

Place de l'échographie pulmonaire dans le processus de décision clinique du kinésithérapeute



Interest of lung ultrasonography in the physiotherapist's clinical decision-making process

Aymeric Le Neindre^{a,e}
Johan Wormser^b
Marius Lebreton^{c,d}

^aHôpital Forcilles, 77150 Férolles-Attilly, France

^bService médecine intensive et réanimation, groupe hospitalier Paris Saint-Joseph, 75014 Paris, France

^cAGIR à DOM, 38244 Grenoble, France

^dUniversité Joseph-Fourier, 38000 Grenoble, France

^eUniversité de Bourgogne, 21000 Dijon, France

Reçu le 24 mai 2016 ; accepté le 10 novembre 2016

RÉSUMÉ

Les outils d'évaluation habituellement utilisés par le kinésithérapeute, tel que la radiographie et l'auscultation, manquent de précision diagnostique. L'échographie pulmonaire présente une excellente précision dans l'évaluation de déficiences intéressant le kinésithérapeute : consolidation pulmonaire, syndrome alvéolo-interstitiel, épanchement pleural, etc. L'intégration de l'échographie pulmonaire dans le processus de décision clinique du kinésithérapeute offre de nouvelles perspectives en améliorant la précision de l'examen clinique et en guidant le choix du traitement du poumon profond, tel que l'a décrit Postiaux. Elle permet au kinésithérapeute de sélectionner la technique de recrutement alvéolaire ou de re-ventilation en fonction du type d'atteinte pulmonaire. L'utilisation de l'échographie en kinésithérapie respiratoire par un praticien formé et entraîné permet de préciser l'indication à la kinésithérapie respiratoire et d'évaluer son efficacité. Elle constitue un outil de choix à intégrer dans l'examen du patient, à l'instar de l'auscultation. Niveau de preuve. – Non adapté.

© 2016 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

SUMMARY

The assessment tools typically used by physiotherapists, such as chest X-ray and auscultation, lack of diagnostic precision. Lung ultrasonography shows excellent precision in assessing deficits of interest to physiotherapists: lung consolidation, alveolar-interstitial syndrome, pleural effusion, etc. The use of lung ultrasound in the physiotherapist's clinical decision-making offers new insights, improving the precision of clinical examination and guiding deep lung treatment, as described by Postiaux. It guides the physiotherapist in selecting alveolar recruitment and re-ventilation techniques according the type of lung deficit. Its use in chest physiotherapy by a trained and experienced physiotherapist specifies indications for chest physiotherapy and assesses treatment efficacy. Diagnostic ultrasonography is an essential tool, which should be included in work-up, alongside auscultation.

Level of proof. – Non-applicable.

© 2016 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

MOTS CLÉS

Atélectasie
Décision clinique
Échographie pulmonaire
Kinésithérapie respiratoire
Pneumopathie
Recrutement alvéolaire
Syndrome alvéolo-interstitiel

KEYWORDS

Atelectasis
Clinical decision-making
Lung ultrasonography
Chest physiotherapy
Pneumopathy
Alveolar recruitment
Alveolar-interstitial syndrome

Auteur correspondant :

A. Le Neindre,

hôpital Forcilles, 77150 Férolles-Attilly, France.

Adresse e-mail :

aymeric.leneindre@gmail.com

DOIs des articles originaux :

<http://dx.doi.org/10.1016/j.kine.2016.11.006>
<http://dx.doi.org/10.1016/j.kine.2016.11.005>
<http://dx.doi.org/10.1016/j.kine.2016.11.010>
<http://dx.doi.org/10.1016/j.kine.2016.11.013>
<http://dx.doi.org/10.1016/j.kine.2016.11.004>
<http://dx.doi.org/10.1016/j.kine.2016.11.007>
<http://dx.doi.org/10.1016/j.kine.2016.11.009>

Note de la rédaction

Cet article fait partie d'un ensemble indissociable, coordonné par Michel GEDDA, publié dans ce numéro sous forme d'un dossier nommé « L'échographie : ses indications et applications en kinésithérapie » et composé des articles suivants :

- Gedda M. L'échographie : ses indications et applications en kinésithérapie. *Kinesither Rev* 2017;17(182).
- Hartmann S. L'échographie en médecine, de la théorie à la pratique. *Kinesither Rev* 2017;17(182).
- Le Neindre A, Demont A. L'échographie en réhabilitation, une émergence anglo-saxonne. *Kinesither Rev* 2017;17(182).
- Demont A, Lemarinel M. Échographie en rééducation musculo-squelettique et neuromusculaire. *Kinesither Rev* 2017;17(182).
- Demont A, Lemarinel M. Échographie musculaire de l'abdomen : principes de base et applications cliniques pour la lombalgie commune chronique. *Kinesither Rev* 2017;17(182).
- Le Neindre A, Wormser J, Lebre M. Place de l'échographie pulmonaire dans le processus de décision clinique du kinésithérapeute. *Kinesither Rev* 2017;17(182).
- Wormser J, Lebre M, Le Neindre A. L'échographie du diaphragme : principes et intérêts pour le kinésithérapeute. *Kinesither Rev* 2017;17(182).
- Riquier S. Comment insérer l'échographie dans un processus de diagnostic différentiel physiothérapique : apports de la Physio-Échographie-Fonctionnelle® à travers deux cas cliniques de gonalgie. *Kinesither Rev* 2017;17(182).

