

Ultraschall im Airway Management

Dr. med. Gernot Gorsewski, Oberarzt, Leitung OP-Bereich West, Landeskrankenhaus Feldkirch, Feldkirch (AT)

gernot.gorsewski@vlkh.net

Einführung: ¹⁻⁴

Der Ultraschall hat seit über 10 Jahren einen festen Stellenwert im Bereich des Airway Managements, wenn es evtl. auch (noch) etwas vermessen wäre, ihn derzeit als generelles „must-have“ für das Atemwegsmanagement zu bezeichnen. Allerdings werden die folgenden Beispiele zeigen, dass die Sonographie vielleicht etwas mehr als nur eines sehr nützliches Accessoire ist, das unter speziellen Rahmenbedingungen oder in ungewöhnlichen Situationen ausgesprochen hilfreich sein kann.

Magensonographie: ⁵⁻⁹

Der Nüchternheitsstatus ist bei der Planung einer Allgemeinanästhesie ein entscheidender Bestandteil. Es gibt einerseits klar geregelte Nüchternheitszeiten, bei deren Beachtung man bei gesunden Patienten das Risiko einer Aspiration minimieren kann. Andererseits existieren auch mehrere Graubereiche, wo eine klare Festlegung auf das Prädikat „nüchtern“ selbst nach mehr als 6 Stunden Fasten nicht möglich ist. Dazu gehören u. a. Patienten nach einem Trauma oder Patienten mit einem langjährigen insulinpflichtigen Diabetes mellitus. Die Sonographie kann hier eine gewisse Entscheidungshilfe darstellen.

Positioniert man Patienten in Rechtsseitenlage und setzt einen Curved-Array-Schallkopf in kraniokaudaler Ausrichtung subcostal auf, so erhält man einen Blick auf die Leber, die Aorta abdominalis und den Abgang der A. mesenterica superior. Am Leberunterrand wird zudem das mehrschichtige, rundliche Antrum des Magens erkennbar.

Anhand der Querschnittsfläche (CSA), der Wanddicke und des Echoverhaltens im Binnenraum können Rückschlüsse auf das Volumen und die Art des Mageninhalts gezogen werden. Eine Querschnittsfläche von beispielsweise 11 cm² bei einem 60-jährigen Pat. lassen auf ca. 111 ml Inhalt schließen. Je voller der Magen ist, desto dünner imponiert die Wand. Handelt es sich um klare Flüssigkeit, so ist diese in der Sonographie anechogen, wohingegen fester Mageninhalt heterogen hyperechogen imponiert. Luft führt zur Schallstreuung mit artefaktbedingter Nichtbeurteilbarkeit der dahinterliegenden Strukturen. Bei Kindern kann man bei einer CSA unter 3,07 cm² von einem leeren Magen ausgehen.

Der sonographische Nachweis einer großen Menge an klarer Flüssigkeit oder fester Nahrung können trotz eingehaltener Nüchternheitszeiten die Indikation zur Rapid-Sequence-Intubation liefern.

Ultraschall und tracheale Intubation: ^{4,10-18}

Die Intubation der Trachea wird gewöhnlich durch direkte Laryngoskopie und primär mittels Sichtkontrolle durchgeführt. Die korrekte Tubuslage wird regelhaft durch den Nachweis von expiratorischem CO₂ und Auskultation verifiziert. Auch die fiberoptische Kontrolle dient der sicheren Intubations- und Lagekontrolle. Diese Vorgehensweisen können unter bestimmten Bedingungen (z. B. Kreislaufstillstand, massive Aspiration, enorale Blutung, schwieriger Atemweg etc.) Limitationen aufweisen.

Der Charme der Sonographie bei der Intubationskontrolle liegt in der direkten Visualisierung der trachealen bzw. gerade auch der ösophagealen Intubation. Der Ultraschall ermöglicht ungeachtet einer supraglottischen Sichtbehinderung einen Blick auf den kranialen Teil der Trachea und den Ösophagus. Hierfür wird der Schallkopf i. d. R. transversal oberhalb der linken Clavicula aufgesetzt und ein Kurzachsenblick auf die Trachea und den Ösophagus generiert.

