

AVALIAÇÃO DA ESPESSURA DIAFRAGMÁTICA POR MEIO DA ULTRASSONOGRAFIA EM ADULTOS NÃO SAUDÁVEIS: REVISÃO INTEGRATIVA DA LITERATURA

Larissa Kaliny Souza Amorim

Nehemias Pereira da Silva

Bárbara Bernardo Rinaldo da Silva Figueirêdo

Fisioterapia

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 (Tdi). **Objetivo:** Revisar a literatura acerca da avaliação da Tdi por meio da USG em adultos não saudáveis. **Metodologia:** 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 Tdi 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 Tdi variou na média de 0,18 (Tdi-inspiratória) a 0,48 (Tdi-inspiratória). A menor Tdi encontrada foi na MCI e o maior valor foi no AVC. **Conclusão:** A USG é um método não invasivo importante para a avaliação da Tdi de indivíduos doentes. A medida da Tdi pode viabilizar uma melhor conduta clínica do profissional de saúde habilitado, garantindo qualidade de vida e saúde à população.

PALAVRAS-CHAVE

Adulto, diafragma, diagnóstico por imagem, músculos respiratórios, ultrassonografia.

ABSTRACT

Introduction: The diaphragm muscle may have its function compromised by some diseases. As an evaluative tool for this muscle, ultrasonography (USG) has been used as a great ally for the assessment of diaphragmatic thickness (Tdi). **Objective:** To review the literature about the evaluation of Tdi through USG in unhealthy adults. **Methods:** Integrative literature review, descriptive. 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 18 years old. **Results:** Of the 157 studies, 151 were excluded, resulting in 6 eligible studies. Tdi was evaluated in adults with the following pathologies: Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD), Cerebral Vascular Accident (CVA), lung cancer (CA), 1st Charcot-Marie-Tooth (CMT1A), Sickle Cell Anemia (SCA) and Myositis by Inclusion Bodies (MCI). Tdi varied on average from 0.18 (Tdi-inspiratory) to 0.48 (Tdi-inspiratory). The lowest Tdi found was in MCI and the highest value was in stroke. **Conclusion:** USG is an important non-invasive method for the evaluation of Tdi in sick individuals. The measurement of the Tdi can enable a better clinical conduct of the qualified health professional, guaranteeing quality of life and health to the population.

KEYWORDS

Adult, diaphragm, diagnostic imaging, respiratory muscles, ultrasonography.

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 (CUNHA *et al.*, 2017; SANTANA *et al.*, 2020).

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) (MC COOL, 2012). A fim de garantir a respiração ininterrupta, rítmica e contínua, as fibras musculares do diafragma precisam ser resistentes à fadiga (GRANSEE *et al.*, 2012).

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 a Radiografia, Ultrassom, Fluoroscopia, Tomografia Computadorizada (TC) e Ressonância Magnética (RM). Enfatiza-se que Radiografias, 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 (MATAMIS *et al.*, 2013).

A ultrassonografia (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 (CARUSO *et al.*, 2015).

A ação do método da USG no diafragma permite a avaliação da mobilidade e espessura diafragmática (Tdi), e pode ser realizada nos próprios leitos hospitalares e em ambulatórios clínicos. A Tdi é avaliada através do uso de um transdutor de alta frequência (7 a 10 MHz). Já para avaliar a mobilidade diafragmática, utiliza-se o transdutor de baixa frequência (3 a 5 MHz) (CARUSO *et al.*, 2015).

A Tdi 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 (NASON *et al.*, 2012).

A Tdi é observada no espaço intercostal, onde as porções inferiores do diafragma possuem uma maior espessura, já as porções superiores apresentam uma menor espessura. Quando a Tdi chega a medir < 0,2 cm no final da expiração, considera-se como ponto de corte de atrofia do músculo diafragma (THIMMAIAH *et al.*, 2016).

Atualmente, a avaliação da espessura do músculo diafragma tem muita aplicabilidade, principalmente para a identificação da paralisia do diafragma. Além disso, ele pode ser visualizado e mensurado através da USG no modo B, na qual é considerada como melhor ferramenta para detectar paralisia bilateral ou unilateral em indivíduos que apresentam quadro clínico com suspeita de disfunção no diafragma (THIMMAIAH *et al.*, 2016).

A Tdi pode ser observado no modo B e ser aferido no modo M. Esse espessamento pode ser mensurado de acordo com a distância entre suas bordas, que são as duas linhas hiperecogênicas. Geralmente a Tdi é avaliada na Capacidade Pulmonar Total (CPT), ou na Capacidade Residual Funcional (CRF) logo depois de uma inspiração máxima (CARUSO *et al.*, 2015). Portanto, esta pesquisa objetivou revisar a literatura acerca da avaliação da espessura diafragmática por meio da ultrassonografia em adultos não saudáveis.

