

Zwerchfell-Ultraschall durchführen und interpretieren – Schritt für Schritt

J. Spiesshoefer, C. Henke, S. Schwarz, M. Boentert, D. Dellweg, H. J. Kabitz



„Zwerchfell-Ultraschall“ ist schnell (am Patientenbett) durchführbar, leicht zu erlernen und diagnostisch aussagekräftig. Eine schlechtere Zwerchfellfunktion im Ultraschall ist von prognostischer Relevanz u. a. bei Patienten mit COPD, neuromuskulären Erkrankungen sowie im prolongierten Weaning. Aber Achtung: Für den Zwerchfell-Ultraschall ist ein standardisiertes Vorgehen zwingend erforderlich, und trotz prognostischer Relevanz ersetzt er nicht die weiteren Verfahren zur Messung der Atemmuskelfunktion.

Grundlagen

Die Ultraschall-gestützte Evaluation des Zwerchfells erfordert nur einen (kooperationsfähigen) Patienten, ein Ultraschall-Gerät mit einem Konvex-Schallkopf (2,5–5 MHz) und einem Linear-Schallkopf (7,5–10 MHz) sowie einen entsprechend geschulten Untersucher. Die Untersuchungsdauer für die hier dargestellte standardisierte Ultraschall-Untersuchung der Zwerchfellfunktion und -morphologie beträgt in geschulten Händen etwa 15 Minuten [1]. Die einzelnen Schritte sind als Bildfolge unten dargestellt.

Im Wesentlichen können bei entsprechend standardisiertem Vorgehen Aussagen zur Exkursions- sowie Kontraktionsfähigkeit insbesondere des rechten Hemidiaphragmas (aufgrund des durch die Leber deutlich verbesserten Schallfensters rechts) aus dem Zwerchfell-Ultraschall abgeleitet werden [1–5].

Merke

Eine aussagekräftige Zwerchfellsonografie ist schnell durchgeführt. Sie erfordert jedoch ein streng standardisiertes Vorgehen.

Wann lohnt sich Zwerchfell-Ultraschall, und was bringt uns das?

Chancen

Die prognostische Relevanz der hier dargestellten und aus der Zwerchfell-Ultraschalluntersuchung abgeleiteten Marker konnte u. a. bei Patienten mit COPD (für Exazerbationen und den Bedarf einer Beatmungspflichtigkeit in der Zukunft sowie „Weaning Outcome“ [6, 7]) und neuromuskulären Erkrankungen (für den Bedarf einer Beatmungspflichtigkeit [8,9]) gezeigt werden. Die Funktion des Zwerchfells als maßgeb-

lichem inspiratorischem Atemmuskel (das ca. 2/3 der Atemarbeit in Ruhe leistet) ist unter pathophysiologischen Gesichtspunkten die wichtigste Determinante der hyperkapnischen respiratorischen Insuffizienz (Typ II-Atemversagen), das bei Patienten mit chronisch-obstruktiver Lungenerkrankung (COPD) und verschiedenen neuromuskulären Erkrankungen mit Befall der Atemmuskulatur bis zur Beatmungspflichtigkeit (nicht invasiv/invasiv) führt [10]. So ist zu erklären, warum für die hier vorgestellten sonografischen Messparameter, insbesondere für die Diaphragm Thickening Ratio (DTR) als intuitivem Marker der Kontraktionsfähigkeit des Zwerchfells, eine prognostische Relevanz gezeigt werden konnte [6–9]. Eine DTR über 2.2 (als Faustformel eine Verdoppelung der Zwerchfelldicke in der Inspiration gegenüber der Expiration) gilt dabei als normal [1]. Geschlechtsunterschiede gibt es hier nicht. Für die Dicke des Zwerchfells in Atemruhelage bzw. bei funktioneller Residualkapazität wurde eine enge Assoziation zur echten anatomischen Dicke nachgewiesen [8]. Eine sonografisch erfasste Zwerchfellatrophie (<1,5 mm bei Männern und <1,3 mm bei Frauen) prädiziert bei auf der Intensivstation beatmeten Patienten ein erschwertes Weaning und ein schlechteres Outcome [6]. Auch die maximale Exkursionsgeschwindigkeit des Zwerchfells bei forcierter kurzer Inspiration (beim sog. *Sniff*-Manöver) ist ein Maß für die inspiratorische Atemmuskelfunktion [1]. Im Gegensatz zur DTR sind prospektive Studien zum prädiktiven Wert dieses Parameters allerdings noch ausstehend.