Besteht vor der Intubation die Möglichkeit zu sonographieren, so empfiehlt es sich, den meist linksseitig lokalisierten Ösophagus darzustellen. Ist der Patient/die Patientin in der Lage zu schlucken, so kann ein hyperechogener Reflex inmitten des Ösophagus zu sehen sein. Bei regelrechter Intubation ist meist ein Gleiten des Tubus auf der Trachealschleimhaut feststellbar. Sollte der Tubus in den Ösophagus abgleiten, so ist dies am sog. „Double-Tract-Sign“ zu erkennen. Hierbei findet sich neben dem Tracheallumen eine weitere fast gleich dimensionierte runde Struktur mit anechogenem Binnenmuster.

Ein entscheidender Vorteil besteht darin, sich schon vor dem ersten Atemhub festlegen zu können, ob eine korrekte oder falsche Tubuslage vorliegt. Dem gegenüber erfordert die Beurteilung des endtidalen CO₂ neben einem funktionierenden Kreislauf mindestens einen Atemhub. Zusätzlich ist ein zeitliches Intervall bis zur Analyse der Ausatemluft zu berücksichtigen. Insbesondere bei einem Ileus ist es erstrebenswert, eine Überblähung des Magens durch Atemhübe über einen ösophageal liegenden Tubus und eine konsekutive Aspiration zu vermeiden.

Sonographische Lagekontrolle des (Doppellumen-)Tubus: ^{19,20}

Die klassische Beatmung erzeugt ein atemzyklisches Gleiten der Pleura viszeralis auf der Pleura parietalis, welches sich als sog. Lungengleiten in der Sonographie darstellt. Die pulsatile Perfusion des Lungenparenchyms ist für den Lungenpuls verantwortlich, der bei an der Thoraxwand anliegender Lunge erkennbar ist. Ist das Lungengleiten nur einseitig und auf der Gegenseite lediglich ein Lungenpuls vorhanden, so kann von einer einseitigen Intubation bzw. Ventilation ausgegangen werden.

Auch bei einer Intubation mit einem Doppellumentubus kann dieser Befund mit dem einseitigen Abklemmen korreliert werden und somit eine Aussage bzgl. der Tubuslage

getroffen werden. Bei klinischen Umständen wie beispielsweise einer massiven kindlichen Skoliose mit kleinen Lumina des Doppellumentubus und sehr asymmetrischer Verteilung des Lungenparenchyms kann die Sonographie eine gewisse Hilfestellung geben.

Sonographie und Punktion des Lig. cricothyroideum / Koniotomie: ²¹⁻²⁸

Das Palpieren des Lig. cricothyroideum kann auch bei gesunden Frauen und speziell u. a. bei Patienten nach Operationen und/oder Bestrahlung im vorderen Halsbereich deutlich erschwert sein. Dabei handelt es sich jedoch häufig um Patienten mit erhöhtem Risiko für einen schwierigen Atemweg.

Die Sonographie kann hier wesentlich zur korrekten Identifikation und Lokalisation des Lig. cricothyroideum beitragen. Die Mittellinie lässt sich durch transversales Aufsetzen des Linearschallkopfs bestimmen. Für die Orientierung in kraniokaudaler Achse ist die Darstellung der Trachea in der langen Achse zu empfehlen, wobei darauf geachtet werden sollte, dass die Schallwellen möglichst senkrecht auf die Lumenoberfläche der Trachea auftreffen. Trachealknorpelspangen, Ring- und Schildknorpel sind als anechogene Strukturen in typischer Geometrie erkennbar, die durch echogenes Bindegewebe miteinander verbunden sind. Darunter befindet sich die Luft-Mukosa-Grenze, die sich stark echogen präsentiert. Unter der Luft-Mukosa-Grenze finden sich i. d. R. zahlreiche Spiegelartefakte, die bei der Bildinterpretation entsprechend zu bewerten sind.

Ultraschallgezielt kann das Ligament entsprechend der individuellen Anatomie der Patienten zuverlässig lokalisiert und markiert werden. Der Ultraschall kann auch bei der Punktion des Lig. cricothyroideum selbst eine wertvolle Hilfe darstellen. Anzumerken ist hierbei, dass eine Notfallkoniotomie selbstverständlich nicht durch das zeitraubende Herbeiholen eines Ultraschallgeräts verzögert werden darf.

Ultraschall-gestützte perkutane dilatative Tracheotomie: ²⁹⁻⁴⁰

Die Sonographie der ventralen Halsregion kann wesentliche Hinweise auf die individuellen anatomischen Verhältnisse von Patienten liefern, die perkutan dilatativ tracheotomiert werden sollen.

