23 (0,05). ED não afetada durante a contração: 0,48 (0,19). RE na ED não afetada: 111,39 (72,05).
Kocjan 2018 <sup>14</sup>	a) Modo: B. b) US e transdutor utilizado: US ALOKA 10 com uma sonda convexa multifrequência, com transdutor de alta frequência 7MHz. c) Quantidade de medições: 3 medições d) Posição do paciente: Supina.	Valores da ED de indivíduos com CA de pulmão (grupo 1): Insp.,(cm): 0,30 (Ø); [0,28–0,31]. Exp.,(cm): 0,23 (Ø); [0,21–0,24]. FE (%): 35,33; [29,43–41,24] Valores da ED de indivíduos com CA de pulmão pós ressecção do lobo (grupo 2): Insp.,(cm): 0,27 (Ø); [0,26–0,29]. Exp.,(cm): 0,21 (Ø); [0,18–0,23]. FE (%): 24,17; [18,99–29,34].
Spiesshoefer 2019 <sup>12</sup>	a) Modo: Não mencionado. b) Transdutor utilizado: US portátil (LOGIQ S8 -XD clear, GE Healthcare, London, Reino Unido) e um transdutor linear de 10 MHz foi usado para ED na ZA. c) Quantidade de medições: 3 medições. d) Posição do paciente: Supina.	Valores da ED em indivíduos com CMT1A: Na CRF (cm): 0,21 (Ø); 0,18-0,23 (IQ). Na CPT (cm): 0,36 (Ø); 0,33-0,45 (IQ). RE: 1.9 (1.6-2.2).
Zeitoun 2020 <sup>15</sup>	a) Modo: B. b) US e transdutor utilizado: Um Aplio XG com transdutores de multifrequência lineares (7–18 MHz) e convexos (2–5 MHz). c) Quantidade de medições: 3 medições durante a apneia inspiratória, e 3 medições durante a apneia expiratória. d) Posição do paciente: Supina.	Valores da ED em indivíduos com AF: Insp. máx direita (cm): 0,31 (Md); 0,25–0,40 (IQ). Exp. máx direita (cm): 0,17 (Md); 0,15–0,20 (IQ). FE da ED direita (%): 71,5 (52,2-109). Insp. máxima esquerda (cm): 0,30 (Md); 0,26–0,39 (IQ). Exp. máx. esquerda (cm): 0,17 (Md); 0,15–0,21 (IQ). FE da ED esquerda (%): 73,1 (49,9-100).
Lelièvre 2021 <sup>16</sup>	a) Modo: B b) Transdutor utilizado: Transdutor de arranjo linear de 4–12 MHz (Sparq, Philips, EUA). c) Quantidade de medições: 3 medidas em cada hemidiafragma d) Posição do paciente: Semi-reclinada (aproximadamente ângulo de 30°).	Valores da espessura do músculo diafragma: Ao final da insp. máx. (mm): 1,89 (Ø); 1,55–2,23 (IQ). Ao final da exp. máx. (mm): 3,65 (Ø); 2,93–4,20 (IQ). FE (%): 90 (48-124). FE do “baixo” diafragma (%): 50±18 FE do “alto” diafragma (%): 124±26

DPOC: Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica; cm: Centímetros; AVC: Acidente Vascular Cerebral; ED: Espessura Diafragmática; CA: Câncer; FE: Fração de Espessamento; RE: Razão de Espessamento; CMT1A: Charcot-Marie-Tooth 1A; CRF: Capacidade Residual Funcional; CPT: Capacidade Pulmonar Total; AF: Anemia Falciforme; IQ: Intervalo Interquartil; mm: Milímetros; Md: Mediana; Ø: Média; Insp: Inspiração; Exp: Expiração; Máx: Máxima; MHz: Megahertz; US: Ultrassom; ZA: Zona de Aposição; [ ]: intervalo de variação; D: Direito; E: Esquerdo.

Tabela 3. Características dos estudos selecionados quanto aos objetivos dos autores, resultados e conclusão, 2022.