FAKTENBOX

Darstellung der Normalwerte der Zwerchfellfunktion im Ultraschall (Untersuchungsposition im Liegen mit 30° angewinkeltem Kopfteil). Lower Limit of Normal (LLM), definiert als die 5. Perzentile in einer Kohorte von 70 gesunden Probanden; nach [1].

Zwerchfellexkursion

Amplitude bei Ruhe-Atmung: 1,2 cm (♂ und ♀)

Geschwindigkeit bei Ruhe-Atmung: 0,8 cm/sec (♂ und ♀)

Amplitude bei *Sniff*-Manöver¹: 2,0 (♂) und 1,5 (♀) cm

Geschwindigkeit bei *Sniff*-Manöver: 6,7 (♂) und 5,2 (♀) cm/sec

Amplitude bei maximaler Einatmung²: 7,9 (♂) und 6,4 (♀) cm

Zwerchfelldicke

Funktionelle Residual-Kapazität: 1,7 (♂) und 1,5 (♀) mm

Totale Lungenkapazität: 4,6 (♂) und 3,5 (♀) mm

Diaphragm Thickening Ratio: 2,2 (♂ und ♀)

Limitationen

Bei Gesunden ist die Korrelation zwischen der DTR (im Ultraschall) und dem invasiv mittels Ballonkathetern in Speiseröhre und Magen gemessenen transdiaphragmalen Druck bei forcierter Einatmung oder nach supra-maximaler Magnetstimulation der Nn. phrenici bestenfalls mäßig [1, 5]. Die DTR spiegelt demnach eher die Funktion als die physikalische Kraft des Zwerchfells wider. Daraus folgt, dass der Zwerchfell-Ultraschall die weiteren (teils auch invasiven) Verfahren zur Messung der inspiratorischen Atemmuskulatur keinesfalls ersetzen kann [11]. Diese bleiben gerade in Fällen, in denen ein sicherer Ausschluss oder eine sichere Diagnose einer Schwächung der inspiratorischen Atemmuskulatur vorliegen kann, der diagnostische Goldstandard [11]. Auch liegen bisher keine Untersuchungen zum möglichen prädiktiven Wert einer Zwerchfell-Dysfunktion im Ultraschall in Bezug auf die hyperkapnische respiratorische Insuffizienz bei Patienten mit COPD oder neuromuskulären Erkrankungen vor. Hier bleibt die Blutgasanalyse sowie die (nächtliche) transkutane Kapnometrie der diagnostische Goldstandard [12].

¹ Sniff-Manöver durchgeführt aus funktioneller Residualkapazität heraus

² Amplitude bei maximaler Einatmung = von funktioneller Residualkapazität auf totale Lungenkapazität

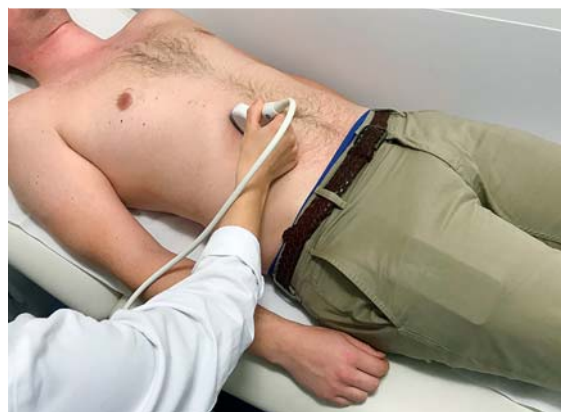
Merke

Zwerchfell-Ultraschall ist v. a. ein Maß der Zwerchfell-Funktion und nicht der Zwerchfell-Kraft. Hier müssen zur Verifizierung andere Verfahren eingesetzt werden. Die sensitive und frühzeitige Diagnose einer hyperkapnischen respiratorischen Insuffizienz bzw. einer schlafbezogenen Hypoventilation erfordert zwingend die Durchführung von Blutgasanalysen bzw. einer (transkutanen) nächtlichen Kapnometrie.

