

# Ultrazvuk dijafragme i njegova primjena u kliničkoj praksi

## Ultrasound of the Diaphragm and Its Application in the Clinical Practice

Anja Ljilja Posavec<sup>1\*</sup>, Renata Huzjan Korunić<sup>2</sup>, Nevenka Piskač Živković<sup>3</sup>

**Sažetak.** Ultrazvuk dijafragme je dijagnostička metoda kojom se može utvrditi dijafragmalna disfunkcija ili paraliza. Dijafragmalna disfunkcija može uzrokovati otežano disanje i intoleranciju napora. Rijetko se utvrđuje u kliničkoj praksi te njezina prava incidencija nije poznata. Javlja se u nekih neuromišićnih bolesti poput multiple skleroze, amiotrofične lateralne skleroze, poliomijelitisa, lezije *N. phrenicus* te u nekih bolesti vezivnog tkiva, plućnim bolestima ili idiopatski. Za razliku od ranije upotrebljivanih metoda procjene dijafragmalne funkcije poput elektromiografije, mjerenja transdijafragmalnog tlaka i fluoroskopije, ultrazvuk je neinvazivna i jednostavna pretraga koja ne izlaže bolesnike ionizirajućem zračenju. Cilj je ovog rada opisati pregled dijafragme ultrazvučnom metodom te primjenu ultrazvuka u kliničkoj praksi uz pregled literature.

**Ključne riječi:** dijafragma; dispneja; ultrazvuk

**Abstract.** Ultrasound of the diaphragm is a diagnostic method that can determine diaphragmatic dysfunction or paralysis. Diaphragmatic dysfunction can cause dyspnea and exercise intolerance. It is rarely diagnosed in clinical practice and its true incidence is unknown. It can occur in some neuromuscular diseases such as multiple sclerosis, amyotrophic lateral sclerosis, poliomyelitis, phrenic nerve lesions, and in some connective tissue diseases, lung diseases or it can be idiopathic. Unlike previously used diagnostic methods for assessing diaphragmatic function such as electromyography, transdiaphragmatic pressure measurement and fluoroscopy, ultrasound is a fast, non-invasive and simple examination, which does not expose patients to ionizing radiation. The aim of this review is to describe the examination of the diaphragm using the ultrasound method and its application in clinical practice along with a literature review.

**Keywords:** Diaphragm; Dyspnea; Ultrasonography

<sup>1</sup> Poliklinika za bolesti dišnog sustava, Zagreb, Hrvatska

<sup>2</sup> Dom zdravlja Centar, Zagreb, Hrvatska

<sup>3</sup> Specijalna bolnica Radiochirurgia Zagreb, Zagreb, Hrvatska

**\*Dopisni autor:**

Anja Ljilja Posavec, dr. med., specijalistica  
pulmologije  
Poliklinika za bolesti dišnog sustava  
Prilaz Baruna Filipovića 11, 10000 Zagreb,  
Hrvatska  
E-mail: anja.ljilja@gmail.com

<http://hrcak.srce.hr/medicina>

## ULTRAZVUK PRSNOGA KOŠA I DIJAFRAGME

Ultrazvuk prsnoga koša brza je, bezbolna, neinvazivna i ekonomična pretraga koja se sve češće koristi u svakodnevnoj pulmološkoj praksi. Ultrazvuk ne izlaže bolesnike ionizirajućem zračenju te je pogodna dijagnostička metoda za djecu i za trudnice. Dijafragma je najznačajniji mišić u fiziologiji disanja. Pokretljivost dijafragme može biti smanjena kod nekih srčanih, plućnih, neuromuskularnih i autoimunih bolesti<sup>1-3</sup>.

Pretrage poput fluoroskopije, mjerenja transdijafragmalnog tlaka i elektromiografije dijafragme ne koriste se svakodnevno u dijagnostici funkcije dijafragme zbog nedostupnosti, invazivnosti ili kompleksnosti, stoga je disfunkcija dijafragme često poddijagnosticirana, te njezina točna prevalencija nije poznata.