Autor/ano	Objetivos	Resultados	Conclusão
Baria 2014 <sup>11</sup>	Estabelecer valores normais de estrutura e função diafragmática em pacientes com DPOC como forma de facilitar o uso de US.	Não houve diferença significativa na ED ou RE entre os lados dentro dos grupos (controle ou pacientes com DPOC) ou entre os grupos, com exceção do subgrupo com aprisionamento aéreo grave no qual a única diferença foi que a RE foi maior à esquerda.	Pacientes com DPOC com fraqueza respiratória neuromuscular coexistente, os mesmos valores estabelecidos para indivíduos controles saudáveis servem como linha de base para comparação. Esse conhecimento amplia o papel da USG na avaliação de pacientes com DPOC.
Cho 2018 <sup>13</sup>	Investigar o efeito do TMI na função inspiratória, espessura do diafragma, resistência à caminhada e fadiga em pacientes com AVC.	Houve uma melhora significativa no grupo TMI na PIMáx, resistência muscular inspiratória, ED afetada durante a contração, a RE no diafragma afetado e os escores da escala de gravidade da fadiga (correção de Bonferroni $P < 0,005$ ), em comparação com seus valores basais.	O TMI foi eficaz em melhorar a função respiratória e induzir alterações estruturais, principalmente no diafragma afetado.
Kocjan 2018 <sup>14</sup>	Examinar se os parâmetros de função do diafragma (espessura e amplitude de movimento) estão associados à manutenção do equilíbrio estático.	Maior ED durante a respiração ativa e FE foram associados a melhores parâmetros de equilíbrio estático. A limitação do movimento do diafragma durante a respiração tranquila e profunda foi associada a distúrbios do equilíbrio.	O comprometimento da função do diafragma foi manifestado pela redução da espessura muscular, e a restrição de movimento do músculo diafragma foi associada a distúrbios do equilíbrio em uma amostra clínica e em indivíduos saudáveis. A deterioração da função do diafragma observada após a cirurgia torácica estava intimamente relacionada com a diminuição da manutenção do equilíbrio.
Spiesshoefer 2019 <sup>12</sup>	Investigar de forma abrangente a condutividade do nervo frênico, a função muscular inspiratória e expiratória em pacientes ambulatoriais com CMT1A.	A RE do diafragma foi menor em pacientes CMT1A em comparação com os controles (em 23%, 1,9 [1,6-2,2] vs 2,5 [2,1-3,1]).	A neuropatia axonal dos nervos frênicos está associada à fraqueza dos músculos inspiratórios. E a disfunção do diafragma está relacionada à gravidade clínica da doença, refletindo em uma doença crônica que já atinge pacientes sem sintomas respiratórios.
Zeitoune 2020 <sup>15</sup>	Avaliar aspectos morfológicos e funcionais do diafragma por USG em adultos com AF e avaliar se a musculatura diafragmática pode desempenhar um papel nas alterações encontradas nos TFPs desses pacientes.	Os diafragmas tiveram ecogenicidade preservada e a espessura não foi significativamente diferente entre os grupos.	Adultos com AF apresentaram ausência de disfunção diafragmática, com maior movimentação do hemidiafragma direito durante as manobras de respiração profunda e sniff test. Apesar do padrão restritivo e da redução da força muscular respiratória encontrada nos testes de função pulmonar, o diafragma de adultos jovens com AF não apresentaram fraqueza ou paralisia.
Lelièvre 2021 <sup>16</sup>	Comparar a atividade do diafragma entre pacientes com MCI e controles pareados e quantificar o impacto negativo do envolvimento do diafragma na dispneia induzida pelo exercício em pacientes com MCI. Os objetivos secundários incluíram a comparação da função pulmonar em repouso, capacidade funcional e qualidade de vida de acordo com os níveis de atividade do diafragma.	A FE do diafragma foi significativamente menor nos pacientes e correlacionado com o tempo desde o início dos sintomas. Pacientes com MCI com atividade diafragmática "baixa" tiveram menor distância no TC6, maior dispneia de repouso e esforço e uma maior diminuição posicional na capacidade vital do que pacientes com atividade 'alta'.	O envolvimento do diafragma na MCI está relacionado à duração da doença e tem efeitos prejudiciais na função pulmonar, dispneia e capacidade de exercício.