Mit Hilfe eines Linearschallkopfs kann eine geeignete Punktionshöhe ermittelt werden. Hierfür eignet sich die Darstellung der Trachea in der langen Achse. Eine Rotation in die kurze Achse ist hilfreich, um die Mittellinie der Trachea zu definieren. Nach Reduktion des Auflagedrucks können neben arteriellen auch venöse Gefäße sichtbar gemacht werden, so dass u. U. die Punktionshöhe dementsprechend adaptiert werden muss.

Ein wichtiger Punkt ist sicher auch die ultraschallkontrollierte Punktion selbst. Der Punktionsweg kann sonographisch überwacht und eine Punktion von arteriellen sowie v. a. venösen Gefäßen vermieden werden. Nützlich ist auch ein gezielter Übergang von

sonographischer zur bronchoskopischer Kontrolle in Höhe der Luft-Mukosa-Grenze. Beim Eindringen der Mukosa sollte die Nadelspitze sowohl sonographisch als auch bereits bronchoskopisch lokalisiert werden können. Sollte sich die Nadelspitze nicht in der Mukosa abzeichnen, so können Schäden am Bronchoskop u. U. durch gezieltes Zurückziehen vermieden werden.

Der Ultraschall stellt in den Augen des Autors keinesfalls eine Konkurrenz zur Bronchoskopie sondern eine sinnvolle Ergänzung dar. Der Prozess kann bis zur Punction der Mukosa von der Sonographie profitieren. Anschließend sollte man auf die Bronchoskopie im Hinblick auf die Beurteilung der Stichrichtung, die Schonung der Trachealhinterwand und die definitiven Lagekontrolle nicht verzichten.

Sonographische Beurteilung des Diaphragmas: ⁴¹⁻⁵³

Das Diaphragma ist der wichtigste Atemmuskel. Nach längerer Beatmung kann es zu einer Atrophie kommen, welche sich negativ auf das Weaning auswirken kann. Verschiedene sonographische Parameter wurden diesbezüglich untersucht.

Die „Diaphragm Thickening Fraction (DTF) beschreibt die inspiratorische Zunahme der Diaphragmadicke (DT – diaphragm thickness): $DTF = (DT_{\text{endinsp.}} - DT_{\text{endexpir.}}) / DT_{\text{endexpir.}}$

Dabei wird ein Linearschallkopf in kraniokaudaler Ausrichtung am besten auf der rechten Körperseite in der mittleren/vorderen Axillarlinie in Höhe des Diaphragmas im 8. - 9. Interkostalraum aufgesetzt. Dabei wird die Appositionszone des Zwerchfells dargestellt. Es zeigt sich eine Schichtung von Thoraxwand – Pleura – Diaphragma – Peritoneum – Leber. Die Interpretation des Mittelwerts aus 3 Messungen wird empfohlen. Als Cutoff-Werte für ein erfolgreiches Weaning werden in der Literatur meist 24-30% (Range: 20-36%) genannt.

Ein weiterer Parameter ist die „Diaphragmatic Excursion“ (DE). Hierbei wird ein Curved-Array-Schallkopf subkostal zwischen der vorderen Axillarlinie und der midklavikulären Linie in kraniokaudaler Ausrichtung auf das Abdomen positioniert. Unter Ausnutzen der Leber als Schallfenster kann der Messstrahl des M-Modus senkrecht auf das hintere Diaphragma auftreffen. Die atemzyklischen Verschiebungen nahe des Recessus costodiaphragmaticus können somit ausgemessen werden. Auch die DE wird durch das Mitteln von 3 Messwerten aussagekräftiger. Der Cutoff für ein erfolgreiches Weaning wird in der Literatur meist zwischen 1,0 - 1,5 cm angegeben.

Es gibt erste Hinweise auf die Möglichkeit einer funktionellen Beurteilung des Diaphragmas mittels Speckle tracking. Dabei werden vom Ultraschallgerät Grauwerte während der Inspiration kontinuierlich verfolgt, um die Kontraktilität dieses wichtigen Atemmuskels zu beurteilen. Welchen Stellenwert dieses Verfahren in Zukunft einnehmen wird, ist derzeit noch nicht geklärt.