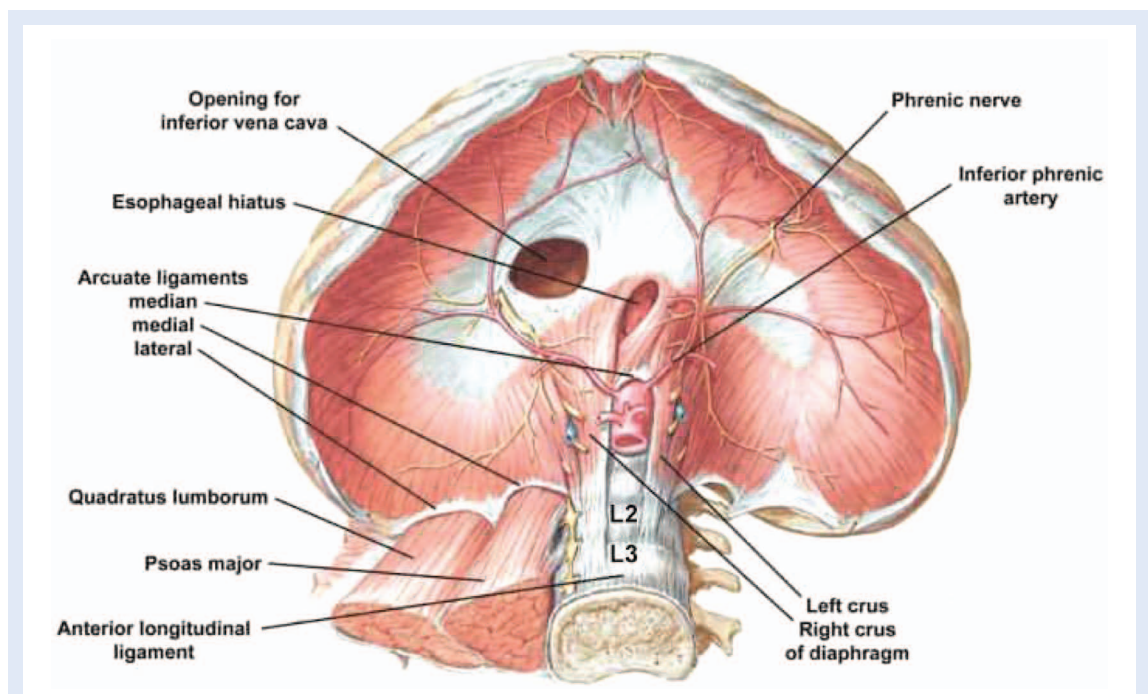
Funkcija dijafragme obično se rutinski ne istražuje u kliničkoj praksi i nedostaju podatci o incidenciji i prevalenciji disfunkcije i paralize dijafragme. Disfunkcija dijafragme može biti jedan od uzroka dispneje, ali je često neprepoznata<sup>4</sup>. Tehnike kao što su fluoroskopija, EMNG ili ezofagomanome-

tija ne koriste se redovito u procjeni funkcije dijafragme te se provode samo u specijaliziranim centrima, stoga se ultrazvuk zbog svoje pristupačnosti ističe kao metoda za svakodnevno korištenje u kliničkoj praksi.

Ultrazvuk se može koristiti za pregled torakalnog zida, pozicije, morfologije i pokretljivosti dijafragme, pleure i plućnog parenhima te kao način monitoringa odnosno procjene odgovora na terapiju<sup>5</sup>. Ultrazvukom toraksa se može uočiti eventualna patologija koja može utjecati na pokretljivost dijafragme, poput pleuralnog izljeva ili ascitesa<sup>6</sup>.

Prodornost ultrazvučnih valova ovisi o frekvenciji valova te o strukturi površine tkiva koje se pretražuje<sup>7</sup>. Ultrazvuk prsnoga koša danas je sve popularnija dijagnostička metoda u pulmologiji te ga brojni pulmolozi i radiolozi svakodnevno koriste u kliničkoj praksi<sup>8,9</sup>. Pomoću ultrazvuka prsnog koša mogu se dijagnosticirati patološka stanja poput pneumotoraksa, pleuralnog izljeva, konsolidacija plućnog parenhima, intersticijskog sindroma itd.<sup>10</sup>