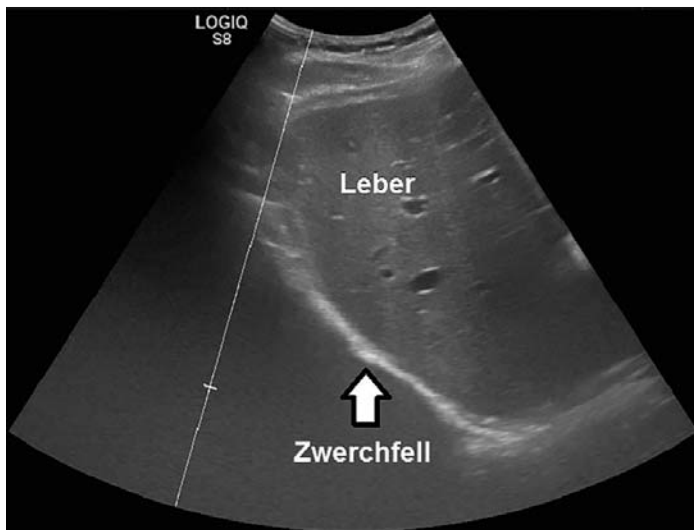
Der Zwerchfell-Ultraschall ist von der Mitarbeit des Patienten abhängig (erste Daten liegen jedoch auch bereits für beatmete Patienten auf der Intensivstation vor). Die bisher erarbeiteten Normalwerte wurden mehrheitlich nur für das rechte Hemidiaphragma etabliert [2–9]. Hierbei darf jedoch (außer bei isolierter Schädigung des Zwerchfells bzw. des N. phrenicus auf der rechten Seite) davon ausgegangen werden, dass die Sonografie des rechten Hemidiaphragmas zuverlässige Informationen über die Funktion des Zwerchfells als Ganzes liefert.

Schritt für Schritt

Der im Folgenden dargestellte Ablauf zur Evaluation der Zwerchfell-Exkursion (**A**) und Zwerchfell-Kontraktion (**B**) stellt unserer (der vorliegenden Autoren) Auffassung nach einen allumfassenden Ansatz dar eine Zwerchfell-Ultraschalluntersuchung durchzuführen. Leichte Abweichungen zu anderen publizierten Arbeiten sind jedoch nicht vermeidbar [2–9]. Diese kommen u. a. dadurch zustande, dass in verschiedenen Vorarbeiten bereits die Untersuchungsposition (liegend vs. sitzen vs. sogar stehend) variiert [2–9]. Für den hier dargestellten Ablauf haben wir eine Untersuchungsposition im Liegen mit 30° angewinkeltem Kopfteil festgelegt (► **Abb. 1**). Der Charme des hier vorgestellten Ablaufes folgt daraus, dass die oben angegebenen Normalwerte im Rahmen einer Originalarbeit [1]



► **Abb. 1** Anlegen des Schallkopfes zur Evaluation der Zwerchfellexkursion.



► **Abb. 2** Das subkostale Leberfenster zur Darstellung des rechten Hemi-diaphragmas.

bei 70 gesunden Probanden mit genau diesem erhoben wurden und damit hier anwendbar sind.

Die (intra-individuelle) Reproduzierbarkeit der vorgestellten Messparameter haben wir als sehr zufriedenstellend evaluiert (Standard-Koeffizient < 0.20) [1], was sich auch mit Vorangaben dazu deckt [2–9]. Dabei ist im Vergleich gerade die sehr gute (Inter- und Intraobserver-) Reproduzierbarkeit der DTR positiv hervorzuheben [1–9].

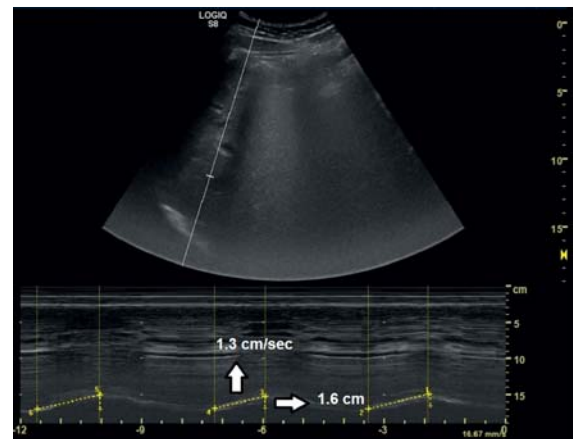
A: Evaluation der Zwerchfellexkursion

Ziel ist es mittels des Konvexschallkopfes (2,5–5 MHz) im subkostalen „Leberfenster“ die Exkursion des rechten Hemi-diaphragmas im M-Mode zu evaluieren. Beim M-Mode wird eine Achse in das B-Bild gelegt und das Signal, das von den reflektierten Ultraschallwellen dieser Achse empfangen wird, über die Zeit aufgetragen (siehe ► **Abb. 2**).