Literatur:

1. Sustić A. Role of ultrasound in the airway management of critically ill patients. *Critical Care Medicine* 2007; 35: S173-7.
2. Kristensen MS. Ultrasonography in the management of the airway. *Acta Anaesthesiol Scand* 2011; 55: 1155-73.
3. Kristensen MS, Teoh WH, Graumann O, Laursen CB. Ultrasonography for clinical decision-making and intervention in airway management: from the mouth to the lungs and pleurae. *Insights Imaging* 2014; 5: 253-79.
4. You-Ten KE, Siddiqui N, Teoh WH, Kristensen MS. Point-of-care ultrasound (POCUS) of the upper airway. *Can J Anaesth* 2018; 106: 266-12.
5. Gagey AC, de Queiroz Siqueira M, Monard C, Combet S, Cogniat B, Desgranges FP, Robinson P, Chassard D, Bouvet L. The effect of pre-operative gastric ultrasound examination on the choice of general anaesthetic induction technique for non-elective paediatric surgery. A prospective cohort study. *Anaesthesia* 2017; 90: 66-9.
6. Alakkad H, Kruisselbrink R, Chin KJ, Niazi AU, Abbas S, Chan VWS, Perlas A. Point-of-care ultrasound defines gastric content and changes the anesthetic management of elective surgical patients who have not followed fasting instructions: a prospective case series. *Can J Anaesth* 2015; 62: 1188-95.
7. Moser JJ, Walker AM, Spencer AO. Point-of-care paediatric gastric sonography: can antral cut-off values be used to diagnose an empty stomach? *British Journal of Anaesthesia* 2017; 119: 943-7.
8. Van de Putte P, Perlas A. <http://www.gastricultrasound.org>. <http://www.gastricultrasound.org>
9. Van de Putte P, Perlas A. Ultrasound assessment of gastric content and volume. *British Journal of Anaesthesia* 2014; 113: 12-22.
10. Lahham S, Baydoun J, Bailey J, Sandoval S, Wilson SP, Fox JC, Slattery DE. A Prospective Evaluation of Transverse Tracheal Sonography During Emergent Intubation by Emergency Medicine Resident Physicians. *J Ultrasound Med* 2017; 36: 2079-85.
11. Chou EH, Dickman E, Tsou P-Y, Tessaro M, Tsai Y-M, Ma MH-M, Lee C-C, Marshall J. Ultrasonography for confirmation of endotracheal tube placement: a systematic review and meta-analysis. *Resuscitation* 2015; 90: 97-103.
12. Chou H-C, Tseng W-P, Wang C-H, Ma MH-M, Wang H-P, Huang P-C, Sim S-S, Liao Y-C, Chen S-Y, Hsu C-Y, Yen Z-S, Chang W-T, Huang C-H, Lien W-C, Chen S-C. Tracheal rapid ultrasound exam (T.R.U.E.) for confirming endotracheal tube placement during emergency intubation. *Resuscitation* 2011; 82: 1279-84.
13. Chou H-C, Chong K-M, Sim S-S, Ma MH-M, Liu S-H, Chen N-C, Wu M-C, Fu C-M, Wang C-H, Lee C-C, Lien W-C, Chen S-C. Real-time tracheal ultrasonography for confirmation of endotracheal tube placement during cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 2013; 84: 1708-12.
14. Tsung JW, Fenster D, Kessler DO, Novik J. Dynamic anatomic relationship of the esophagus and trachea on sonography: implications for endotracheal tube confirmation in children. *J Ultrasound Med* 2012; 31: 1365-70.
15. Pfeiffer P, Bache S, Isbye DL, Rudolph SS, Rovsing L, Børghlum J. Verification of endotracheal intubation in obese patients - temporal comparison of ultrasound vs. auscultation and capnography. *Acta Anaesthesiol Scand* 2012; 56: 571-6.
16. Muslu B, Sert H, Kaya A, Demircioglu RI, Gözdemir M, Usta B, Boynukalin KS. Use of sonography for rapid identification of esophageal and tracheal intubations in adult patients. *J Ultrasound Med* 2011; 30: 671-6.
17. Ma G, Davis DP, Schmitt J, Vilke GM, Chan TC, Hayden SR. The sensitivity and specificity of transcricothyroid ultrasonography to confirm endotracheal tube placement in a cadaver model. *J Emerg Med*. 2007; 32: 405-7.
18. Kei J, Utschig EE, van Tonder RJ. Using Ultrasonography to Assess the Effectiveness of Cricoid Pressure on Esophageal Compression. *Journal of Emergency Medicine* 2017; 53: 236-40.
19. Sustić A, Protić A, Cicvarić T, Župan Ž. The addition of a brief ultrasound examination to clinical assessment increases the ability to confirm placement of double-lumen endotracheal tubes. *Journal of Clinical Anesthesia* 2010; 22: 246-9.