Dijafragma ili ošit (Slika 1) glavni je mišić u fiziologiji disanja, a kontrakcija dijafragme odgovorna je za ventilaciju i održavanje respiratornih potreba



Slika 1. Anatomija dijafragme (preuzeto: Netter FH. Atlas of human anatomy. Elsevier, 2018)

organizma. Ultrazvukom (Slika 2) se može procijeniti pomičnost i debljina dijafragme tijekom respiratornog ciklusa, kao i njezina paraliza<sup>11, 12</sup>. Konveksnom ultrazvučnom sondom anteriorno subkostalnim pristupom se između medioklavikularne i prednje aksilarne linije u B-modu vizualizira dijafragma, te se potom u M-modu izmjeri amplituda kraniokaudalne dijafragmalne pokretljivosti tijekom normalnog i dubokog disanja (Slika 3)<sup>11</sup>. M-mod koristi jedan snop slike B-moda i omogućava kvantitativnu procjenu pokretljivosti dijafragme.

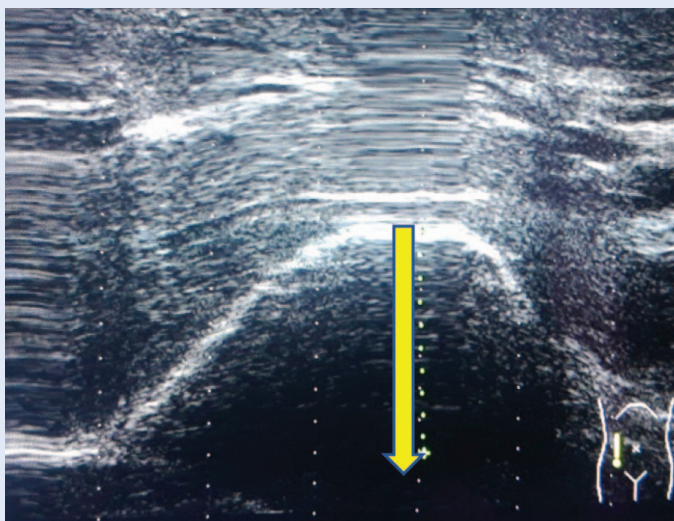
Za mjerenje debljine dijafragme linearna sonda se postavlja između 7. i 9. interkostalnog prostora u prednjoj aksilarnoj liniji. Debljina dijafragme mjeri se u B-modu linearnom sondom pri funkcionalnom rezidualnom kapacitetu (FRC) i totalnom plućnom kapacitetu (TLC).

Dijafragma se ultrazvukom prikazuje kao troslojna struktura (Slika 4) – uočavaju se dijafragmalna pleura, mišićni sloj i peritonealna membrana<sup>13</sup>.

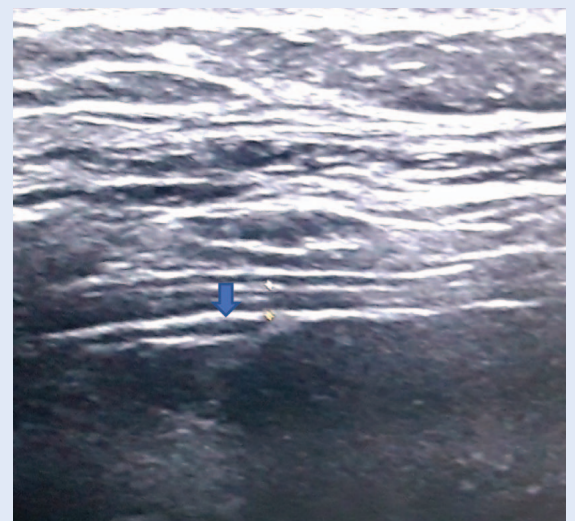
Frakcija zadebljanja dijafragme (engl. *diaphragmal thickness fraction*; DTF) računa se pomoću sljedeće formule: debljina na kraju maksimalnog inspirija – debljina na kraju ekspirija / debljina na kraju ekspirija x 100<sup>14–16</sup>. Naime, u paralizi dijafragme ne dolazi do njezinog zadebljanja te je niža od 20 % prema konsenzusu autora dosadašnjih istraživanja<sup>15, 17</sup>.