MCI: Miosite de Corpos de Inclusão; TMI: Treinamento Muscular Inspiratório; TC6: Teste de Caminhada de 6 minutos; DPOC: Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica; CMT1A: Charcot-Marie-Tooth 1A; USG: Ultrassonografia; AF: Anemia Falciforme; TFPs: Teste de Função Pulmonar; FE: Fração de Espessamento; US: Ultrassom; RE: Razão de Espessamento.

Alguns estudos, segundo os critérios dos autores, descreveram a ED através de fração de espessamento (FE), observados nos indivíduos com CA no pulmão, AF e MCI<sup>14-16</sup>. E razão/taxa de espessamento (RE) nos indivíduos com DPOC, AVC e CMT1A<sup>11-13</sup>.

Os artigos em sua maioria obtiveram os valores da ED para diagnóstico ou para reabilitação, como para o treinamento muscular inspiratório (TMI) com a finalidade de fortalecer o músculo diafragma e melhorar a sintomatologia clínica<sup>13</sup>; avaliação da função muscular na inspiração e expiração, e o desempenho do músculo diafragma em indivíduos com CMT1A e AF<sup>12,15</sup>; para examinar os parâmetros da função do diafragma<sup>14</sup>; analisar os níveis de atividade do diafragma e quantificar o impacto negativo no diafragma durante a dispneia induzida pelo exercício em pacientes com MCI<sup>16</sup>; avaliação da função do músculo diafragma em pacientes com DPOC que apresentam insuficiência respiratória neuromuscular<sup>11</sup>. O estudo que realizou o TMI<sup>13</sup>, foi incluído nesta revisão integrativa para extração apenas dos dados basais, visto que os dados referentes à espessura do músculo diafragma após o TMI não fazem parte dos objetivos da presente revisão e, portanto, não tiveram seus valores descritos.

Para avaliar a contração e a atrofia do diafragma, é necessário obter a avaliação da ED e da FE<sup>17</sup>. A espessura é medida desde o centro da linha pleural até o centro da linha peritoneal no término da expiração (ED-exp) e, em seguida,

no término da inspiração (ED-insp), no modo B<sup>1</sup>. Portanto, a FE é calculada da seguinte forma:

$$FE = \frac{ED_{insp} - ED_{exp}}{ED_{exp}} \times 100$$

A maior parte dos artigos expressaram as medidas de espessura em cm, porém o estudo de Lelièvre 2021<sup>16</sup> expressou em mm. Então, foram transformados os estudos que expressavam a espessura em mm para cm para facilitar as comparações. A ED variou na média de 0,18 (ED-insp) a 0,48cm (ED-insp). A menor espessura encontrada em centímetros foi na MCI<sup>16</sup>, e o maior valor encontrado foi no AVC<sup>13</sup>. Neste estudo, o autor não menciona a unidade de medida dos valores encontrados, porém, de acordo com valores obtidos, parecem ser expressos em centímetros<sup>13</sup>.

Os valores da espessura foram todos obtidos no modo B e com repetições de medidas que variaram de 3<sup>12,14,15</sup> a 6<sup>11,13</sup> repetições. O artigo de Spiesshoefer 2019<sup>12</sup> coletou a espessura na respiração tranquila e os trabalhos de Baria 2014<sup>11</sup>, Spiesshoefer 2019<sup>12</sup>, Cho 2018<sup>13</sup>, Kocjan 2018<sup>14</sup>, Zeitoune 2020<sup>15</sup> na respiração profunda. O estudo de Lelièvre 2021<sup>16</sup> avaliou os indivíduos na respiração tranquila e na capacidade pulmonar total (CPT).

## **DISCUSSÃO**

O US tem sido uma ferramenta utilizada para avaliar a estrutura e a função do diafragma, sendo o modo B mais amplamente utilizado para a avaliação da ED. No entanto, a

metodologia utilizada para essa avaliação ainda é variada, apesar das recomendações de padronização do teste<sup>1,18</sup>.