INTRODUCTION

L'objectif de la kinésithérapie respiratoire est d'améliorer la ventilation locale ou globale et la compliance pulmonaire en favorisant le recrutement alvéolaire, la perfusion pulmonaire et la liberté des voies bronchiques [1,2]. Afin d'y parvenir, le kinésithérapeute met en œuvre une stratégie thérapeutique comprenant différentes techniques, choisies en fonction des résultats de l'examen respiratoire. Ce processus de décision clinique du kinésithérapeute repose sur l'évaluation du patient et nécessite l'utilisation d'outils diagnostics adaptés [1]. Un examen précis est indispensable pour déterminer l'indication de la kinésithérapie respiratoire, choisir les modalités du traitement, suivre l'évolution du patient et évaluer l'efficacité de la prise en charge [1,3]. Le kinésithérapeute utilise habituellement l'examen clinique, les gaz du sang, l'auscultation et l'imagerie thoracique comme la radiographie thoracique ou le scanner. Cependant, les précisions diagnostics de la radiographie thoracique et de l'auscultation sont faibles [4]. Enfin, même si le scanner thoracique reste l'examen de référence dans l'évaluation du parenchyme pulmonaire, il nécessite le transport du patient, l'expose aux radiations et est plus onéreux.

L'échographie pulmonaire bénéficie d'un développement croissant ces dernières années et devient largement acceptée en médecine d'urgence et de réanimation [5,6]. Comparée au scanner, l'échographie présente une excellente précision dans l'évaluation de déficiences intéressant le kinésithérapeute : consolidation pulmonaire, syndrome alvéolo-interstitiel, épanchement pleural, etc. [4].

L'analyse de la littérature et les consensus d'experts ont permis l'élaboration de recommandations de pratiques en kinésithérapie respiratoire [1,2,7]. Malgré son caractère hétérogène, la littérature permet tout de même de guider le choix des modalités de traitement par kinésithérapie selon le contexte pathologique. Cependant, le diagnostic des déficiences pulmonaires par le kinésithérapeute est un préalable nécessaire au choix du traitement, et est étroitement lié aux performances des outils diagnostics utilisés. De ce fait, le manque de précision des outils habituellement utilisés par le kinésithérapeute entraîne des traitements inadaptés et même parfois inutiles [8]. Dans certaines situations cliniques, l'information fournie par l'échographie pourrait orienter le kinésithérapeute dans ses choix thérapeutiques [8]. Cet apport d'informations modifierait ainsi la conduite thérapeutique du kinésithérapeute, au bénéfice du patient [9].

Cet article aborde les principes de base de la réalisation d'une échographie thoracique, la sémiologie échographique des troubles de l'aération pulmonaire et des pathologies pleurales et l'application de l'échographie dans le processus de décision clinique en kinésithérapie respiratoire [9].

PRINCIPES DE BASE ET MODALITÉS D'EXAMEN EN ÉCHOGRAPHIE THORACIQUE [6,10]

Matériels

En échographie thoracique, un appareil simple est tout à fait adapté. Les appareils plus sophistiqués proposent des filtres de gestion des artefacts : l'échographie pulmonaire étant basée sur l'analyse d'artefacts liés à la présence d'air, il est évident qu'ils sont à éviter. Deux types de sondes sont utilisées : la sonde convexe, basse fréquence pour explorer le compartiment thoracique en profondeur (ex. : parenchyme pulmonaire) et la sonde linéaire, haute fréquence, pour l'exploration des structures superficielles (ex. : plèvre).

Topographie thoracique

Le poumon est un organe volumineux, il est donc nécessaire de préciser les régions thoraciques à examiner (*Fig. 1*) : l'espace axillaire est délimité par une ligne axillaire antérieure et une ligne axillaire postérieure. Elles définissent ainsi une région d'exploration antérieure, délimitée en dedans par la ligne parasternale, une région latérale, délimitée par les lignes axillaires antérieure et postérieure, et une région postérieure, délimitée en dehors par la ligne axillaire postérieure et en dedans par une ligne médio-scapulaire ou paravertébrale [10,11]. Chaque région est divisée en partie supérieure et inférieure. Quatre niveaux d'investigations sont possibles, selon ce que l'examineur recherche (*Fig. 1*). Pour un examen classique, les trois premiers niveaux sont utilisés ; chaque hémithorax comprend ainsi six régions à explorer.