Slika 2. Ultrazvučni aparat



Slika 3. Ultrazvučno mjerenje pokretljivosti dijafragme u M-modu – prikazana je amplituda kraniokaudalne pokretljivosti pri dubokom disanju (žuta strelica)



Slika 4. Prikaz dijafragme u B-modu – vidljiva je troslojna struktura dijafragme (plava strelica) koju čine dijafragmalna pleura, mišićni sloj i peritonealna membrana

Nedostatak u promjeni zadebljanja dijafragme u inspiriju osjetljiviji je i specifičniji faktor za paralizu dijafragme nego mjerenje same debljine dijafragme<sup>18</sup>, koja može biti i paradoksalno zadebljana u nekih bolesnika s neuromišićnim bolestima. Ultrazvučnom metodom dostupna je desna hemidijafragma kroz ultrazvučni prozor koji pruža jetra, dok je lijeva hemidijafragma često prikrivena plinovima želuca i crijeva<sup>19</sup> te se zbog lošijeg akustičnog prozora teško vizualizira. Indeks tjelesne

Ultrazvuk dijafragme neinvazivna je i jednostavna pretraga kojom se može mjeriti dijafragmalna funkcija.

mase (BMI) < 18,5 > 40 povezan je sa značajno manjom pokretljivošću dijafragme u zdravih ispitanika<sup>20</sup>, a prema istraživanju na zdravim ispitanicima na zadebljanje dijafragme imaju minimalan utjecaj dob, spol, habitus i pušački status<sup>21</sup>.

U istraživanju na 200 zdravih ispitanika donje vrijednosti normalne pokretljivosti dijafragme su 0,9 cm za žene i 1 cm za muškarce tijekom normalnog/plitkog disanja te 3,6 cm za žene i 4,7 cm za muškarce tijekom dubokog disanja<sup>14</sup>.

#### ULOGA DIJAFRAGME

Disanje je spontani ponavljajući proces tijekom kojega dolazi do izmjenične kontrakcije i relaksacije respiratorne muskulature i promjene tlakova unutar dišnog sustava. Iako je u usporedbi s drugim strukturama relativno jednostavan organ, dijafragma ima značajnu anatomsku i funkcionalnu ulogu za pravilno funkcioniranje dišnog sustava.

Dijafragma svojom kontrakcijom uzrokuje povećanje promjera prsnog koša u kraniokaudalnom smjeru omogućujući ulazak oko 75 % volumena zraka. Kroz dijafragmu prolaze aorta, donja šuplja vena, jednjak, živci i limfne žile (Slika 1). Kontrakcijom dijafragme započinje udisaj smanjenjem intrapleuralnog tlaka, podizanjem rebra te širenjem prsnoga koša uz stvaranje pozitivnog intraabdominalnog tlaka<sup>22</sup>. Dijafragma se sastoji od kruralnog i kostalnog dijela<sup>23</sup>. Kostalni dio dijafragme ima prvenstveno funkciju ventilacije. Kruralna dijafragma ima dvije uloge, ventilacijsku i aditivnu funkciju na donji sfinkter jednjaka<sup>24, 25</sup>, što je dokazano isto-

dobnim mjerenjem ezofagealnog tlaka i snimkama elektromiograma (EMG)<sup>26</sup>.

Kruralna dijafragma omogućuje periodično ili trajno povećanje tlaka ezofagogastričnog spoja tijekom abdominalne kompresije i Valsalvinog manevra<sup>27</sup> čime se sprječava gastroezofagealni refluks<sup>28</sup>.

#### DISFUNKCIJA DIJAFRAGME

Strukturne abnormalnosti ili bolesti ošita su rijetke. Dijafragmalna disfunkcija može uzrokovati otežano disanje i intoleranciju napora te tahipneju.

Navedene su smetnje inicijalno uočene u bolesnika s neuromišićnim bolestima, te u bolesnika u jedinicama intenzivne skrbi koji su produženo odvajani od mehaničke ventilacije.