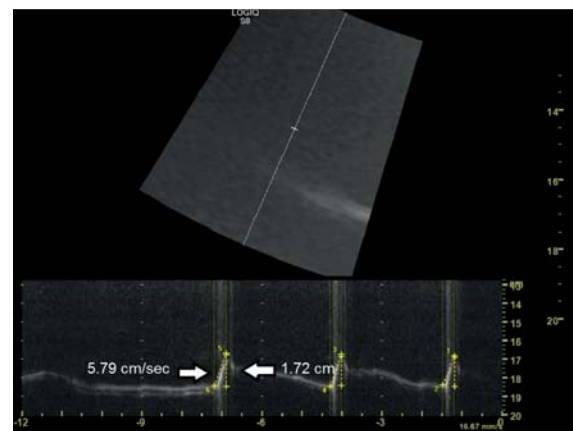
Schritt 1: Darstellung des Zwerchfells zur Messung der diaphragmalen Exkursion

Legen Sie den Schallkopf in der mittleren Klavikular- bis vorderen Axillar-Linie rechts subkostal mit einer Ausrichtung des Schallfensters nach kranial an (Anlotwinkel möglichst steil wählen) (► **Abb. 1**).

Das echoreich erscheinende Zwerchfell („unter der Leber“) sollten Sie dann im posterioren Drittel mittels des M-Modus anschneiden (► **Abb. 2** u. ► **Abb. 3**).



► **Abb. 3** Messung von Geschwindigkeit und Amplitude der Zwerchfellexkursion bei Ruheatmung im M-Mode.



► **Abb. 4** Messen der Geschwindigkeit und Amplitude der Zwerchfellexkursion während eines forcierten inspiratorischen Atemmanövers (sog. *Sniff-Manöver*).

Schritt 2: Messung der Zwerchfellexkursion in Ruheatmung

Messen Sie die Geschwindigkeit und Amplitude der Zwerchfellexkursion in Ruheatmung (► **Abb. 3**).

Schritt 3: Messung der Zwerchfellexkursion bei forcierter Inspiration

Messen Sie die Geschwindigkeit und Amplitude der Zwerchfellexkursion während eines forcierten inspiratorischen Atemmanövers (sog. *Sniff-Manöver*) (► **Abb. 4**).

Schritt 4: Messung der Zwerchfellexkursion bei maximaler Inspiration

Messen Sie die maximale inspiratorische Zwerchfellexkursion (Amplitude der Zwerchfellexkursion zwischen Residualvolumen und totaler Lungenkapazität) (► **Abb. 5**).

Merke

Sämtliche o. g. Messungen sollten jeweils dreimal erfolgen. Dokumentiert wird später für jede Variable der Mittelwert aus drei Messungen.

B: Evaluation der Zwerchfell-Kontraktion

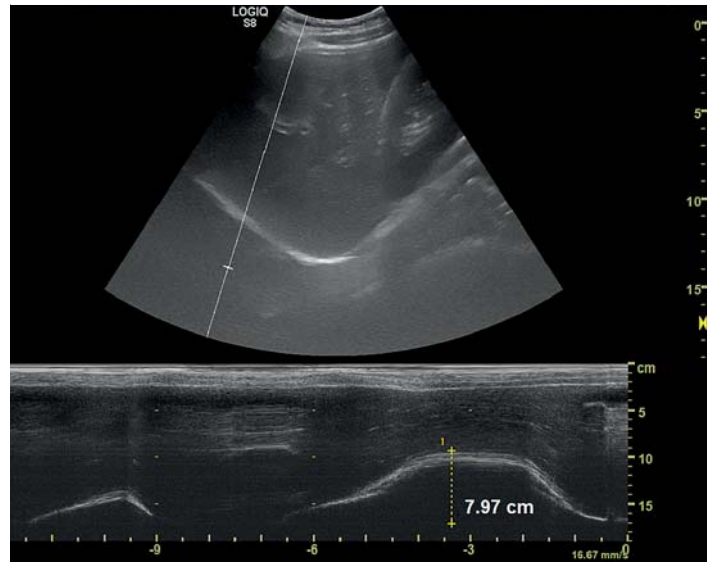
Im zweiten Schritt wird das rechte Hemidiaphragma mittels eines Linearschallkopfes (10 MHz) in der sog. Appositionszone („Zone, in welcher das Zwerchfell am Rippenbogen befestigt ist“) dargestellt. Die exakte Lokalisierung dieser Zone kann herausfordernd sein.