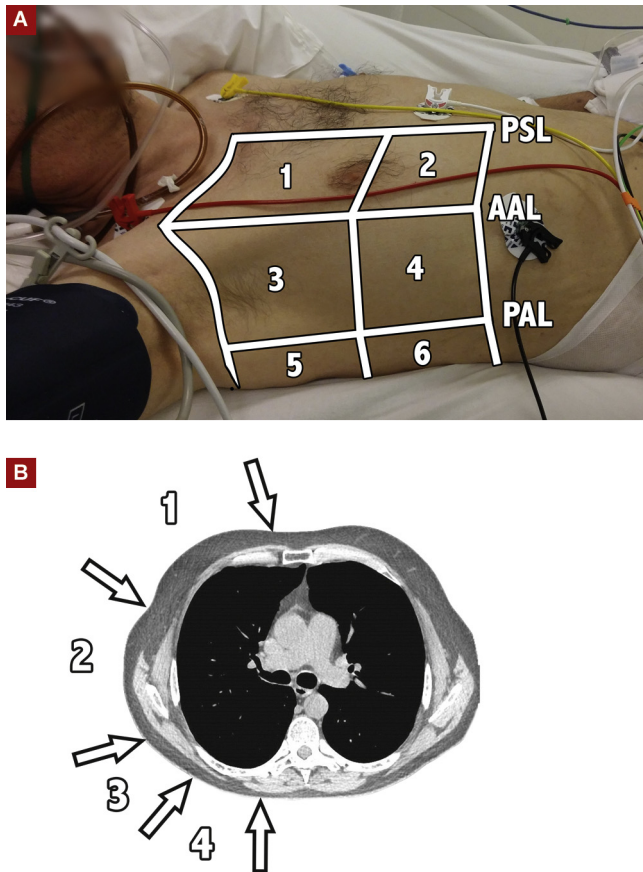


Figure 1. Topographie thoracique et niveau d'investigation en échographie pulmonaire. PSL : ligne parasternale ; AAL : ligne axillaire antérieure ; PAL : ligne axillaire postérieure. A. Chaque hémithorax comprend 6 régions à explorer. B. Les quatre niveaux d'exploration. Les zones 1, 2 et 3 sont les zones délimitées par les lignes parasternale, axillaire antérieure et postérieures. Elles sont accessibles chez un patient en décubitus dorsale. La zone 4 correspond à la région paravertébrale. Elle est accessible chez un patient en décubitus latéral complet ou assis.

Modalités de l'examen

Le patient est généralement installé en position semi-assise (inclinaison de 30°). Il pourra être légèrement positionné sur le côté pour l'exploration des régions postérieures (niveau 3 d'examen). L'exploration complète des régions postérieures (niveau 4) nécessite de placer le patient en latérocubitus complet ou en position assise [11].

La localisation du foie à droite et de la rate à gauche permet d'identifier le diaphragme, séparant le compartiment thoracique du compartiment abdominal.

La sonde échographique est placée dans un espace intercostal, selon un axe cranio-caudal (grand axe), proposant une vue longitudinale. Dans certaines situations, un axe horizontal (petit axe) peut être utilisé, proposant une vue transversale (Fig. 2). Chaque espace intercostal des différentes régions est ainsi exploré, en déplaçant transversalement la sonde [5], de l'intérieur vers l'extérieur.

L'IMAGE NORMALE EN ÉCHOGRAPHIE PULMONAIRE [6]

La sémiologie en échographie pulmonaire est principalement basée sur l'analyse des artéfacts liés à la présence d'air et d'eau mêlés.

L'image normale est caractérisée par la présence de trois signes (Fig. 3) (*matériel complémentaire, voir vidéo S1 en ligne*) :

- **le signe de la chauve-souris** : les bords supérieurs des deux côtes formant l'espace intercostal sont définis par des lignes hyperéchogènes avec en regard un cône d'ombre. Entre les deux côtes, on retrouve une ligne hyperéchogène : la ligne pleurale. Ces éléments constituent le signe de la chauve-souris ;
- **les lignes A** : ce sont des lignes horizontales, hyperéchogènes de répétition de la ligne pleurale. Elles sont liées à la présence d'air sous-pleural (pulmonaire) ;
- **le glissement pleural** : il est caractérisé par un scintillement de la ligne pleurale en mode B. Cependant, il est mis en évidence de façon caractéristique par le signe du bord de mer (ou signe du rivage) en mode M : les tissus au-dessus de la plèvre sont immobiles et génèrent des lignes horizontales. Les structures sous-pleurales sont en mouvement et génèrent un aspect sablé.

Ces signes indiquent que le poumon est correctement aéré dans l'espace intercostal exploré.

SÉMIOLOGIE DES TROUBLES DE L'AÉRATION PULMONAIRE

Lorsque l'on évoque les troubles de l'aération pulmonaire, il est question des pathologies impliquant le tissu interstitiel et les alvéoles : syndrome alvéolo-interstitiel et consolidation pulmonaire, comme les pneumopathies ou atélectasies.

La quasi-totalité des pathologies aiguës du parenchyme pulmonaire (98,5 %) sont en contact avec la plèvre et rendent l'anomalie visible à l'échographie [11].

Syndrome alvéolo-interstitiel [10,12]

La présence de lignes B indique l'existence d'un syndrome alvéolo-interstitiel. Les lignes B sont des artéfacts verticaux hyperéchoïques, naissant de la ligne pleurale (initialement décrit en « queue de comète »), effaçant les lignes A et allant jusqu'en bas de l'écran sans s'épuiser (Fig. 4). Elles sont dynamiques et suivent le glissement pleural (*matériel complémentaire, voir vidéo S2 en ligne*). Elles sont liées à la présence d'air et d'eau mêlée, générant une différence d'impédance acoustique élevée [6].

La présence d'au moins trois lignes B en vue longitudinale dans un espace intercostal est nécessaire pour affirmer l'existence d'un syndrome interstitiel dans une région thoracique. La présence de 3-4 lignes, espacées d'environ 7 ± 1 mm, indique un épaississement des septa interlobulaires, soit une atteinte interstitielle. Lorsqu'elles deviennent deux fois plus nombreuses elles indiquent une atteinte alvéolaire (images en verre dépoli au scanner) (*matériel complémentaire, voir vidéo S3 en ligne*) [12].

L'examen échographique s'effectue généralement dans les régions antérieures et latérales, soit huit zones à explorer.