Tijekom kliničkog pregleda se može uočiti ubrzano disanje te korištenje pomoćne respiratorne muskulature u težim slučajevima dijafragmalne disfunkcije<sup>29</sup>. Smanjena pokretljivost dijafragme se može otkriti i perkusijom donjeg rebrenog luka na kraju izdisaja i udisaja. Najkarakterističniji znak paralize dijafragme jest paradoksalno disanje, pri čemu se abdomen uvlači prema unutra dok se prsni koš širi tijekom inspirija<sup>29, 30</sup>.

Disfunkciju dijafragme u odsutnosti kompletne paralize teško je dijagnosticirati. Iako jednostrana slabost dijafragme može biti asimptomatska, također može imati i negativan utjecaj na kvalitetu života. To se osobito odnosi na pretile pacijente ili one koji boluju od kardiorespiratornih bolesti. Pacijenti mogu imati simptome poput ortopneje, kašlja, boli u prsima, zaduhe u naporu ili poremećaja disanja u snu<sup>31, 32</sup>. Oslabljena funkcija dijafragme pokazatelj je i težine bolesti u nekih neuroloških i mišićnih bolesti<sup>33</sup>.

Jedna od mogućih dijagnostičkih metoda jest mjerenje transdijafragmalnog tlaka. Budući da se radi o invazivnoj metodi, ona se većinom ne provodi u kliničkoj praksi. Fluoroskopija izlaže pacijente ionizirajućem zračenju i također se ne provodi rutinski.

Elektromiografija dijafragme se izvodi samo u specijaliziranim centrima. EMG dijafragme može pokazati neuropatski ili miopatski uzorak, ovisno o etiologiji paralize<sup>34</sup>.

Budući da se navedene metode ne koriste redovito u kliničkoj praksi, dijafragmalna disfunkcija često je

**Tablica 1.** Primjeri poremećaja u različitim regijama tijela koji mogu uzrokovati dijafragmalnu disfunkciju

Poremećaj CNS-a	Poremećaj na razini C3-C5 kralježnične moždine	Utjecaj na <i>N. phrenicus</i>	Poremećaj na razini plućnog parenhima	Direktni utjecaj na mišić dijafragme
Multipla skleroza Moždani udar	Trauma Amiotrofična lateralna skleroza Polimijelitis Spinalna mišićna atrofija Siringomijelija	Guillain-Barreov sindrom Trauma Jatrogena ozljeda tijekom operacije Kompresija tumorom Idiopatski Kronična inflamatorna demijelinizirajuća polineuropatija Herpes zoster Lajmska bolest Upalna stanja	Hiperinflacija Intersticijska bolest pluća	Mišićne distrofije Miozitis (upalni, infektivni) Glukokortikoidi Atrofija zbog nekorištenja Miastenija gravis Lijekovi Prolongirana umjetna ventilacija Poremećaj štitnjače

poddijagnosticirana, a njezina točna prevalencija nepoznata<sup>35</sup>. Rendgen srca i pluća može otkriti eleviranu hemidijafragmu<sup>29</sup>. Međutim, elevacija obiju hemidijafragmi, koja se može vidjeti kod nekih pacijenata ovisnih o mehaničkoj ventilaciji, ima nisku specifičnost za dijagnosticiranje disfunkcije dijafragme. Iako je rendgen srca i pluća korisna metoda za otkrivanje jednostrane paralize dijafragme, specifičnost mu je nezadovoljavajuće niska<sup>36</sup>.

Prema rezultatima dosadašnjih studija poznato je da je pomičnost dijafragme reducirana u pacijenta s kongestivnim srčanim popuštanjem<sup>37</sup> te u pacijenta s kroničnom opstruktivnom bolesti pluća (KOPB)<sup>38</sup>.

U istraživanju He i suradnika uočena je smanjena pokretljivost dijafragme u bolesnika sa sindromom kombinirane plućne fibroze i emfizema i KOPB-om, za razliku od pacijenata s idiopatskom plućnom fibrozom<sup>39</sup>.

U istraživanju bolesnika s fibrozirajućom intersticijskom bolesti pluća, pacijenti s intersticijskom bolesti pluća su u odnosu na zdrave ispitanike imali manju dijafragmalnu pokretljivost<sup>41</sup>.

Na disfunkciju dijafragme se može inicijalno posumnjati i provođenjem testova plućne funkcije, osobito mjerenjem vitalnog kapaciteta u uspravnom i ležećem položaju.