20. Weaver B, Lyon M, Blaiwas M. Confirmation of endotracheal tube placement after intubation using the ultrasound sliding lung sign. *Acad Emerg Med* 2006; 13: 239–44.
21. Develi S, Yalcin B, Yazar F. Topographical anatomy of cricothyroid membrane and its relation with invasive airway access. *Clin Anat* 2016; 29: 949–54.
22. Dover K, Howdieshell TR, Colborn GL. The dimensions and vascular anatomy of the cricothyroid membrane: relevance to emergent surgical airway access. *Clin Anat* 1996; 9: 291–5.
23. Kristensen MS, Teoh WH, Rudolph SS, Hesselfeldt R, Børghlum J, Tvede MF. A randomised cross-over comparison of the transverse and longitudinal techniques for ultrasound-guided identification of the cricothyroid membrane in morbidly obese subjects. *Anaesthesia* 2016; 71: 675–83.
24. Kristensen MS, Teoh WH, Rudolph SS. Ultrasonographic identification of the cricothyroid membrane: best evidence, techniques, and clinical impact. *British Journal of Anaesthesia* 2016; 117 Suppl 1: i39–i48.
25. Elliott DSJ, Baker PA, Scott MR, Birch CW, Thompson JMD. Accuracy of surface landmark identification for cannula cricothyroidotomy. *Anaesthesia* 2010; 65: 889–94.
26. Lamb A, Zhang J, Hung O, Flemming B, Mullen T, Bissell MB, Arseneau I. Accuracy of identifying the cricothyroid membrane by anesthesia trainees and staff in a Canadian institution. *Can J Anaesth* 2015; 62: 495–503.
27. Aslani A, Ng S-C, Hurley M, McCarthy KF, McNicholas M, McCaul CL. Accuracy of identification of the cricothyroid membrane in female subjects using palpation: an observational study. *Anesthesia & Analgesia* 2012; 114: 987–92.
28. You-Ten KE, Desai D, Postonogova T, Siddiqui N. Accuracy of conventional digital palpation and ultrasound of the cricothyroid membrane in obese women in labour. *Anaesthesia* 2015; 70: 1230–4.
29. Kupeli I, Nalbant R. Comparison of 3 techniques in percutaneous tracheostomy: Traditional landmark technique; ultrasonography-guided long-axis approach; and short-axis approach – Randomised controlled study. *Anaesthesia Critical Care & Pain Medicine* 2017 Dec doi: 10.1016/j.accpm.2017.11.011: 1–2.
30. Rees J, Haroon Y, Hogan C, Saha S, Derekshani S. The ultrasound neck imaging for tracheostomy study: A study prompting ultrasound screening prior to percutaneous tracheostomy procedures to improve patient outcomes. *Journal of the Intensive Care Society* 2018; 19: 107–13.
31. Gobatto ALN, Besen BAMP, Cestari M, Pelosi P, Malbouisson LMS. Ultrasound-Guided Percutaneous Dilational Tracheostomy: A Systematic Review of Randomized Controlled Trials and Meta-Analysis. *J Intensive Care Med* 2018; 170: 088506661875533–8.
32. Hulde N, Köppen M, Gratzke M, Kisch-Wedel H, Brenner P, Hüge V. [Hemorrhage of the innominate artery during percutaneous dilatation tracheotomy]. *Anaesthesist* 2018; 67: 448–51.
33. Song J, Xuan L, Wu W, Zhu D, Zheng Y. Comparison of Percutaneous Dilatational Tracheostomy Guided by Ultrasound and Bronchoscopy in Critically Ill Obese Patients. *J Ultrasound Med* 2017 Oct 19. doi: 10.1002/jum.14448
34. Sarıtaş A, Kurnaz MM. Comparison of Bronchoscopy-Guided and Real-Time Ultrasound-Guided Percutaneous Dilatational Tracheostomy: Safety, Complications, and Effectiveness in Critically Ill Patients. *J Intensive Care Med* 2017 Jan 1. doi: 10.1177/0885066617705641: 885066617705641.
35. Alansari M, Alotair H, Aseri Al Z, Elhoseny MA. Use of ultrasound guidance to improve the safety of percutaneous dilatational tracheostomy: a literature review. *Crit Care* 2015; 19: 229.
36. Rajajee V, Williamson CA, West BT. Impact of real-time ultrasound guidance on complications of percutaneous dilatational tracheostomy: a propensity score analysis. *Crit Care* 2015; 19: 198.
37. Rudas M, Seppelt I, Herkes R, Hislop R, Rajbhandari D, Weisbrodt L. Traditional landmark versus ultrasound guided tracheal puncture during percutaneous dilatational tracheostomy in adult intensive care patients: a randomised controlled trial. *Crit Care* 2014; 18: 514.
38. Kleine-Bruuggeney M, Greif R, Ross S, Eichenberger U, Moriggl B, Arnold A, Luyet C. Ultrasound-guided percutaneous tracheal puncture: a computer-tomographic controlled study in cadavers. *British Journal of Anaesthesia* 2011; 106: 738–42.