Schritt 1:

Im ersten Schritt wird das rechte Hemidiaphragma mittels eines Linearschallkopfes (7,5–10 MHz) in der sog. Appositionszone (= Zone, in der das Zwerchfell am Rippenbogen inseriert) dargestellt. Die exakte Lokalisierung dieser Zone kann mitunter schwierig sein.

Als Routine-Vorgehen ist zu empfehlen, den Linearschallkopf (7,5–10 MHz) in kranio-kaudaler Ausrichtung in der posterioren Axillarlinie zwischen dem 8. und 10. Interkostalraum auf der rechten Seite anzulegen (► **Abb. 6**).

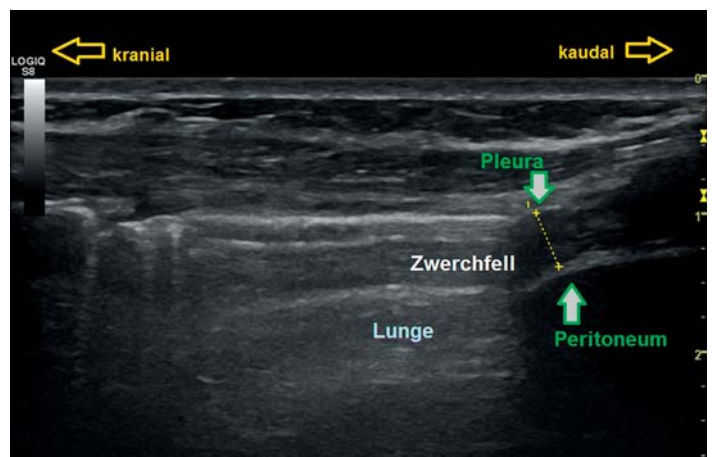
Auf diese Weise kann das Zwerchfell mit seinen charakteristischen 3 Schichten visualisiert werden. Pleura und Peritoneum imponieren als äußere echoreiche Begrenzungen, während das eigentliche Muskelgewebe des Zwerchfells als echoarme Zwischenschicht zu erkennen ist. Während der Inspiration kontrahiert das Zwerchfell, d. h. die Lunge schiebt sich von links (bzw. kranial) nach rechts (bzw. kaudal) ins Bild und wirft ihren Schallschatten ebenfalls nach rechts. Dabei nimmt die Dicke des Zwerchfells zu. Während der Expiration wird das Zwerchfell wieder dünner; die Lunge bewegt sich nach links (bzw. kranial) aus dem Bild heraus (► **Abb. 7**).



► **Abb. 5** Messen der maximalen Zwerchfellexkursion.



► **Abb. 6** Anlegen des Schallkopfes zur Evaluation der Zwerchfell-Kontraktion.



► **Abb. 7** Das Zwerchfell in der Appositionszone.

Schritt 2:

Die Dicke des Zwerchfells wird endexpiratorisch bzw. in funktioneller Residualkapazität und nach maximaler Inspiration, d.h. bei totaler Lungenkapazität gemessen, ohne die Position des Schallkopfes zu verändern (► **Abb. 8**)..

Cave

Die Messung der Zwerchfelldicke sollte möglichst exakt an derselben Stelle für funktionelle Residualkapazität und totale Lungenkapazität gemessen werden.

Schritt 3:

Die „Diaphragm thickening ratio“ (DTR) wird als Quotient aus Zwerchfelldicke bei totaler Lungenkapazität/ Zwerchfelldicke bei funktioneller Residualkapazität berechnet.