Kod jednostrane paralize ili blage slabosti dijafragme vitalni kapacitet pluća može biti blago snižen (70 do 79 % predviđene vrijednosti)<sup>40</sup>, a pri izraženoj slabosti ili obostranoj dijafragmalnoj paralizi uočava se umjerena do teška restrikcija (30 do

50 % vitalnog kapaciteta pluća). Pri unilateralnoj i bilateralnoj paralizi dijafragme restrikcija postaje značajnija u ležećem položaju<sup>41,42</sup>. Pri evaluaciji je potrebno isključiti ostale uzroke restriktivnog poremećaja ventilacije.

Poremećaj rada štitnjače može imati utjecaj na funkciju dijafragme kao dio generalizirane miopatijske funkcije dijafragme oporavlja se uz adekvatnu nadomjesnu terapiju<sup>43</sup>. Ostali mogući uzroci slabije funkcije dijafragme jesu neurološke bolesti poput multiple skleroze, amiotrofične lateralne skleroze, poliomijelitisa, Guillain-Barreovog sindroma, kompresije tumorom, traume te bolesti vezivnog tkiva poput sistemskog eritematозnog lupusa, dermatomiozitisa, miješane bolesti vezivnog tkiva ili idiopatski (Tablica 1)<sup>44</sup>.

Dakle, osim neuromuskularne bolesti<sup>45</sup>, slabiju funkciju dijafragme može uzrokovati moždani udar s hemiplegijom, dugotrajna umjetna ventilacija, oštećenje *N. phrenicus*, atrofija zbog neuporabe, prolongirana kortikosteroidna terapija, lijekovi poput aminoglikozida, infektivna<sup>46</sup> ili druga upalna stanja<sup>45</sup>, alveolarna hipoventilacija, itd.<sup>47</sup> Tablica 1 prikazuje primjere poremećaja u različitim regijama tijela koji mogu uzrokovati dijafragmalnu disfunkciju.

Ultrazvuk dijafragme također se može koristiti u jedinicama intenzivnog liječenja za procjenu dijafragmalne funkcije pri odvajanju bolesnika od mehaničke ventilacije<sup>48</sup>.

Nakon što se dijagnosticira dijafragmalna disfunkcija, u odabranih pacijenata dolazi u obzir plućna

rehabilitacija s vježbanjem inspiratorne muskulature uz liječenje osnovne bolesti<sup>49</sup>. Ovisno o uzroku i mogućnostima liječenja osnovne bolesti može se očekivati oporavak funkcije dijafragme.