As vantagens do US em relação a outras modalidades de imagem incluem: portabilidade, custo relativamente baixo e por ser um método não invasivo. Este método apresenta mais vantagens em comparação à radiografia simples de tórax e a videofluoroscopia. Pois, tais modalidades apresentam altas taxas de resultados falsos positivos e falsos negativos, bem como, as medidas de pressão transdiafragmática são invasivas, desconfortáveis e úteis apenas para paralisia bilateral<sup>1</sup>.

No estudo de Baria 2014<sup>11</sup>, os resultados mostraram que os indivíduos com DPOC apresentaram espessura e contração do diafragma semelhantes aos de indivíduos saudáveis. Outro estudo também identificou estrutura e função normal do diafragma em pacientes com DPOC, comparado aos valores em indivíduos saudáveis<sup>19</sup>. Esses achados são clinicamente significativos, pois, segundo os autores, evidenciaram que valores basais de indivíduos saudáveis para ED e RE podem ser indicados a pacientes com DPOC ao avaliar insuficiência respiratória neuromuscular sobreposta.

A disfunção diafragmática, quando presente em pacientes com DPOC, pode refletir no comprometimento mecânico da excursão secundária à hiperinsuflação pulmonar, ao invés de alteração fisiológica da contratilidade<sup>11</sup>. Esse achado se correlaciona com estudo sobre as consequências da hiperinsuflação pulmonar na

relação entre os componentes costal e crural do diafragma<sup>20</sup>.

O estudo de Baria 2014<sup>11</sup> indicou que a ED-exp e FE estão correlacionadas inversamente com o aprisionamento aéreo. A possível implicação clínica do aprisionamento aéreo está correlacionada com a redução da mobilidade e ao espessamento diafragmático<sup>1</sup>. Bem como a redução da mobilidade e da FE (<20%) durante a exacerbação aguda da DPOC está correlacionado aos piores resultados encontrados nos estudos.

O estudo de Cho 2018<sup>13</sup> apresentou achados importantes em relação aos valores de avaliação da ED: houve assimetria dos músculos inspiratórios durante a contração, devido ao enfraquecimento do lado afetado, o que leva a um movimento ineficaz do lado não afetado. Por isso, essas alterações podem se tornar piores devido à instabilidade da parede torácica e a um estilo de vida inativo. E isso resulta no enfraquecimento dos músculos respiratórios do lado afetado e não afetado. O segundo achado apresentou um comparativo entre os grupos, na qual houve diferenças significativas na RE na ED afetada, em relação a ED não afetada. Neste estudo os autores consideraram a RE como a divisão da ED durante a manobra de PImáx da CRF, pela ED média durante o relaxamento da CRF. E isso indicou que a fraqueza teve maior relevância no diafragma afetado<sup>13</sup>.

Segundo Kocjan 2018<sup>14</sup>, maiores valores de espessura inspiratória do diafragma, FE e movimento do diafragma no momento da respiração profunda e tranquila, estavam



relacionados a melhores parâmetros de equilíbrio. Pois, de acordo com os autores, a atenuação na relação comprimento-tensão do diafragma durante a ventilação, decorrente do movimento reduzido do diafragma, produziu um estado de irritabilidade insuficiente dos proprioceptores; e subsequentes estímulos sensoriais indevidos para fornecer controle postural adequado e manutenção do equilíbrio. Portanto, os autores levantaram a suposição de que quando o diafragma não está funcionando adequadamente, sua capacidade proprioceptiva é diminuída.

No estudo de Kocjan 2018<sup>14</sup> foi apresentado relação entre pacientes com diagnóstico de CA de pulmão e pacientes submetidos à ressecção pulmonar, com indivíduos saudáveis. Além disso, os autores relataram que o déficit da função do diafragma, investigado após a cirurgia torácica, está diretamente relacionada à deterioração da manutenção do equilíbrio. De acordo com os estudos anteriores, foi analisado que o papel do diafragma na estabilidade lombar diminuiu, à medida que a demanda por respiração aumentou<sup>21,22</sup>. Pois, de acordo com Kocjan 2018<sup>14</sup>, com relação a esse achado, foi postulado que a fadiga do diafragma pode acentuar a instabilidade de equilíbrio. Por causa disso, estudos mostram algumas evidências que o treinamento muscular inspiratório (60% de PImax) aprimorou o controle postural proprioceptivo, ao abordar a função estabilizadora do tronco do diafragma<sup>23</sup>.