Merke

Sämtliche o. g. Messungen sollten dreimal erfolgen. Dokumentiert wird jeweils der Mittelwert aus 3 Messungen.

Interessenkonflikte

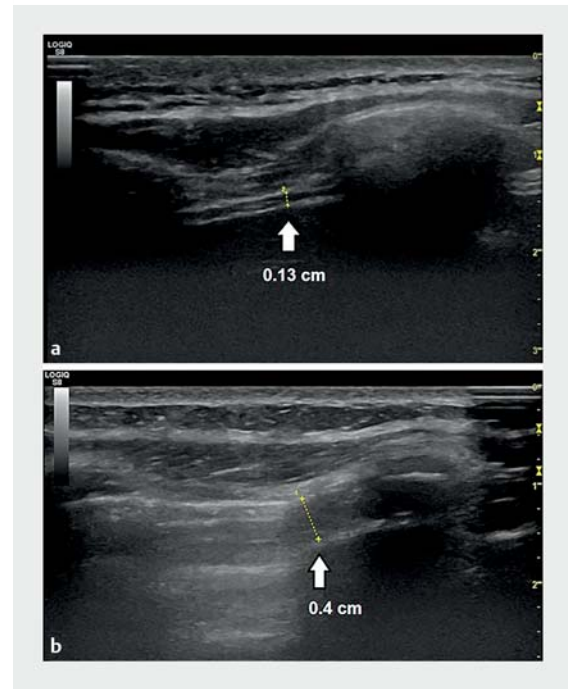
JS wird von der Else-Krüner-Fresenius Stiftung, der Kommission für Innovative Medizinische Forschung an der medizinischen Fakultät Münster und Löwenstein Medical in aktuellen Forschungsprojekten unterstützt. HJK wurde von der Firma Phillips GmbH Deutschland sowie der Deutschen Forschungsgemeinschaft in Forschungsprojekten zur Atemmuskelfunktion unterstützt. CH hat keine Interessenkonflikte. MB hat Vortragshonorare und Forschungsförderung von Sanofi-Genzyme und Löwenstein Medical erhalten. SS und DD geben an keine Interessenkonflikte im Kontext der vorliegenden Arbeit zu haben.

Autorinnen/Autoren**Dr. med. Jens Spiesshoefer**

Dr. med. Jens Spiesshoefer ist seit 2016 Weiterbildungsassistent zum Facharzt für Innere Medizin mit Schwerpunkt Pneumologie am Universitätsklinikum Düsseldorf und Universitätsklinikum Münster. Wissenschaftliche Schwerpunkte: Pathophysiologie und Therapie des hyperkapnischen Atemversagens/schlafbezogener Atemstörungen.

**Carolin Henke**

Carolin Henke ist seit 2018 Weiterbildungsassistentin am Universitätsklinikum Münster. Wissenschaftlicher Schwerpunkt: Pathophysiologie der eingeschränkten Atemmuskulatur bei neuromuskulären Erkrankungen.



► **Abb. 8** Messen der Zwerchfelldicke in der Appositionszone in funktioneller Residualkapazität (a) und in totaler Lungenkapazität (b).

**Dr. med. Sarah Schwarz**

Dr. med. Sarah Schwarz ist seit 2016 Weiterbildungsassistentin in der Lungenklinik Köln-Merheim. Wissenschaftlicher Schwerpunkt: Pathophysiologie des hyperkapnischen Atemversagens und ihrer NIV-Therapie bei COPD-Patienten.

**Priv.-Doz. Dr. med. Matthias Boentert**

Priv.-Doz. Dr. med. Matthias Boentert habilitierte 2018 und ist seit 2019 ist er Oberarzt an der Klinik für Neurologie des Universitätsklinikums Münster.

**PD Dr. med. Dominik Dellweg**

PD Dr. med. Dominik Dellweg habilitierte 2013 an der Philipps Universität Marburg und ist Chefarzt der Pneumologie 1 Fachkrankenhaus Kloster Grafschaft.

**Prof. Dr. med. Hans Joachim Kabitz**

Prof. Dr. med. Hans Joachim Kabitz habilitierte 2012. Im Jahr 2015 folgte die Ernennung zum außerplanmäßigen Professor an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. Seit 2014 ist er Chefarzt II. Medizinische Klinik Klinikum Konstanz.