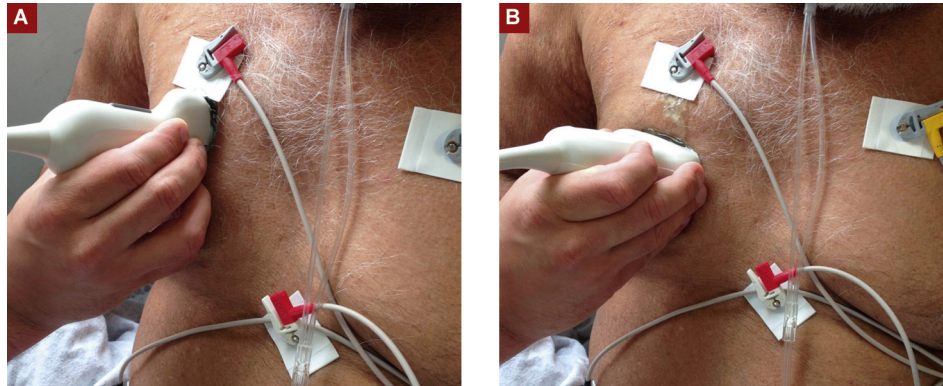


Figure 2. Abords longitudinal et transversal de la sonde en échographie pulmonaire. A. Abord longitudinale : la sonde est orientée selon un axe cranio-caudal. Sur l'écran, le haut est à gauche de l'image. B. Abord transversal : la sonde est placée selon un axe transversal. À l'écran, la droite du patient est à gauche de l'image.

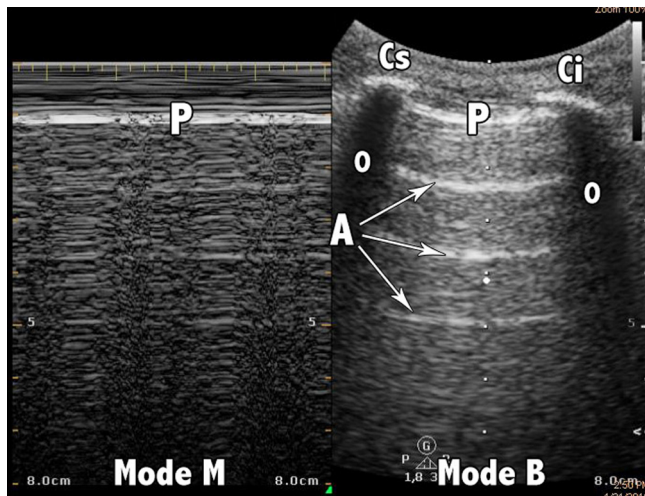


Figure 3. L'image échographique du poumon normal. P : ligne pleurale ; A : lignes A ; Ci : côte inférieure ; Cs : côte supérieure ; O : ombre costale. **Signe du bord de mer (mode TM)** : les tissus superficiels sont immobiles et génèrent des lignes horizontales (mer). La ligne pleurale (P) et les images sous-pleurales sont animées et génèrent cet aspect sablé. **Le signe de la chauve-souris (mode B)** : les côtes supérieure (Cs) et inférieure (Ci) et la ligne pleurale dans un espace intercostal forment la silhouette d'une chauve-souris. **Les lignes A (mode B)** : artéfacts horizontaux hyperéchogènes (A) de répétition de la ligne pleurale. Ils indiquent la présence d'air.

Selon le profil du syndrome interstitiel échographique rencontré, différents processus pathologiques peuvent être évoqués [10] :

- ligne B multiples et localisées : pneumopathie, atélectasie, contusion pulmonaire, pathologie pleurale ;
- lignes B multiples, diffuses et homogènes : œdème pulmonaire, fibrose pulmonaire ;

- lignes B multiples, diffuses et hétérogènes : syndrome de détresse respiratoire aigu.

Consolidations pulmonaires [10]

Elles peuvent avoir différentes origines, telles que la pneumopathie, l'embolie pulmonaire, le cancer et les métastases pulmonaires, l'atélectasie compressive ou obstructive ou encore la contusion pulmonaire. Grâce à l'échographie il est possible de différencier ces différentes étiologies...

La consolidation pulmonaire est une structure sous-pleurale hypoéchogène ou d'aspect tissulaire (rappelant celui du foie) (Fig. 5) (*matériel complémentaire, voir vidéo S4 en ligne*) [10]. La différenciation du type de consolidation se base sur l'analyse des critères suivants :

- qualité de la limite profonde de la consolidation ;
- présence de lignes B à la limite profonde ;
- présence d'un bronchogramme aérien ;
- présence d'un bronchogramme liquidien ;
- pattern vasculaire au sein de la consolidation.

Profil de pneumonie

L'image échographique de la pneumopathie est caractérisée par (Fig. 5a) (*matériel complémentaire, voir vidéo S4 en ligne*) :

- une limite profonde irrégulière ou régulière si un lobe complet est atteint [11] ;
- un bronchogramme aérien dynamique et/ou statique [13] ;
- un bronchogramme liquidien (voie aérienne remplie de sécrétions) peut être également présent ;
- la présence possible de lignes B entourant la limite profonde de la consolidation (syndrome interstitiel lié à l'inflammation périlésionnelle) [14,17] ;
- une ligne pleurale hypoéchogène à proximité de la lésion et un glissement pleural réduit ou aboli [18] ;
- la présence d'un pattern vasculaire [15].

Profil d'atélectasie

Il existe trois grands types d'atélectasie : d'absorption (ex. : obstruction bronchique), de compression (ex. : épanchement pleural) et de dysfonction du surfactant [19,20]. Les deux premières intéressent particulièrement le kinésithérapeute.

Tableau I. Approche échographique de la nature de l'épanchement pleural [53].