O estudo de Spiesshoefer 2019<sup>12</sup> avaliou indivíduos com a doença de CMT1A. Os achados deste estudo são de

interesse clínico e neurofisiológico, visto que, foi apontado a redução da força muscular respiratória, que pode estar relacionada à função do diafragma, associado ao comprometimento neurológico do nervo frênico devido a sintomatologia da CMT1A. Como consequência, os indivíduos apresentaram a inspiração comprometida, fazendo com que a CPT máxima fosse reduzida, prejudicando a força de expiração, que pode ser detectada na PEmáx. Em outro estudo, durante as avaliações com USG, os 16 indivíduos avaliados com CMT1A também apresentaram uma diminuição da PImax e PEmax<sup>24</sup>.

Diante disso, Spiesshoefer 2019<sup>12</sup> aponta que os pacientes com CMT1A que possuíam a função motora mais acometida, apresentaram comprometimento respiratório maior, uma vez que a força e função do diafragma (PImax e RE) estão inversamente associadas à gravidade da doença. A relação entre a gravidade da doença e o comprometimento motor já foi observada em outro estudo<sup>25</sup>; estes achados além de serem encontrados em indivíduos que apresentaram fraqueza muscular aparente, como a dispneia, também podem ser encontrados em indivíduos que não relatam problemas respiratórios. Também foi identificado que mesmo com o indivíduo sem evidenciar queixas respiratórias, apresentaram o comprometimento do nervo frênico, que estava associado com perda axonal e a gravidade da doença<sup>26</sup>.

O estudo de Zeiutone 2020<sup>15</sup> realizou a avaliação em indivíduos com AF. Os autores observaram que apesar dos

TFPs detectarem a diminuição da força muscular respiratória (FMR), na USG do músculo diafragma a espessura não demonstrou alterações significativas e durante a respiração profunda. O teste de FMR apontou uma estabilidade nos músculos inspiratórios, no entanto, a força muscular expiratória apresentou um maior comprometimento. Na USG a espessura não apresentou alterações morfoestruturais significativas em indivíduos com AF, que indiquem algum achado respiratório<sup>27</sup>. No entanto, já foi apontado que indivíduos com AF apresentaram maior sensibilidade à fadiga muscular em razão do envolvimento (vascular, estrutural e energético) da musculatura esquelética<sup>28</sup>.

O estudo de Lelièvre 2021<sup>16</sup> mostrou que os pacientes com a menor taxa de atividade contrátil do diafragma apresentaram escores de dispneia significativamente maiores e menor tolerância ao exercício. Os autores acreditaram que, assim como em outros estudos de doenças neuromusculares<sup>29,30</sup>, o aumento da percepção da dispneia nos indivíduos com baixa atividade contrátil do diafragma está associado a um desequilíbrio na junção neuro ventilatória fundamental à ventilação eupneica. De modo que, a incapacidade muscular de produzir ventilação alveolar suficiente, no aumento das demandas metabólicas, resultou na elevação do impulso neural para respirar que foi observado num quadro dispneico.

Todavia, segundo Lelièvre 2021<sup>16</sup> não foi observada relação entre os níveis de dispneia e função do diafragma, pelo fato do pequeno tamanho da amostra ter influenciado

na observação. Os autores classificaram como “baixa” ou “alta” atividade contrátil do diafragma, porém esta classificação parece de discussão. Além de Lelièvre 2021<sup>16</sup>, outros estudos que envolveram a USG diafragmática sugeriram que valores da FE abaixo de 20% representaram paralisia grave do diafragma<sup>1</sup>.

Segundo Lelièvre 2021<sup>16</sup> não se obtiveram indivíduos com valores de FE < 20%, e aqueles com “baixa” atividade contrátil do diafragma mostraram indicações claras de envolvimento do diafragma na avaliação clínica e fisiológica. Esses achados reforçaram o ponto de vista no uso de um limiar fixo da FE para identificar a DD grave, e devem ser levados em consideração no momento do uso do US como ferramenta clínica, principalmente quando houver o cenário de medidas repetidas ao longo do tempo. Valores de referência de espessura na posição recostada a 45° e sentada, expressos em mm foram apresentados em outros estudos, e esses valores foram transformados em cm, que variou entre 0,45 (ED-insp) a 0,56 (ED-insp) cm<sup>1,31</sup>. Entretanto, o estudo de Lelièvre 2021<sup>16</sup> realizou as medições na posição semi-reclinada (aproximadamente ângulo de 30°), já o estudo de Cho 2018<sup>13</sup>, verificou nas posições ortostática e supina.