Korrespondenzadresse

Dr. med. Jens Spiesshoefer
Labor für Atmungsphysiologie
Klinik für Neurologie mit Institut für Translationale
Neurologie
Albert-Schweitzer-Campus 1, Gebäude A1
48149 Münster
E-Mail: Jens.Spiesshoefer@ukmuenster.de

Literatur

- [1] Spiesshoefer J, Herkenrath S, Henke C et al. Evaluation of respiratory muscle strength and diaphragm ultrasound: normative values, theoretical considerations and practical recommendations. *BMC Pulmonary Medicine* 2019: under review (minor revisions)
- [2] Boussuges A, Gole Y, Blanc P. Diaphragmatic motion studied by M-mode ultrasonography. *Chest* 2009; 135: 391 – 400
- [3] Boon AJ, Harper CJ, Ghahfarokhi LS et al. Two-dimensional ultrasound imaging of the diaphragm: Quantitative values in normal subjects. *Muscle and Nerve* 2013; 47: 884 – 889
- [4] Carrillo-Esper R, Perez-Calatayud AA, Arch-Tirado E et al. Standardization of Sonographic Diaphragm Thickness Evaluations in Healthy Volunteers. *Respir Care* 2016; 61: 920 – 924
- [5] Cardenas LZ, Santana PV, Caruso P et al. Diaphragmatic Ultrasound Correlates with Inspiratory Muscle Strength and Pulmonary Function in Healthy Subjects. *Ultrasound Med Biol* 2018; 44: 786 – 793
- [6] Marchioni A, Castaniere I, Tonelli R et al. Ultrasound-assessed diaphragmatic impairment is a predictor of outcomes in patients with acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease undergoing noninvasive ventilation. *Crit Care* 2018; 22: 109
- [7] Antenora F, Fantini R, Iattoni A et al. Prevalence and outcomes of diaphragmatic dysfunction assessed by ultrasound technology during acute exacerbation of COPD: A pilot study. *Respirology* 2017; 22: 338 – 344
- [8] Sarwal A, Walker FO, Cartwright MS. Neuromuscular ultrasound for evaluation of the diaphragm. *Muscle and Nerve* 2013; 47: 319 – 329
- [9] Dubé BP, Dres M, Mayaux J et al. Ultrasound evaluation of diaphragm function in mechanically ventilated patients: Comparison to phrenic stimulation and prognostic implications. *Thorax* 2017; 72: 811 – 818
- [10] Kabitz H-J, Walterspacher S, Walker D et al. Inspiratory muscle strength in chronic obstructive pulmonary disease depending on disease severity. *Clin Sci (Lond)* 2007; 113: 243 – 249
- [11] Laveneziana P, Albuquerque A, Aliverti A et al. ERS Statement on Respiratory Muscle Testing at Rest and during Exercise. *Eur Respir J* 2019. doi:10.1183/13993003.01214-2018
- [12] Boentert M, Glatz C, Helmle C et al. Prevalence of sleep apnoea and capnographic detection of nocturnal hypoventilation in amyotrophic lateral sclerosis. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2018; 89: 418 – 424

Bibliografie

DOI <https://doi.org/10.1055/a-0760-7136>
Pneumologie 2019; 73: 486–491
© Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York
ISSN 0934-8387

Hinweis: Dieser Beitrag wurde gemäß folgendem Erratum vom 19.12.2019 geändert:

ERRATUM

Zwerchfell-Ultraschall durchführen und interpretieren – Schritt für Schritt

Spiesshoefer J, Henke C, Schwarz S et al.
Pneumologie 2019; 73: 486–491

Im oben genannten Artikel wurde die Dicke des Zwerchfells falsch angegeben. Richtig ist auf Seite 486: Eine sonografisch erfasste Zwerchfellatrophie (< 1,5 mm bei Männern und < 1,3 mm bei Frauen) prädiziert bei auf der Intensivstation beatmeten Patienten ein erschwertes Weaning und ein schlechteres Outcome. Richtig ist auf Seite 487: Funktionelle Residual-Kapazität: 1,7 (♂) und 1,5 (♀) mm; Totale Lungenkapazität: 4,6 (♂) und 3,5 (♀) mm; Diaphragm Thickening Ratio: 2,2 (♂ und ♀).