Aspect échographique	Transsudatif [54]	Exsudatif		
		Général	Hémorragique	Empyème
Anéchogène	X	X		
Complexe, non cloisonné	X	X		X
Complexe, cloisonné		X		X
Échogène homogène		X	X	X

Anéchogène : absence de densité échogène dans l'épanchement ; **Complexe, non cloisonné** : présence de matériels échogènes, hétérogènes, au sein de l'épanchement anéchogène, sans signes de filaments de fibrine ou de septa au sein de l'épanchement ; **Complexe, cloisonné** : présence de filaments (lignes hyperéchogène au sein de l'épanchement) flottant dans l'épanchement ou bande continue ou ramification ; **Échogène homogène** : présence d'une densité de points échogène, uniformément distribué dans l'épanchement.

PLD > 5 cm indique un épanchement pleural > 500 mL [24]. Une équation simplifiée permet d'estimer le volume de l'épanchement pleural en pratique clinique en fonction de la PLD : $V \text{ (mL)} = 20 \times \text{PLD (mm)}$ avec une erreur de prédiction moyenne de $158,4 \pm 160,6 \text{ mL}$.

Adhérences pleurales

Les adhérences pleurales se caractérisent par l'absence de glissement pleural localisé [27]. La présence ou l'absence du glissement pleural est facilement évaluable en mode B au niveau des bases (glissement plus important). Aux apex ou chez des patients BPCO, le glissement pleural est plus faible et le mode TM est plus adapté pour l'observer [27].

APPLICATION DE L'ÉCHOGRAPHIE PULMONAIRE AU SEIN DU PROCESSUS DE DÉCISION CLINIQUE EN KINÉSITHÉRAPIE RESPIRATOIRE

La formulation d'une hypothèse clinique est le résultat d'un processus décisionnel complexe qui implique le choix d'outils

d'évaluation, l'analyse de leurs résultats de façon isolée et enfin leur mise en relation afin d'en dégager une ou plusieurs hypothèses possibles.

Ainsi, le kinésithérapeute est souvent amené à utiliser l'imagerie lors de son processus de décision clinique. Cependant, même si le scanner thoracique est un outil précis, il nécessite le transport du patient, l'expose aux radiations et est moins accessible. La radiographie du thorax, quant à elle, manque de précision dans l'évaluation des déficiences intéressant le kinésithérapeute.

Concernant l'épanchement pleural, les précisions de l'auscultation et de la radiographie thoracique sont respectivement de 61 % et 47 %, contre 93 % pour l'échographie pulmonaire [4]. De même, elle est respectivement de 36 % et 75 % dans le diagnostic de consolidation alvéolaire pour l'auscultation et la radiographie, contre 97 % pour l'échographie [4]. Enfin, dans le syndrome alvéolo-interstitiel, la précision de l'échographie est de 95 %, contre 55 % et 72 % respectivement pour l'auscultation et la radiographie [4]. Par conséquent, l'échographie se révèle être un outil plus précis que ceux habituellement utilisés par le kinésithérapeute dans l'évaluation de la plèvre et du parenchyme pulmonaire (Tableau II). Elle présente également

Tableau II. Performance diagnostique de l'échographie pulmonaire.

Pathologies	Comparaison	Se	Sp
Syndrome alvéolo-interstitiel [12]	CT	93 %	93 %
Consolidation alvéolaire [11]	CT	90 %	98 %
<i>Atélectasie</i>			
Partielle [21]	IRM	88 %	89 %
Complète [55]	RX	93 %	100 %
Pneumopathie [14]	RX/CT	93 %	98 %
<i>Épanchement pleural</i>			
Présence [6]	CT	93 %	97 %
Minime (Doppler couleur) [56]	CT	97 %	100 %
Cloisonnement [57]	CT	LUS apporte les mêmes informations que le CT	
Adhérences pleurales [27]	Thoracoscopie	81 %	96 %
Pneumothorax [58]	CT	80 %	98 %

Se : sensibilité ; Sp : spécificité ; LUS : échographie pulmonaire ; CT : scanner thoracique ; RX : radiographie thoracique.