Dentre os nossos achados dos artigos que informaram os valores da FE, a população da amostragem destes estudos não foi identificada DD grave, visto que, nenhum dos estudos apresentaram indivíduos com FE < 20%, considerado como valor de referência citado por Lelièvre 2021<sup>16</sup>. Já a RE irá

variar de acordo com o cálculo de cada autor. No entanto, o valor referência da RE do estudo de Baria 2014<sup>11</sup> indica <1,2; semelhante ao valor já relatado e que variou de 1,2-1,3%<sup>32</sup>.

Além disso, foi identificado em outros estudos, que pacientes com paralisia unilateral obtiveram valores da ED-exp e FE consideravelmente mais baixos no hemidiafragma paralisado, pois tais indivíduos apresentaram ED-exp<20mm e FE<20%, em comparação aos valores de indivíduos saudáveis<sup>1</sup>.

A média mínima encontrada foi de 0,18cm, Lelièvre 2021<sup>16</sup>, utilizando a posição semi-reclinada (aproximadamente ângulo de 30°), em indivíduos com MCI. Na posição sentada, foi observado 0,45cm como valor ideal de referência, que foi expresso em 4,5mm<sup>1</sup>. Portanto, esse valor abaixo da referência para a ED-insp pode ter sido resultado da média de 68 anos de idade dos indivíduos, presença de dispneia e baixa tolerância ao exercício; e isso faz com que o valor da média encontrado fique abaixo do desejável.

A média máxima encontrada foi de 0,48cm, Cho 2018<sup>13</sup>, utilizando a posição ortostática e supina, em indivíduos com AVC. No entanto, mesmo que a posição da avaliação tenha sido distinta, nota-se que a média máxima encontrada está dentro do valor ideal de referência, devido ao fato de o hemidiafragma não estar afetado<sup>1</sup>.

Em síntese, a prática da USG tem alcançado importante espaço na avaliação do músculo diafragma, pois os valores da ED, RE e FE obtidos por esse método, pode ser eficaz para

um completo diagnóstico clínico. A coleta dos valores, a depender da necessidade, na contração ou repouso do diafragma, ou na CPT e CRF, podem indicar meios que otimizem a função pulmonar, a ventilação e a força muscular respiratória; a fim de evitar a DD que compromete o sistema respiratório e a paralisia.

## **CONCLUSÃO**

Foram adotadas diferentes metodologias para a avaliação da espessura diafragmática (ED), sendo mensurada em postura supina, semi-reclinada ou ortostática, variando de 3 a 6 medidas, em respiração tranquila e/ou capacidade pulmonar total; utilizando transdutor com frequência de 2 a 18mHz, medidos na zona de aposição. A espessura foi descrita nos adultos com diferentes patologias e os valores medidos variaram na média de 0,18 a 0,48cm. A menor espessura encontrada em centímetros foi na Miosite por Corpos de Inclusão, e o maior valor encontrado foi no AVC. Esta revisão forneceu importantes dados sobre os aspectos metodológicos da avaliação da espessura diafragmática com a USG, assim como, quanto aos valores medidos encontrados em adultos não saudáveis e em respiração espontânea. Esses dados podem ser especialmente importantes, visto que podem facilitar o diagnóstico clínico e auxiliar na reabilitação pulmonar desses grupos.