METODOLOGIA

Trata-se de uma revisão integrativa da literatura, de abordagem qualitativa e caráter descritivo. 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 (relato de caso e série de casos), estudos analíticos (caso controle, transversal e coorte) e estudos intervencionais (ensaio clínico randomizado); b) amostra composta por maiores de 18 anos de idade, doentes, em respiração espontânea que tivessem sido avaliados através 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 US utilizado, e a quantidade de medidas obtidas.

Dois revisores independentes (L.K.S.A. e N.P.S.) 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 (B.B.R.S.F.).

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 *et al* (2020) 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 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).

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 tratavam-se de estudo caso-controle (BARIA *et al.*, 2014; SPIESSHOEFER *et al.*, 2019), dois eram estudos controlados randomizados (CHO *et al.*, 2018; KOCJAN *et al.*, 2018;), dois tratavam-se de estudos transversais (ZEITOUNE *et al.*, 2020; LELIÈVRE *et al.*, 2021).

A espessura diafragmática (Tdi) foi descrita em adultos com as patologias: Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC) (BARIA *et al.*, 2014); Acidente Vascular Cerebral (AVC) (CHO *et al.*, 2018); câncer (CA) no pulmão (KOCJAN *et al.*, 2018); Charcot-Marie-Tooth 1ª (CMT1A) (SPIESSHOEFER *et al.*, 2019); Anemia Falciforme (AF) (ZEITOUNE *et al.*, 2020) e Miosite por Corpos de Inclusão (MCI) (LELIÈVRE *et al.*, 2021).

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.

Os estudos descreveram a Tdi através de fração de espessamento (FE) em indivíduos com CA no pulmão, AF e MCI (KOCJAN *et al.*, 2018; ZEITOUNE *et al.*, 2020; LELIÈVRE *et al.*, 2021). E na razão/taxa de espessamento (RE) em indivíduos com DPOC, AVC e CMT1A (BARIA *et al.*, 2014; CHO *et al.*, 2018; SPIESSHOEFER *et al.*, 2019).

Os artigos em sua maioria obtiveram os valores da Tdi 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 (CHO *et al.*, 2018.); avaliação da função muscular na inspiração e expiração, e o desempenho do músculo diafragma em indivíduos com CMT1A e AF (SPIESSHOEFER *et al.*, 2019; ZEITOUNE *et al.*, 2020); para examinar os parâmetros da função do diafragma (KOCJAN *et al.*, 2018); analisar os níveis de atividade do diafragma e quantificar o impacto negativo no diafragma durante a dispneia induzida pelo exercício em pacientes com MCI (LELIÈVRE *et al.*, 2021); avaliação da função do músculo diafragma em pacientes com DPOC que apresentam insuficiência respiratória neuromuscular (BARIA *et al.*, 2014). O estudo que realizou o TMI (CHO *et al.*, 2018), 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.

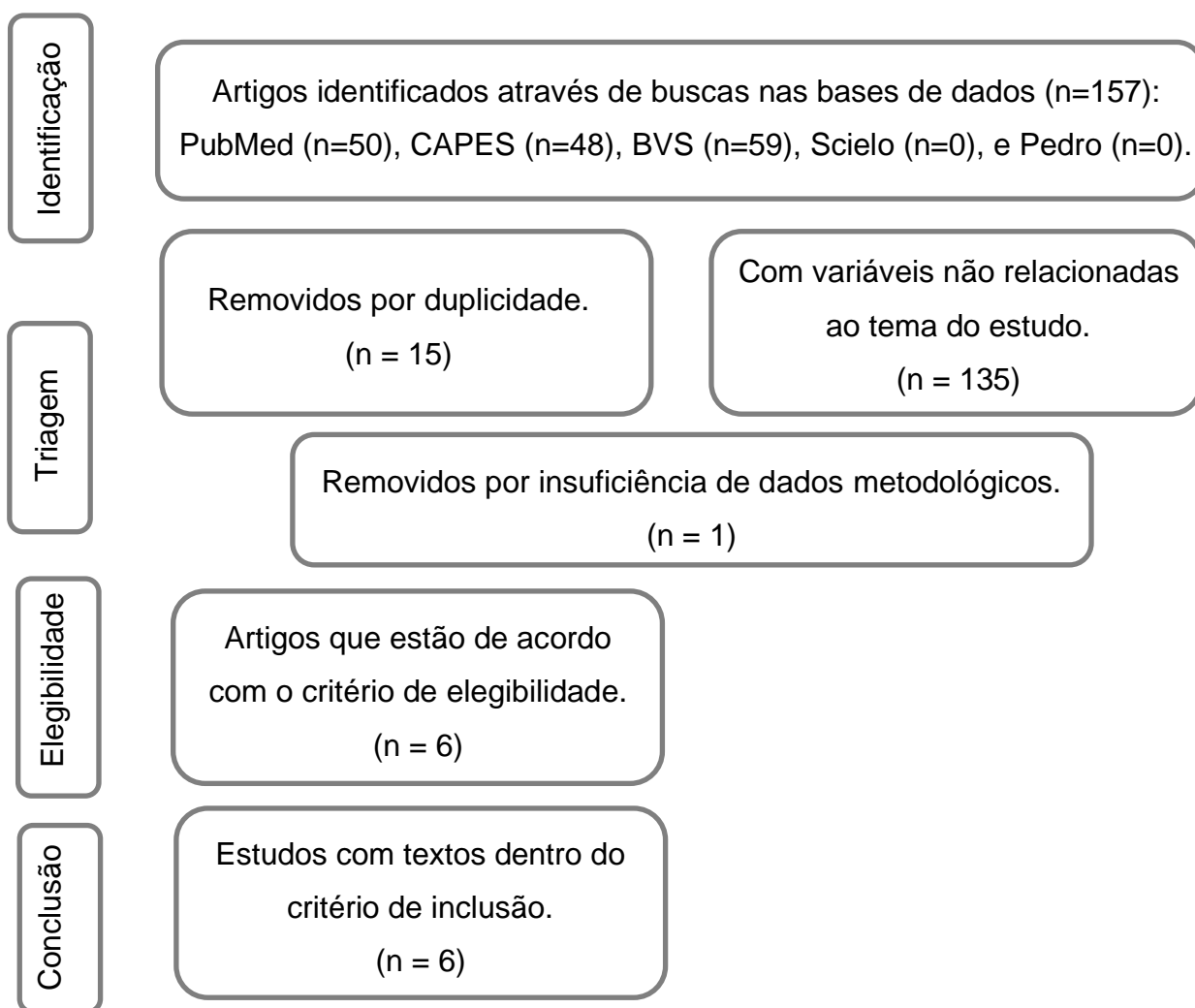
Para avaliar a contração e a atrofia do diafragma, é necessário obter a avaliação da Tdi e da FE (GOTTESMAN *et al.*, 1997; COHN *et al.*, 1997). Segundo Santana *et al.* (2020), a Tdi é medida desde o centro da linha pleural até o centro da linha peritoneal no término da expiração (Tdi-exp) e, em seguida, no término da inspiração (Tdi-insp), no modo B. Portanto, a FE é calculada da seguinte forma:

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

A maior parte dos artigos expressaram as medidas de espessura em cm, porém o estudo de Lelièvre *et al.* (2021) expressou em mm. Então, foram transformados os estudos que expressavam a espessura em mm para cm para facilitar as comparações. A Tdi variou na média de 0,18 (Tdi-insp) a 0,48 (Tdi-insp) cm. A menor espessura encontrada em centímetros foi na MCI (Lelièvre *et al.*, 2021), e o maior valor encontrado foi no AVC. Neste estudo, o autor não menciona a unidade de medida dos valores encontrados, porém, de acordo com valores obtidos, parecem ser expressos em cm (CHO *et al.*, 2018).

Os valores da espessura foram todos obtidos no modo B e com repetições de medidas que variaram de 2 (KOCJAN *et al.*, 2018; SPIESSHOEFER *et al.*, 2019; ZEITOUNE *et al.*, 2020) a 6 (BARIA *et al.*, 2014; CHO *et al.*, 2018) repetições. O artigo de Spiesshoefer *et al.* (2019) coletou a espessura na respiração tranquila e os trabalhos de Baria *et al.* (2014); Cho *et al.* (2018); Kocjan *et al.* (2018); Spiesshoefer *et al.* (2019); Zeitoune *et al.* (2020) na respiração profunda. O estudo de Lelièvre *et al.* (2021) avaliou os indivíduos na respiração tranquila e na capacidade pulmonar total (CPT).

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



Fonte: Autores (2022).

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

AUTOR/ANO	TIPO DE ESTUDO	AMOSTRA	MÉDIA DAS IDADES	DOENÇA
Baria <i>et al.</i> , 2014.	Caso Controle	200 indivíduos, sendo 50 doentes.	69 anos	Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica
Cho <i>et al.</i> , 2018.	Ensaio Controlado Randomizado	25 indivíduos doentes.	47,58 anos	Acidente Vascular Cerebral
Kocjan <i>et al.</i> , 2018.	Ensaio Controlado Randomizado	102 indivíduos, sendo 62 doentes.	49,6 anos	Câncer no pulmão
Spiesshoefer <i>et al.</i> , 2019.	Caso Controle	38 indivíduos, sendo 19 doentes.	47 anos	Charcot-Marie-Tooth 1A
Zeitoune <i>et al.</i> , 2020.	Transversal Observacional	84 indivíduos, sendo 44 doentes.	24,5 anos	Anemia falciforme
Lelièvre <i>et al.</i> , 2021.	Transversal	40 indivíduos, sendo 22 doentes (dois foram excluídos posteriormente devido à incerteza diagnóstica).	68 anos	Miosite de Corpos de Inclusão

Fonte: Autores (2022).