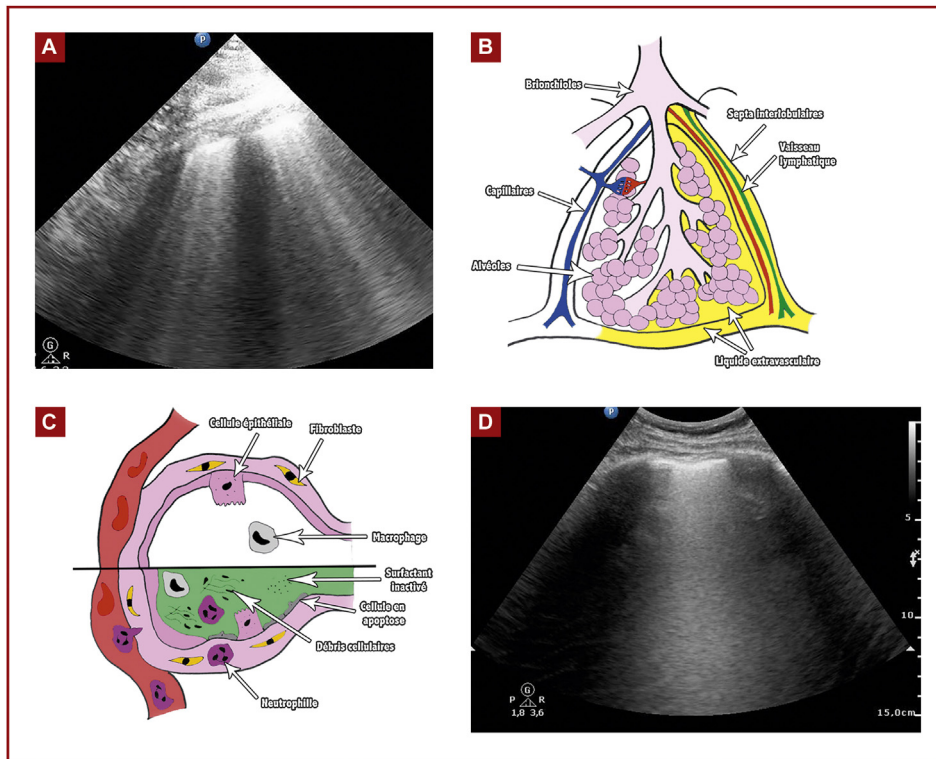


Figure 6. Le syndrome alvéolo-interstitiel et sa corrélation échographique. A. Présence de lignes B multiples, bien définies et espacées : elles indiquent la présence d'un syndrome interstitiel. B. Le syndrome interstitiel est défini par un épaississement des septa interlobulaires. C. Présence de lignes B confluentes : elles ne sont plus dissociables, formant une image en « rideau ». Cela indique la présence d'un syndrome alvéolo-interstitiel. D. Le syndrome alvéolo-interstitiel est défini, d'une part, par un épaississement des septa interlobulaires, et d'autre part, par un comblement partiel des alvéoles par du liquide ou des substances étrangères.

l'avantage d'offrir une évaluation dynamique, réalisable par le kinésithérapeute. L'échographie pulmonaire présente donc une excellente précision diagnostique.

Utilisation des lignes B en kinésithérapie respiratoire

Les septa interlobulaires œdématisés au contact des alvéoles remplies d'air génèrent des lignes B multiples et bien définies. Il s'agit du syndrome interstitiel. Ces dernières deviennent coalescentes lorsqu'il y a un comblement alvéolaire partiel : on parle alors de syndrome alvéolo-interstitiel [6] (Fig. 6).
En présence de lignes B multiples, homogènes et diffuses (œdème pulmonaire), le kinésithérapeute peut mettre en place une ventilation non invasive et positionner le patient (assis) [28], parallèlement au traitement médical. L'échographie permet de comprendre les mécanismes physiopathologiques de l'œdème pulmonaire : le poumon perd en compliance et la charge de travail respiratoire est augmentée : des techniques inspiratoires actives visant à améliorer la ventilation globale sont alors contre-indiquées et inefficaces. Une diminution du nombre de lignes B est un marqueur d'efficacité du traitement [29].

Devant la présence de lignes B focales, la démarche est différente. Il s'agit d'un phénomène local dont l'étiologie peut être une pneumopathie, une atelectasie, une contusion pulmonaire, etc.

S'il s'agit de lignes B multiples et bien définies, l'atteinte est interstitielle. Il n'y a pas actuellement de prise en charge en kinésithérapie recommandée pour ce type d'atteinte. Il faut juste surveiller la progression du trouble. Selon l'examen clinique, le kinésithérapeute s'attache à assurer la liberté des voies aériennes proximales s'il y a un encombrement bronchique.

En présence de lignes B coalescentes, il y a un comblement partiel alvéolaire : le choix du traitement s'oriente alors vers les techniques améliorant de façon localisée la ventilation alvéolaire. Les techniques de ventilation en pression positive, le positionnement et la mobilisation semblent les plus adaptés [1,2,7]. L'aérosolthérapie de bêta-agonistes, qui améliore la clairance alvéolaire, pourrait être indiquée dans le traitement de cette atteinte alvéolaire [30]. L'objectif étant de prévenir la consolidation alvéolaire.

Consolidation pulmonaire échographique en kinésithérapie respiratoire

La stratégie thérapeutique du kinésithérapeute dépend de la nature de la consolidation pulmonaire évaluée à l'échographie. **La consolidation d'origine pneumonique** est la complication du syndrome alvéolo-interstitiel lié à une pneumopathie. Les alvéoles sont le siège d'un comblement liquidien et cellulaire [31]. La recherche des bronchogrammes aériques est importante puisque la présence d'un bronchogramme aérique dynamique élimine l'atelectasie [22]. Le bronchogramme

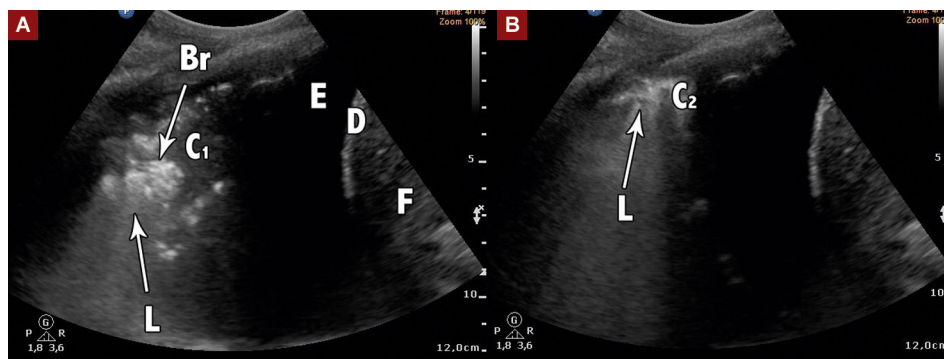


Figure 7. Recrutement d'une pneumopathie par pression positive continue (PPC). C1 : consolidation avant PPC ; C2 : consolidation pendant PPC ; L : limite profonde de la consolidation ; Br : bronchogramme aérique ; E : épanchement pleural ; D : diaphragme ; F : foie. A. La consolidation pulmonaire (C1) est de type pneumonique (bronchogramme aérique dynamique [Br] [l'aspect dynamique est non visible sur l'image], limite profonde d'allure déchirée [L]). B. Le kinésithérapeute a mis en place une ventilation en pression positive continue (PPC) chez le patient. On observe une réduction de la taille de la consolidation (C2), remplacée par des artéfacts liés à la présence d'air (cône d'ombre impur au niveau de la limite profonde [L]).