## REFERÊNCIAS

- 1.Santana PV, Cardenas LZ, Albuquerque ALP, Carvalho CRR, Caruso P. Diaphragmatic ultrasound: a review of its methodological aspects and clinical uses. *J Bras Pneumol* 2020;46:e20200064. <https://doi.org/10.36416/1806-3756/e20200064>
- 2.McCool FD, Tzelepis GE. Dysfunction of the diaphragm. *N Engl J Med* 2012;366:932-42. <https://doi.org/10.1056/NEJMra1007236>
- 3.Gransee HM, Mantilla CB, Sieck GC. Respiratory muscle plasticity. *Compr Physiol* 2012;2:1441-62. <https://doi.org/10.1002/cphy.c110050>
- 4.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>
- 5.Caruso P, Albuquerque AL, Santana PV, Cardenas LZ, Ferreira JG, Prina E, *et al.* Diagnostic methods to assess inspiratory and expiratory muscle strength. *J Bras Pneumol* 2015;41:110-23. <https://doi.org/10.1590/S1806-37132015000004474>
- 6.Nason LK, Walker CM, McNeeley MF, Burivong W, Fligner CL, Godwin JD. Imaging of the diaphragm: anatomy and function. *Radiographics* 2012;32:51-70. <https://doi.org/10.1148/rq.322115127>
- 7.Thimmaiah VT, Geetha MJ, Keval PJ. Evaluation of Thickness of Normal Diaphragm by B Mode Ultrasound. *Inter J Contemp Med Res* 2016;3:2658-60. [https://www.ijcmr.com/uploads/7/7/4/6/77464738/ijcmr\\_902\\_sep\\_18.pdf](https://www.ijcmr.com/uploads/7/7/4/6/77464738/ijcmr_902_sep_18.pdf)
- 8.Santana PV, Prina E, Caruso P, Carvalho CR, Albuquerque AL. Dyspnea of unknown cause. Think about diaphragm. *Ann Am Thorac Soc* 2014;11:1656-9. <https://doi.org/10.1513/AnnalsATS.201404-181CC>
- 9.Higgins JPT. *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions*, Version 5.1.0. The Cochrane Collaboration. [www.handbook-5-1.cochrane.org](http://www.handbook-5-1.cochrane.org)
- 10.Jones HN, Kuchibhatla M, Crisp KD, Hobson-Webb LD, Case L, Batten MT, *et al.* Respiratory muscle training in late-onset Pompe disease: Results of a sham-controlled clinical trial. *Neuromuscul Disord* 2020;30:904-14. <https://doi.org/10.1016/j.nmd.2020.09.023>
- 11.Baria MR, Shahgholi L, Sorenson EJ, Harper CJ, Lim KG, Strommen JA, *et al.* B-mode ultrasound assessment of diaphragm structure and function in patients with COPD. *Chest* 2014;146:680-5. <https://doi.org/10.1378/chest.13-2306>
- 12.Spiesshoefer J, Henke C, Kabitz HJ, Akova-Oeztuerk E, Draeger B, Herkenrath S, *et al.* Phrenic nerve involvement and respiratory muscle weakness in patients with Charcot-Marie-Tooth disease 1A. *J Peripher Nerv Syst* 2019;24:283-93. <https://doi.org/10.1111/jns.12341>
- 13.Cho JE, Lee HJ, Kim MK, Lee WH. The improvement in respiratory function by inspiratory muscle training is due to structural muscle changes in patients with stroke: a randomized controlled pilot trial. *Top*