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

AUTOR/ANO	MÉTODOS	MEDIDAS DE ESPESSURA
Baria <i>et al.</i> , 2014.	<p>a) Modo: B.</p> <p>b) US e transdutor utilizado: US portátil (Logiq E, GE) e um aparelho linear de 8 a 13 mHz. Transdutor de matriz.</p> <p>Quantidade de medições: 3 medições na insp. máx., e 3 medições na exp. máx.</p> <p>c) Posição do paciente: Supina</p>	<p>Valores da Tdi média em indivíduos com DPOC:</p> <p>D,(cm): 0,28 (Ø);[0,11-1,02]</p> <p>E,(cm): 0,32 (Ø); [0,11-0,79].</p> <p>Valores da RE em indivíduos com DPOC:</p> <p>D: 1,9 (Ø); [1,2-3,2].</p> <p>E: 1,9 (Ø); [1,2-3,8].</p> <p>Valores da Tdi em pacientes com aprisionamento de ar:</p> <p>D,(cm): 0,26 (Ø); [0,14-0,59].</p> <p>E,(cm): 0,26 (Ø); [0,15-0,52].</p> <p>Valores da RE em indivíduos com aprisionamento de ar:</p> <p>D: 2,0 (Ø); [1,3-2,8].</p> <p>E: 2,3 (Ø); [1,8-3,3].</p>
Cho <i>et al.</i> , 2018.	<p>a) Modo: B em tempo real.</p> <p>b) US e transdutor utilizado: US MYSONO U5, Samsung Medicine,</p>	<p>Características Base</p> <p>-Valores da Tdi em indivíduos com AVC (n=12):</p> <p>Tdi afetada durante o repouso: 0,21 (0,05).</p> <p>Tdi afetada durante a contração: 0,38 (0,08).</p>

Seul, Coréia, com um transdutor linear de 5,0–14,0 MHz.

Quantidade de medições: 6 medições.

c) Posição do paciente:

Ortostática e supina

RE no diafragma afetado: 80,69 (47,20).

Tdi não afetada durante o repouso: 0,23 (0,05).

Tdi não afetada durante a contração: 0,48 (0,19).

RE na Tdi não afetada: 111,39 (72,05).

Kocjan *et al.*,
2018.

a) Modo: B.

b) US e transdutor utilizado: US ALOKA 10 com uma sonda convexa multifrequência, com transdutor de alta frequência 7MHz.

Quantidade de medições: 3 medições

c) Posição do paciente: Supina.

Valores da Tdi de indivíduos com CA de pulmão (grupo 1):

Ins,(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 Tdi de indivíduos com CA de pulmão pós ressecção do lobo (grupo 2):

Ins,(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 *et al.*, 2019.

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 Tdi na ZA.

Valores da Tdi 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).

<p>Zeitoune <i>et al.</i>, 2020.</p>	<p>Quantidade de medições: 3 medições.</p> <p>c) Posição do paciente: Supina.</p> <p>a) Modo: B.</p> <p>b) US e transdutor utilizado: Um Aplio XG com transdutores de multifrequência lineares (7–18 mHz) e convexos (2–5 mHz).</p> <p>Quantidade de medições: 3 medições durante a apneia inspiratória, e 3 medições durante a apneia expiratória.</p> <p>c) Posição do paciente: Supina.</p>	<p>Valores da Tdi em indivíduos com AF:</p> <p>Insp. máx direita (cm): 0,31 (Md); 0,25–0,40 (IQ).</p> <p>Exp. máx direita (cm): 0,17 (Md); 0,15–0,20 (IQ) .</p> <p>FE da Tdi direita (%): 71,5 (52,2-109).</p> <p>Insp. máxima esquerda (cm): 0,30 (Md); 0,26–0,39 (IQ).</p> <p>Exp. máx. esquerda (cm): 0,17 (Md); 0,15–0,21 (IQ).</p> <p>FE da Tdi esquerda (%): 73,1 (49,9-100).</p>
<p>Lelièvre <i>et al.</i>, 2021.</p>	<p>a) Modo: B</p> <p>b) Transdutor utilizado: Transdutor de arranjo linear de 4–12 MHz (Sparq, Philips, EUA).</p> <p>Quantidade de medições: 3 medidas em cada hemidiafragma</p>	<p>Valores da espessura do músculo diafragma:</p> <p>Ao final da insp. máx. (mm): 1,89 (Ø); 1,55–2,23 (IQ).</p> <p>Ao final da exp. máx. (mm): 3,65 (Ø); 2,93–4,20 (IQ).</p> <p>FE (%): 90 (48-124).</p> <p>FE do “baixo” diafragma (%): 50±18</p> <p>FE do “alto” diafragma (%): 124±26</p>

c) Posição do paciente: Semi-reclinada (aproximadamente ângulo de 30°).

Legenda: DPOC: Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica; cm: Centímetros; AVC: Acidente Vascular Cerebral; Tdi: 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.

Fonte: Autores (2022).