aérique dynamique signifie l'absence de nature rétractile de la consolidation et donc d'obstruction des bronches [22]. En dehors de la mise en évidence clinique d'un encombrement bronchique, les techniques d'augmentation du débit expiratoire ne sont pas indiquées [1]. Une récente revue Cochrane soulignait d'ailleurs l'inefficacité des techniques de drainage bronchique dans la prise en charge de la pneumopathie : l'utilisation d'une pression expiratoire positive (PEP) semblait cependant apporter un bénéfice aux patients en diminuant la durée de la fièvre et de l'hospitalisation [32]. Les techniques de ventilation en pression positive (Ventilation Non Invasive [VNI], Pression Positive Continue [PPC]), la mobilisation et le positionnement peuvent améliorer le recrutement alvéolaire, et pourraient donc être également indiquées. Enfin, la présence d'un bronchogramme aérique dynamique en ventilation spontanée, signe de flux d'air inspiratoire au sein de la consolidation pourrait indiquer l'utilisation de techniques inspiratoires actives.

L'échographie aide le kinésithérapeute à suivre l'évolution de la consolidation, et donc à évaluer l'efficacité ou non du traitement [33] : diminution de la surface de la lésion, diminution du bronchogramme aérique, apparition de lignes B [15,16] (Fig. 7). La présence d'un bronchogramme liquidien, sert également d'élément d'évaluation de l'efficacité d'une technique de ventilation en évoluant vers un bronchogramme aérique.

Devant la présence d'une atelectasie, il est important d'un point de vue thérapeutique, de distinguer un processus obstructif d'un processus passif. La présence d'un épanchement pleural important à l'échographie en regard d'une base pulmonaire atelectasiée, une modification de l'aération pulmonaire à la mobilisation ou durant l'inspiration soulignent la présence d'une atelectasie liée à un phénomène compressif. Le choix de traitement s'oriente alors vers un positionnement et une mobilisation, associés ou non à un traitement médical [34,35]. Si l'atelectasie est d'origine obstructive (absence de facteur compressif et présence d'un encombrement bronchique), la réalisation de manœuvre d'hyperinflation chez le patient intubé ou la mise en place d'une VNI chez le patient en ventilation spontanée, associée à un positionnement en latérocubitus est alors indiquée [1]. La levée d'atelectasie est évaluable devant la diminution ou la disparition de l'aspect tissulaire de la

consolidation, l'apparition de lignes B ou l'apparition d'un profil normal [36,37].

L'évolution des signes échographiques, reflets des mécanismes physiopathologiques des atteintes alvéolo-interstitielles [16,38], permet de suivre cette amélioration de la ventilation [39].

La ré-aération pulmonaire évaluée à l'échographie est fortement corrélée à celle évaluée au scanner thoracique [33], et peut également être utilisée dans les manœuvres de recrutement alvéolaire [40]. Ainsi, toute technique de kinésithérapie respiratoire visant à améliorer la ventilation alvéolaire peut être évaluée en échographie pulmonaire.

Échographie pleurale et kinésithérapie

Les conséquences respiratoires d'un épanchement pleural indiquant la kinésithérapie respiratoire ne sont pas claires. La diminution de la ventilation (effet *shunt*), de la perfusion (épanchement volumineux) [41], la formation de cloisons fibreuses (complication d'un empyème) et la persistance à distance de l'épisode aigu d'adhérences pleurales [42], sont les conséquences possibles d'un épanchement pleural susceptibles d'indiquer la kinésithérapie respiratoire.

Il existe très peu de littérature évaluant l'efficacité de la kinésithérapie respiratoire chez les patients souffrant d'épanchement pleural, et aucune étude ne précise son indication selon la nature de l'épanchement. Un traitement par pression positive continue (PPC) pourrait favoriser la résorption liquidienne [43] ; la pratique d'activité physique et d'exercices respiratoires pourrait améliorer les valeurs spirométriques et la durée d'hospitalisation [44]. L'échographie peut se révéler un excellent outil d'évaluation de la plèvre par le kinésithérapeute par : localisation de l'épanchement, estimation du volume, appréciation de la qualité du liquide pleural, présence de cloisons fibreuses, adhérences pleurales, consolidation pulmonaire en regard de l'épanchement et mobilité du diaphragme.

En présence d'un épanchement pleural, le kinésithérapeute doit d'abord réorienter le patient vers le médecin. Ce dernier évalue le besoin d'un drainage thoracique [35]. Ensuite, selon le contexte clinique, le kinésithérapeute met en place un support diminuant le travail respiratoire (ex. : VNI). En présence

d'une consolidation pulmonaire associée (conséquence de l'épanchement en regard), le kinésithérapeute peut aussi appliquer des techniques de ventilation en pression positive ou de positionnement.