- Stroke Rehabil 2018;25:37-43.  
<https://doi.org/10.1080/10749357.2017.1383681>
- 14.Kocjan J, Gzik-Zroska B, Nowakowska K, Burkacki M, Suchoń S, Michnik R, *et al.* Impact of diaphragm function parameters on balance maintenance. PLoS One 2018;13:e0208697.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208697>
- 15.Zeitoune R, Mogami R, Koifman AC, Lopes AJ, Soares AR, Martins RA, *et al.* Diaphragm ultrasonography in adults with sickle cell anemia: evaluation of morphological and functional aspects. Hematology 2020;25:372-82. <https://doi.org/10.1080/16078454.2020.1833506>
- 16.Lelièvre MH, Hudson M, Botez SA, Dubé BP. Determinants and functional impacts of diaphragmatic involvement in patients with inclusion body myositis. Muscle Nerve 2021;63:497-505.  
<https://doi.org/10.1002/mus.27170>
- 17.Cohn D, Benditt JO, Eveloff S, McCool FD. Diaphragm thickening during inspiration. J Appl Physiol 1997;83:291-6.  
<https://doi.org/10.1152/jappl.1997.83.1.291>
- 18.Laveneziana P, Albuquerque A, Aliverti A, Babb T, Barreiro E, Dres M, *et al.* ERS statement on respiratory muscle testing at rest and during exercise. Eur Respir J 2019;53:1801214.  
<https://doi.org/10.1183/13993003.01214-2018>
- 19.Topeli A, Laghi F, Tobin MJ. The voluntary drive to breathe is not decreased in hypercapnic patients with severe COPD. Eur Respir J 2001;18:53-60. <https://doi.org/10.1183/09031936.01.00014101>
- 20.Macklem PT, Macklem DM, De Troyer A. A model of inspiratory muscle mechanics. J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol 1983;55:547-57. <https://doi.org/10.1152/jappl.1983.55.2.547>
- 21.Hodges PW, Heijnen I, Gandevia SC. Postural activity of the diaphragm is reduced in humans when respiratory demand increases. J Physiol 2001;537:999-1008. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.2001.00999.x>
- 22.Vostatek P, Novák D, Rychnovský T, Rychnovská S. Diaphragm postural function analysis using magnetic resonance imaging. PLoS One 2013;8:e56724. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0056724>
- 23.Janssens L, McConnell AK, Pijnenburg M, Claeys K, Goossens N, Lysens R, *et al.* Inspiratory muscle training affects proprioceptive use and low back pain. Med Sci Sports Exerc 2015;47:12-9.  
<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000385>
- 24.De Carvalho Alcântara M, Nogueira-Barbosa MH, Fernandes RM, da Silva GA, Lourenço CM, Sander HH, *et al.* Respiratory dysfunction in Charcot-Marie-Tooth disease type 1A. J Neurol 2015;262:1164-71. <https://doi.org/10.1007/s00415-015-7677-8>
- 25.Krajewski KM, Lewis RA, Fuerst DR, Turansky C, Hinderer SR, Garbern J, *et al.* Neurological dysfunction and axonal degeneration in Charcot-Marie-Tooth disease type 1A. Brain 2000;123:1516-27.  
<https://doi.org/10.1093/brain/123.7.1516>
- 26.Sagliocco L, Orlandi G, Calabrese R, Pellegrinetti A, Baglini O, Castelli F, *et al.* Electrodiagnostic evidence of phrenic nerve demyelination in Charcot-Marie-Tooth disease 1A. Am J Phys Med



- Rehabil 2003;82:754-9.  
<https://doi.org/10.1097/01.PHM.0000087453.94529.0D>
27. Ticinesi A, Meschi T, Narici MV, Lauretani F, Maggio M. Muscle Ultrasound and Sarcopenia in Older Individuals: A Clinical Perspective. *J Am Med Dir Assoc* 2017;18:290-300. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2016.11.013>
28. Gonçalves CEA, Silva PO, Soares MS, Bunn PS, Lima CMA, Lopes AJ. Muscle dysfunction is associated with poorer health-related quality of life in adults with sickle cell anaemia. *J Back Musculoskelet Rehabil* 2019;32:43-53. <https://doi.org/10.3233/BMR-171027>
29. de Carvalho M, Swash M, Pinto S. Diaphragmatic Neurophysiology and Respiratory Markers in ALS. *Front Neurol* 2019;10:143. <https://doi.org/10.3389/fneur.2019.00143>
30. Kumar N, Folger WN, Bolton CF. Dyspnea as the predominant manifestation of bilateral phrenic neuropathy. *Mayo Clin Proc* 2004;79:1563-5. <https://doi.org/10.4065/79.12.1563>
31. Ueki J, De Bruin PF, Pride NB. In vivo assessment of diaphragm contraction by ultrasound in normal subjects. *Thorax* 1995;50:1157-61. <https://doi.org/10.1136/thx.50.11.1157>
32. Boon AJ, Harper CJ, Ghahfarokhi LS, Strommen JA, Watson JC, Sorenson EJ. Two-dimensional ultrasound imaging of the diaphragm: quantitative values in normal subjects. *Muscle Nerve* 2013;47:884-9. <https://doi.org/10.1002/mus.23702>