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

AUTOR/ANO	OBJETIVOS	RESULTADOS	CONCLUSÃO
Baria <i>et al.</i> , 2014.	Estabelecer valores normais de estrutura e função diafragmática em pacientes com DPOC como forma de facilitar o uso de US como ferramenta diagnóstica na avaliação da insuficiência respiratória neuromuscular em pacientes com DPOC.	Não houve diferença significativa na Tdi 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 <i>et al.</i> , 2018.	Investigar o efeito do TMI na função inspiratória, espessura do diafragma, resistência à caminhada e fadiga em pacientes com AVC.	Houve uma melhora estatisticamente significativa no grupo TMI na PImáx, resistência muscular inspiratória, Tdi 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 <i>et al.</i> , 2018.	Examinar se os parâmetros de função do diafragma (espessura e amplitude de movimento) estão	Maior Tdi durante a respiração ativa e FE foram associados a melhores parâmetros de equilíbrio estático. A	O comprometimento da função do diafragma foi manifestado pela diminuição da espessura muscular e a

associados à manutenção do equilíbrio estático

limitação do movimento do diafragma durante a respiração tranquila e profunda foi associada a distúrbios do equilíbrio. Não houve correlação entre a excursão do músculo diafragma durante as manobras de sniff e os parâmetros de equilíbrio.

restrição de movimento do músculo diafragma foi fortemente 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 deterioração da manutenção do equilíbrio.

Spiesshoefer *et al.*, 2019.

Investigar de forma abrangente a condutividade do nervo frênico, a função muscular inspiratória e expiratória em pacientes ambulatoriais com CMT1A.

Pacientes e grupo controle apresentaram RE do diafragma (1,9 [1,6-2,2] vs 2,5 [2,1-3,1]) e twPdi (8 ± 6 vs 19 ± 7 cmH₂O). 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, mesmo em pacientes não cadeirantes, refletindo em uma doença crônica que já atinge pacientes sem sintomas respiratórios.

Zeitoune <i>et al.</i> , 2020.	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 <i>et al.</i> , 2021.	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	A FE do diafragma foi significativamente menor nos pacientes e correlacionado com o tempo desde o início dos sintomas ($P < .001$). Pacientes com MCI com atividade diafragmática “baixa” tiveram menor distância no TC6, maior dispneia de repouso e esforço e uma maior diminuição posicional na	O envolvimento do diafragma na MCI está relacionado à duração da doença e tem efeitos prejudiciais na função pulmonar, dispneia e capacidade de exercício.

qualidade de vida de acordo com os níveis de atividade do diafragma. capacidade vital (todos $P \leq 0.03$) do que pacientes com atividade 'alta'.

Legenda: 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; twPdi: Pressão Transdiafragmática; EMG: Eletromiografia; US: Ultrassom; RE: Razão de Espessamento.

Fonte: Autores (2022).

DISCUSSÃO

O US tem sido uma ferramenta utilizada para avaliar a estrutura e a função do diafragma, sendo a USG no modo B mais amplamente utilizada para a avaliação da Tdi. As vantagens do US em relação a outras modalidades de imagem incluem: portabilidade, custo relativamente baixo e por ser um método não invasivo. O método da USG 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 (SARWAL *et al.*, 2013).

A disfunção diafragmática (DD) pode ser diagnosticada por meio da medição da Tdi com aparelho de US. Quando um diafragma apresenta paralisia, de forma crônica, ele é fino, atrofico e não se torna espesso no momento da inspiração (Santana *et al.*, 2020; Gottesman *et al.*, 1997). E na paralisia do diafragma aguda ou subaguda, a Tdi pode ser normal, no entanto a capacidade de espessamento será limitada (SANTANA *et al.*, 2014; SUMMERHILL *et al.*, 2008).

No estudo de Baria *et al.* (2014), os resultados mostraram que os indivíduos com DPOC apresentaram espessura e contração do diafragma comparáveis aos de indivíduos normais. No estudo de Topeli *et al.* (2001) também identificou estrutura e função normal do diafragma em pacientes com DPOC. Esses achados são clinicamente significativos, pois denotam que valores normais para Tdi 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 (BARIA *et al.*, 2014). Esse achado se correlaciona ao estudo de Macklem *et al.* (1983) sobre o efeito da hiperinsuflação pulmonar na relação entre os componentes costal e crural do diafragma.

O estudo de Baria *et al.* (2014) indicou que a Tdi-exp e FE estão correlacionadas inversamente com o aprisionamento aéreo. De acordo com o estudo de Santana *et al.* (2020) a possível implicação clínica do aprisionamento aéreo está correlacionada com a redução da mobilidade e ao espessamento diafragmático. Bem

como a redução da mobilidade e da FE (< 20%) durante a exacerbação aguda da DPOC está correlacionado aos piores resultados.

O estudo de Cho *et al.* (2018), apresentou achados importantes em relação aos valores de avaliação da Tdi: 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 Tdi afetada, em relação a Tdi não afetada. Neste estudo os autores consideraram a RE como a divisão da Tdi durante a manobra de P_{lmáx} da CRF, pela Tdi média durante o relaxamento da CRF. E isso indicou que a fraqueza teve maior relevância no diafragma afetado (CHO *et al.*, 2018).