39. Rajajee V, Fletcher JJ, Rochlen LR, Jacobs TL. Real-time ultrasound-guided percutaneous dilatational tracheostomy: a feasibility study. *Crit Care* 2011; 15: R67.
40. Muhammad JK, Major E, Wood A, Patton DW. Percutaneous dilatational tracheostomy: haemorrhagic complications and the vascular anatomy of the anterior neck. A review based on 497 cases. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2000; 29: 217–22.
41. Wait JL, Nahormek PA, Yost WT, Rochester DP. Diaphragmatic thickness-lung volume relationship in vivo. *Journal of Applied Physiology* 1989; 67: 1560–8.
42. Goligher EC, Laghi F, Detsky ME, Farias P, Murray A, Brace D, Brochard LJ, Sebastien-Bolz S, Rubinfeld GD, Kavanagh BP, Ferguson ND. Measuring diaphragm thickness with ultrasound in mechanically ventilated patients: feasibility, reproducibility and validity. *Intensive Care Med* 2015; 41: 642–9.
43. Tenza-Lozano E, Llamas-Alvarez A, Jaimez-Navarro E, Fernández-Sánchez J. Lung and diaphragm ultrasound as predictors of success in weaning from mechanical ventilation. *Critical Ultrasound Journal* 2018 May 12. doi: 10.1186/s13089-018-0094-3: 1–9.
44. Supinski GS, Morris PE, Dhar S, Callahan LA. Diaphragm Dysfunction in Critical Illness. *Chest* 2018; 153: 1040–51.
45. Llamas-Álvarez AM, Tenza-Lozano EM, Latour-Pérez J. Diaphragm and Lung Ultrasound to Predict Weaning Outcome: Systematic Review and Meta-Analysis. *Chest* 2017; 152: 1140–50.
46. Samanta S, Singh RK, Baronia AK, Poddar B, Azim A, Gurjar M. Diaphragm thickening fraction to predict weaning—a prospective exploratory study. 2017 Nov 11. doi: 10.1186/s40560-017-0258-4: 1–9.
47. Oppersma E, Hatam N, Doorduyn J, van der Hoeven JG, Marx G, Goetzenich A, Fritsch S, Heunks LMA, Bruells CS. Functional assessment of the diaphragm by speckle tracking ultrasound during inspiratory loading. *Journal of Applied Physiology* 2017; 123: 1063–70.
48. Cohn D, Benditt JO, Eveloff S, McCool FD. Diaphragm thickening during inspiration. *Journal of Applied Physiology* 1997; 83: 291–6.
49. Schepens T, Verbrugghe W, Dams K, Corthouts B, Parizel PM, Jorens PG. The course of diaphragm atrophy in ventilated patients assessed with ultrasound: a longitudinal cohort study. *Crit Care* 2015; 19: 422.
50. Umbrello M, Formenti P. Ultrasonographic Assessment of Diaphragm Function in Critically Ill Subjects. *Respir Care* 2016; 61: 542–55.
51. Sferrazza Papa GF, Pellegrino GM, Di Marco F, Imeri G, Brochard L, Goligher E, Centanni S. A Review of the Ultrasound Assessment of Diaphragmatic Function in Clinical Practice. *Respiration* 2016; 91: 403–11.
52. Blumhof S, Wheeler D, Thomas K, McCool FD, Mora J. Change in Diaphragmatic Thickness During the Respiratory Cycle Predicts Extubation Success at Various Levels of Pressure Support Ventilation. *Lung* 2016; 194: 519–25.
53. Sondokoppam RV, Naik L, Tsui J, Tsui BCH. Proper use and interpretation of diaphragmatic ultrasonography. *Can J Anaesth* 2017; 64: 548–9.