**Izjava o sukobu interesa:** Autori izjavljuju kako ne postoji sukob interesa.

## LITERATURA

1. Kelley RC, Ferreira LF. Diaphragm abnormalities in heart failure and aging: mechanisms and integration of cardiovascular and respiratory pathophysiology. *Heart Fail Rev* 2017;22:191-207.
2. Summerhill EM, El-Sameed YA, Glidden TJ, McCool FD. Monitoring recovery from diaphragm paralysis with ultrasound. *Chest* 2008;133:737-743.
3. Flores-Franco RA, Castillo-Soltero J, Pacheco-Tena CF. Diaphragmatic paralysis in eosinophilic granulomatosis with polyangiitis. *Reumatol Clin* 2018;14:61-62.
4. Dubé BP, Dres M. Diaphragm Dysfunction: Diagnostic Approaches and Management Strategies. *J Clin Med* 2016;5:113.
5. Zanforlin A, Giannuzzi R, Nardini S, Testa A, Soldati G, Copetti R et al. The role of chest ultrasonography in the management of respiratory diseases: document I. *Multidiscip Respir Med* 2013;8:54.
6. Soni NJ, Franco R, Velez MI, Schnobrich D, Dancel R, Restrepo MI et al. Ultrasound in the diagnosis and management of pleural effusions. *J Hosp Med* 2015;10:811-816.
7. Alerhand S. Physics and basic principles. In: Laursen CB, Rahman NM, Volpicelli G (eds). *Thoracic Ultrasound* (ERS Monograph). Sheffield: European Respiratory Society, 2018;1-13.
8. Williamson JP, Grainge C, Parameswaren A, Twaddell SH. Thoracic Ultrasound: What non-radiologists need to know. *Curr Pulmonol Rep* 2017;6:39-47.
9. Diacon AH, Theron J, Bolliger CT. Transthoracic ultrasonography for the pulmonologist. *Curr Opin Pulm Med* 2005;11:307-312.
10. Laursen CB, Clive A, Halifax R, Pietersen PI, Asciak R, Davidsen JR et al. European Respiratory Society statement on thoracic ultrasound. *Eur Respir J* 2021;57:2001519.
11. Santana PV, Cardenas LZ, de Albuquerque ALP, de Carvalho CRR, Caruso P. Diaphragmatic ultrasound findings correlate with dyspnea, exercise tolerance, health-related quality of life and lung function in patients with fibrotic interstitial lung disease. *BMC Pulm Med* 2019;19:183.
12. Santana PV, Prina E, Albuquerque AL, Ribeiro Carvalho CR, Caruso P. Identifying decreased diaphragmatic mobility and diaphragm thickening in interstitial lung disease: the utility of ultrasound imaging. *J Bras Pneumol* 2016;42:88-94.
13. Boussuges A, Rives S, Finance J, Chaumet G, Vallée N, Rizzo JJ et al. Ultrasound Assessment of Diaphragm Thickness and Thickening: Reference Values and Limits of Normality When in a Seated Position. *Front Med (Lausanne)* 2021;8:742703.
14. Boussuges A, Gole Y, Blanc P. Diaphragmatic motion studied by m-mode ultrasonography: methods, reproducibility, and normal values. *Chest* 2009;135:391-400.
15. Baldwin CE, Paratz JD, Bersten AD. Diaphragm and peripheral muscle thickness on ultrasound: intra-rater reliability and variability of a methodology using non-standard recumbent positions. *Respirology* 2011;16:1136-43.
16. 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;47:884-889.
17. Gottesman E, McCool FD. Ultrasound evaluation of the paralyzed diaphragm. *Am J Respir Crit Care Med* 1997;155:1570-1574.
18. Ferrari G, De Filippi G, Elia F, Panero F, Volpicelli G, Aprà F. Diaphragm ultrasound as a new index of discontinuation from mechanical ventilation. *Crit Ultrasound J* 2014;6:8-12.
19. Sarwal A, Walker FO, Cartwright MS. Neuromuscular ultrasound for evaluation of the diaphragm. *Muscle Nerve* 2013;47:319-29.
20. Kantarci F, Mihmanli I, Demirel MK, Harmanci K, Akman C, Aydogan F et al. Normal Diaphragmatic Motion and the Effects of Body Composition. *J Ultrasound Med* 2004;23:255-260.
21. 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;47:884-889.
22. Rochester DF. The diaphragm: contractile properties and fatigue. *J Clin Invest* 1985;75:1397.
23. Mittal RK. Motor Function of the Pharynx, Esophagus, and its Sphincters. *Crural Diaphragm Contribution to EGJ and Neural Control*. San Rafael (CA): Morgan & Claypool Life Sciences, 2011.
24. Pickering M, Jones JF. The diaphragm: two physiological muscles in one. *J Anat* 2002;201:305-12.
25. Mittal RK. Current concepts of the antireflux barrier. *Gastroenterol Clin North Am* 1990;19(3):501-16.
26. Mittal RK, Rochester DF, McCallum RW. Electrical and mechanical activity in the human lower esophageal sphincter during diaphragmatic contraction. *J Clin Invest* 1988;81:1182-9.
27. Sivri B, Mittal RK. Reverse-perfused sleeve: an improved device for measurement of sphincteric function of the crural diaphragm. *Gastroenterology* 1991;101:962-9.
28. Klein WA, Parkman HP, Dempsey DT, Fisher RS. Sphincter-like thoracoabdominal high pressure zone after esophagogastrectomy. *Gastroenterology* 1993;105:1362-9.
29. Maish MS. The diaphragm. *Surg Clin North Am* 2010;90:955.
30. Schoser B, Fong E, Geberhiwot T, Hughes D, Kissel JT, Madathil SC et al. Maximum inspiratory pressure as a clinically meaningful trial endpoint for neuromuscular diseases: a comprehensive review of the literature. *Orphanet J Rare Dis* 2017;12:52.
31. Hart N, Nickol AH, Cramer D, Ward SP, Lofaso F, Pride NB et al. Effect of severe isolated unilateral and bilateral diaphragm weakness on exercise performance. *Am J Respir Crit Care Med* 2002;165:1265-70.
32. Steier J, Jolley CJ, Seymour J, Kaul S, Luo YM, Rafferty GF et al. Sleepdisordered breathing in unilateral diaphragm paralysis or severe weakness. *Eur Respir J* 2008;32:1479-87.
33. Carrié C, Bonnardel E, Vally R, Revel P, Marthan R. Vital capacity impairment due to neuromuscular disease and its correlation with diaphragmatic ultrasound: a preliminary study. *Ultrasound Med Biol* 2016;42:143-9.