Segundo Kocjan *et al.* (2018), 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 subseqüentes 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 *et al.* (2018) foi apresentada 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 de Hodges *et al.*, (2001) e Vostatek *et al.* (2013) foi analisado que o papel do diafragma na estabilidade lombar diminuiu, à medida que a demanda por respiração aumentou. Pois, de acordo com Kocjan *et al.* (2018), com relação a esse achado, foi postulado que a fadiga do diafragma pode acentuar a instabilidade de equilíbrio. Por causa disso, estudos com Janssens *et al.* (2015) mostraram algumas evidências que o treinamento muscular inspiratório (60% de P_{lmax}) aprimorou o controle postural proprioceptivo, ao abordar a função estabilizadora do tronco do diafragma.

O estudo de Spiesshoefer *et al.* (2019), 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 PEmax. Os estudos de Junior *et al.* (2015) reforçaram durante as avaliações com USG, que os 16 indivíduos avaliados com CMT1A também apresentaram uma diminuição da PImax e PEmax.

Diante disso, Spiesshoefer *et al.* (2019) 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. O estudo de Krajewsk *et al.* (2002) também comprovou a relação entre a gravidade da doença e o comprometimento motor; 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. O estudo de Sagliocco *et al.* (2003) também identificou 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.

O estudo de Zeiutone *et al.* (2020), 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. O estudo de Ticinesi *et al.* (2017) confirma que na USG a espessura não apresentou alterações morfoestruturais significativas em indivíduos com AF, que indiquem algum achado respiratório. No entanto, Gonçalves (2019) aponta que indivíduos com AF apresentaram maior sensibilidade à fadiga muscular em razão do envolvimento (vascular, estrutural e energético) da musculatura esquelética.

O estudo de Lelièvre *et al.* (2021) mostrou que os pacientes com a menor taxa de atividade diafragmática apresentaram escores de dispneia significativamente maiores e menor tolerância ao exercício. Os autores acreditaram que, assim como em

outros estudos de doenças neuromusculares (DE CARVALHO *et al.*, 2019; KUMAR *et al.*, 2004; LANINI *et al.*, 2001), o aumento da percepção da dispneia nos indivíduos com baixa atividade diafragmática 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 *et al.* (2021) 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” a atividade diafragmática, porém esta classificação parece de discussão. Além de Lelièvre *et al.* (2021), outros estudos que envolveram a USG diafragmática sugeriram que valores da FE abaixo de 20% representaram paralisia grave do diafragma (SANTANA *et al.*, 2020; GOTTESMAN *et al.*, 1997; SUMMERHIL *et al.*, 2008; DI PACO *et al.*, 2017).

Segundo Lelièvre *et al.* (2021) 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. O estudo de Santana *et al.* (2020), trouxe valores de referência de espessura na posição recostada a 45° e sentada, expressos em mm, e esses valores foram transformados em cm, que variou entre 0,45 (Tdi-insp) a 0,56 (Tdi-insp) cm (SANTANA *et al.*, 2020; CARDENAS *et al.*, 2018.; UEKI *et al.*, 2020). Entretanto, o estudo de Lelièvre *et al.* (2021) realizou as medições na posição semi-reclinada (aproximadamente ângulo de 30°), já o estudo de Cho *et al.* (2018), 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 *et al.* (2021). Já a RE irá variar de acordo com o cálculo de cada autor. No entanto, o valor referência da RE do estudo de Baria *et al.*

(2014) indica < 1,2, semelhante ao valor relatado no estudo Boon *et al.* (2013), que varia de 1,2-1,3%.

Além disso, foi identificado que em outros estudos, pacientes com paralisia unilateral observaram valores da Tdi-exp e FE consideravelmente mais baixos no hemidiafragma paralisado, pois tais indivíduos apresentaram Tdi-exp < 20 mm e FE < 20%, em comparação aos valores de indivíduos saudáveis (SANTANA *et al.*, 2020; GOTTESMAN *et al.*, 1997).

A média mínima encontrada foi de 0,18 cm, Lelièvre *et al.*, (2021), utilizando a posição semi-reclinada (aproximadamente ângulo de 30°), em indivíduos com MCI. Já segundo Santana *et al.* (2020), na posição sentada, apresenta 0,45 cm como valor ideal de referência, que foi expressado em 4,5 mm. Portanto, esse valor abaixo da referência para a Tdi-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 0,48 cm, Cho *et al.*, (2018), utilizando a posição ortostática e supina, em indivíduos com AVC. No entanto, mesmo que a posição da avaliação tenha sido distinta de Santana *et al.* (2020), nota-se que a média máxima encontrada está dentro do valor ideal de referência, devido ao fato de o hemidiafragma não estar afetado.

Em síntese, a prática da USG tem alcançado importante espaço na avaliação do músculo diafragma, pois os valores da Tdi, 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.

Apesar do TMI não ter sido objetivo desta revisão integrativa, é importante destacar que o estudo Cho *et al.* (2018) mostrou que intervenções respiratórias são fundamentais no fortalecimento dos músculos respiratórios enfraquecidos, e para assim poder aumentar, de forma eficaz, a capacidade desses pacientes em se locomoverem.

CONCLUSÃO

A USG é um método não invasivo importante para a avaliação da espessura diafragmática de indivíduos doentes, em que foi descrita em adultos com as

patologias: Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica, Acidente Vascular Cerebral, câncer no pulmão, Charcot-Marie-Tooth 1A e Anemia Falciforme. Esses dados podem ser especialmente importantes, visto que podem facilitar o diagnóstico clínico e auxiliar na reabilitação pulmonar deste grupo. A razão/taxa e fração de espessamento, preconiza o melhor direcionamento a fim de garantir a integridade do diafragma e da função pulmonar. Além disso, os achados referentes à espessura diafragmática avaliada com o US, podem viabilizar uma melhor conduta clínica do profissional de saúde habilitado, e assim garantir qualidade de vida e saúde à população.

SOBRE O TRABALHO

Esse artigo foi produzido a partir da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso do período de 2022/2. Contato eletrônico com os autores do trabalho: nehemiaspsilva@gmail.com; larissakalinyfisio@gmail.com. Bárbara Bernardo Rinaldo da Silva Figueirêdo, orientadora do trabalho, docente da disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso e Anatomia Aplicada à Fisioterapia, Doutora em Biologia Aplicada à Saúde pela UFPE. Contato eletrônico: prof.barbarabernardo@gmail.com.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARIA, Michael R *et al.* **B-mode ultrasound assessment of diaphragm structure and function in patients with COPD.** Chest, [S. l.], p. P680-685, 2014. DOI <https://doi.org/10.1378/chest.13-2306>.

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

CARDENAS LZ, *et al.* **Diaphragmatic Ultrasound Correlates with Inspiratory Muscle Strength and Pulmonary Function in Healthy Subjects.** Ultrassom Med Biol. 44:786–793, 2018. DOI: [10.1016/j.ultrasmedbio.2017.11.020](https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2017.11.020).

CARUSO, Pedro *et al.* **Métodos diagnósticos para avaliação da força muscular inspiratória e expiratória.** Jornal Brasileiro de Pneumologia, [S. l.], v. 41, n. 2, p. 110-123, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-37132015000004474>.

CHO JE, *et al.* **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. 25(1):37-43, 2018. DOI: 10.1080/10749357.2017.1383681.

COHN D, *et al.* **Diaphragm thickening during inspiration.** J Appl Physiol (1985). 83(1):291-296, 1997. DOI: <https://doi.org/10.1152/jappl.1997.83.1.291>

CUNHA, Cleize Silveira *et al.* **Técnicas de Fortalecimento da Musculatura Respiratória auxiliando o desmame do paciente em Ventilação Mecânica Invasiva.** Revista UniFOA, [S. l.], p. 80-86, 2018. DOI: <https://doi.org/10.47385/cadunifoa.v3.n6.949>.

DE CARVALHO M, *et al.* **Diaphragmatic neurophysiology and respiratory markers in ALS.** Front Neurol.10:143, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3389/fneur.2019.00143>.

DI PACO A, *et al.* **Changes in Ventilatory response to exercise in trained athletes: respiratory physiological benefits beyond cardiovascular performance.** Arch Bronconeumol. 53(5): 237-244, 2017. DOI: 10.1016/j.arbres.2016.11.023.

GONÇALVES CEA, *et al.* **Muscle dysfunction is associated with poorer health-related quality of life in adults with sickle cell anemia.** J Back Musculoskelet Rehabil. 32:43–53, 2019. DOI: 10.3233/BMR-171027.

GOTTESMAN E, McCool FD. **Ultrasound evaluation of the paralyzed diaphragm.** Am J Respir Crit Care Med.155(5):1570-1574, 1997. DOI: <https://doi.org/10.1164/ajrccm.155.5.9154859>.

GRANSEE HM, *et al.* **Respiratory muscle plasticity.** Compr Physiol. 2(2):1441-62, 2012. DOI: 10.1002/cphy.c110050.

HODGES PW, Heijnen I, Gandevia SC. **Postural activity of the diaphragm is reduced in humans when respiratory demand increases.** J Physiol. 537(Pt 3): 999–1008. 2001. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.2001.00999.x>

JANSSENS L, *et al.* **Inspiratory muscle training affects proprioceptive use and low back pain.** Med Sci Sports Exerc. 47 (1):12–19, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000385>.

JONES HN, *et al.* **Respiratory muscle training in late-onset Pompe disease: Results of a sham-controlled clinical trial.** Neuromuscul Disord. 30(11):904-914, 2020. DOI: 10.1016/j.nmd.2020.09.023.