34. Kumar N, Folger WN, Bolton CF. Dyspnea as the predominant manifestation of bilateral phrenic neuropathy. *Mayo Clin Proc* 2004;79:1563.
35. Ricoy J, Rodríguez-Núñez N, Álvarez-Dobaño JM, Toubes ME, Riveiro V, Valdés L. Diaphragmatic dysfunction. *Pulmonology* 2019;25:223-235.
36. Chetta A, Rehman AK, Moxham J, Carr DH, Polkey MI. Chest radiography cannot predict diaphragm function. *Respir Med* 2005;99:39-44.
37. Taylor BJ, Bowen TS. Respiratory Muscle Weakness in Patients with Heart Failure: Time to Make It a Standard Clinical Marker and a Need for Novel Therapeutic Interventions? *J Card Fail* 2018;24(4):217-218.
38. Ottenheim CA, Heunks LM, Sieck GC, Zhan WZ, Jansen SM, Degens H et al. Diaphragm dysfunction in chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med* 2005;172:200-205.
39. He L, Zhang W, Zhang J, Cao L, Gong L, Ma J et al. Diaphragmatic motion studied by M-mode ultrasonography in combined pulmonary fibrosis and emphysema. *Lung* 2014;192:553-561.
40. Mier-Jedrzejowicz A, Brophy C, Moxham J, Green M. Assessment of diaphragm weakness. *Am Rev Respir Dis* 1988;137:877-83.
41. Laroche CM, Mier AK, Moxham J, Green M. Diaphragm strength in patients with recent hemidiaphragm paralysis. *Thorax* 1988;43:170-4.
42. Laroche CM, Carroll N, Moxham J, Green M. Clinical significance of severe isolated diaphragm weakness. *Am Rev Respir Dis* 1988;138:862-6.
43. Martinez FJ, Bermudez-Gomez M, Celli BR. Hypothyroidism. A reversible cause of diaphragmatic dysfunction. *Chest* 1989;96:1059-1063.
44. Celli BR. Causes and diagnosis of bilateral diaphragmatic paralysis. *In: UpToDate*, Finlay G, Dashe JF (eds). *UpToDate* [Internet]. Waltham, MA: UpToDate; 2022 [cited 2022 Oct 22]. Available from: <https://www.uptodate.com/contents/diagnostic-evaluation-of-adults-with-bilateral-diaphragm-paralysis>.
45. McCool FD, Tzelepis GE. Dysfunction of the diaphragm. *N Engl J Med* 2012;366:932-42.
46. Boussuges A, Habert P, Chaumet G, Rouibah R, Delorme L, Menard A et al. Diaphragm dysfunction after severe COVID-19: An ultrasound study. *Front Med (Lausanne)* 2022;9:949281.
47. Davis J, Goldman M, Loh L, Casson M. Diaphragm function and alveolar hypoventilation. *Q J Med* 1976;45: 87-100.
48. Kilaru D, Panebianco N, Baston C. Diaphragm Ultrasound in Weaning From Mechanical Ventilation. *Chest* 2021; 159:1166-1172.
49. Cao Y, Li P, Wang Y, Liu X, Wu W. Diaphragm Dysfunction and Rehabilitation Strategy in Patients With Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Front Physiol* 2022;13: 872277.