JUNIOR WM, *et al.* **Respiratory dysfunction in Charcot-Marie-Tooth disease type 1A.** J Neurol. 262:1164-1171, 2015. DOI: 10.1007/s00415-015-7677-8.

KRAJEWSKI KM, *et al.* **Neurological dysfunction and axonal degeneration in Charcot-Marie-Tooth disease type 1A.** Brain. 123 (Pt 7): 1516-27, 2000. DOI: 10.1093/brain/123.7.1516.

KUMAR N, *et al.* **Dyspnea as the predominant manifestation of bilateral phrenic neuropathy.** Mayo Clin Proc. 79(12):1563-5, 2004. DOI: 10.4065/79.12.1563.

LANINI B, *et al.* **Perception of dyspnea in patients with neuromuscular disease.** Chest. 120(2):402-8, 2001. DOI: 10.1378/chest.120.2.402.

LELIÈVRE MH, *et al.* **Determinants and functional impacts of diaphragmatic involvement in patients with inclusion body myositis.** Muscle Nerve.63(4):497-505, 2021. DOI: 10.1002/mus.27170.

LIPPI, Iani dos Santos *et al.* **Ultrassonografia diafragmática como ferramenta de avaliação no desmame da ventilação mecânica.** Fisioterapia Brasil, [S. l.], v. 20, n. 4, p. 570-577, 2019. DOI: <https://doi.org/10.33233/fb.v20i4.3221>.

MACKLEM PT, *et al.* **A model of inspiratory muscle mechanics.** J Appl Physiol. 55 (2): 547 – 557, 1983. DOI: 10.1152/jappl.1983.55.2.547.

MATAMIS D, *et al.* **Sonographic evaluation of the diaphragm in critically ill patients: technique and clinical applications.** Intensive Care Med. 39:801-10, 2013. <https://doi.org/10.1007/s00134-013-2823-1>.

MCCOOL FD, Tzelepis GE. **Dysfunction of the diaphragm.** N Engl J Med. 8;366(10):932-42, 2012. DOI: 10.1056/NEJMra1007236.

NASON LK, *et al.* **Imaging of the diaphragm: anatomy and function. Radiographics.** 32(2):E51-70, 2012. DOI: 10.1148/rg.322115127.

SANTANA PV, *et al.* **Dyspnea of unknown cause. Think about diaphragm.** Ann Am Thorac Soc.11(10):1656-9, 2014. DOI: 10.1513/AnnalsATS.201404-181CC.

SANTANA, Pauliane Vieira *et al.* **Identifying decreased diaphragmatic mobility and diaphragm thickening in interstitial lung disease: the utility of ultrasound imaging.** Jornal Brasileiro de Pneumologia. v. 42, n. 2, p. 88-94, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-37562015000000266>.

SANTANA PV, *et al.* **Diaphragmatic ultrasound: a review of its methodological aspects and clinical uses.** J Bras Pneumol. 20;46(6), 2020. DOI: 10.36416/1806-3756/e20200064.

SAGLIOCCO L, *et al.* **Electrodiagnostic evidence of phrenic nerve demyelination in Charcot-Marie-Tooth disease 1A.** Am J Phys Med Rehabil. 82(10):754-9, 2003. DOI:10.1097/01.PHM.0000087453.94529.0D.

SARWAL A, Walker FO, Cartwright MS. **Neuromuscular ultrasound for evaluation of the diaphragm muscle nerve.** 47(3):319-29, 2013. DOI: 10.1002/mus.23671.

SPIESSHOEFER J, *et al.* **Phrenic nerve involvement and respiratory muscle weakness in patients with Charcot-Marie-Tooth disease 1A.** J Peripher Nerv Syst. 24(3):283-293, 2019. DOI: 10.1111/jns.12341.

SUMMERHILL EM, *et al.* **Monitoring recovery from diaphragm paralysis with ultrasound.** Chest. 133(3):737-743, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1378/chest.07-2200>.

THIMMAIAH, Vishwanath. T. *et al.* **Evaluation of Thickness of Normal Diaphragm by B Mode Ultrasound.** International Journal of Contemporary Medical Research, [S. l.], v. 3, p. 2658-2660, 2016. Disponível em: https://www.ijcmr.com/uploads/7/7/4/6/77464738/ijcmr_902_sep_18.pdf.

TOPELI A, Laghi F, Tobin MJ. **The voluntary drive to breathe is not decreased in hypercapnic patients with severe COPD.** Eur Respir J. 18 (1): 53 – 60, 2001. DOI: 10.1183/09031936.01.00014101.

VOSTATEK P, *et al.* **Diaphragm postural function analysis using magnetic resonance imaging.** PLoS One. 8(3), 2013. DOI: 10.1371/journal.pone.0056724.

ZEITOUNE R, *et al.* **Diaphragm ultrasonography in adults with sickle cell anemia: evaluation of morphological and functional aspects.** Hematology.25(1):372-382, 2020. DOI: 10.1080/16078454.2020.1833506.