Le kinésithérapeute peut également détecter une dyskinésie diaphragmatique induite par l'épanchement pleural [41] et suivre la récupération de la fonction diaphragmatique.

Concernant la nature de l'épanchement, si l'aspect échographique du liquide intrapleurale est anéchogène et documenté par le médecin d'origine transsudative, la suite du traitement est médicale [35]. Devant un aspect complexe cloisonné ou échogène homogène il paraît raisonnable de ne pas indiquer la kinésithérapie en parallèle d'un traitement médical ou chirurgical [35].

Échographie pulmonaire et sevrage de la ventilation mécanique

Le kinésithérapeute est largement impliqué dans le sevrage de la ventilation mécanique, au sein d'une équipe multidisciplinaire constitué par un médecin et une infirmière. Il participe à l'optimisation du support ventilatoire et à l'évaluation des possibilités d'extubation du patient [45].

L'utilisation de l'échographie pulmonaire par le kinésithérapeute lui offre de nouveaux indicateurs prédictifs du succès ou de l'échec d'extubation, complémentaires à l'examen clinique.

L'exploration des 12 régions thoraciques permet une évaluation globale de l'aération pulmonaire. Quatre niveaux d'aération sont définis [46] :

- aération normale (N) : présence du glissement pleurale et des lignes A, et moins de deux lignes B isolées ;
- perte modérée d'aération (B1) : présence de lignes B multiples et bien définies (au moins 3) ;
- perte sévère d'aération (B2) : présence de lignes B coalescentes ;
- consolidation pulmonaire (C).

Un score global peut être calculé : $N = 0$, $B1 = 1$, $B2 = 2$, $C = 3$ avec un score total de 36 [46]. Le calcul de ce score durant une épreuve de ventilation spontanée (*spontaneous breathing test* [SBT]) permet d'estimer le risque d'échec d'extubation : un score > 17 pendant le SBT est prédictif d'échec, tandis qu'un score < 13 est prédictif de succès de l'extubation [46].

L'évaluation échographique de l'aération pulmonaire permet d'identifier certaines zones particulièrement impliquées dans le dé-recrutement pulmonaire et qui contribuent de façon prédominante à l'incapacité du patient à maintenir une ventilation spontanée [47]. Par exemple, le kinésithérapeute peut identifier une atélectasie obstructive avant un SBT, qu'il traitera par kinésithérapie respiratoire.

L'amélioration du recrutement alvéolaire peut être évaluée par échographie [33,40], avec des résultats similaires à ceux du scanner thoracique [33].

DISCUSSION

L'intégration de l'échographie pulmonaire dans le processus de décision clinique du kinésithérapeute offre de nouvelles perspectives en améliorant la précision du diagnostic de déficiences pulmonaires, en permettant un monitoring en temps réel du traitement par kinésithérapie respiratoire, et en évaluant son efficacité [9].

Le manque de précision des outils diagnostics habituellement utilisés par le kinésithérapeute (ex. : auscultation, radiographie thoracique) entraînerait des actes inutiles ou inadaptés [8]. En effet, la précision limitée de ces outils, c'est-à-dire leurs faibles sensibilité et spécificité dans la détection de processus pathologiques intéressant le kinésithérapeute, amènent le kinésithérapeute à traiter des déficiences qui n'existent pas (mauvaise spécificité) ou à ne pas traiter lorsqu'il le faudrait (mauvaise sensibilité).

De plus, le choix des modalités du traitement pourrait ne pas être judicieux. Par exemple, chercher à améliorer la ventilation alvéolaire par des techniques inspiratoires actives ou assistées devant une abolition du murmure vésiculaire, associée à une matité et une hypomobilité thoracique basale pourrait être non adapté, voire contre-indiqué, si ces observations cliniques sont liées à un épanchement pleural radio-occulte [48].

L'échographie pulmonaire, en tant qu'examen complémentaire, doit répondre à une hypothèse clinique préalablement formulée suite à l'examen clinique. L'examen clinique constitue toujours la première étape de l'évaluation du patient par le kinésithérapeute et permet de mettre en évidence une ou plusieurs déficiences, qui nécessitent d'être confirmées par un autre examen précis et adapté [8,9] : l'échographie pulmonaire est utile au kinésithérapeute si elle est utilisée dans son champ d'application.

En effet, l'échographie pulmonaire systématique est à éviter : la probabilité d'obtenir des signes pathologiques chez des patients porteurs d'une pathologie respiratoire chronique ou hospitalisé en réanimation est élevée et pourrait conduire le kinésithérapeute à traiter des signes échographiques cliniquement non pertinents [49].

L'échographie pulmonaire présente peu de limite dès qu'elle est appliquée à l'évaluation de pathologies dans son champ d'application : seules des atteintes pulmonaires centrales, rares, ne sont pas accessibles à l'échographie. Les pansements thoraciques ou abdominaux, l'emphysème sous-cutané ou encore des tirages musculaires mobilisant le plan cutané peuvent gêner l'analyse échographique. La présence de sondes, les réglages inadaptés et le non-respect des principes d'examen peuvent être des limites [6]. La difficulté de certains diagnostics médicaux (ex. : syndrome interstitiel chronique ou aiguë) ne se pose pas dans le cadre d'une utilisation par le kinésithérapeute : ce dernier s'attache au diagnostic et au traitement de déficiences, et non à la définition d'une maladie [1].

L'utilisation de l'échographie pulmonaire par le kinésithérapeute nécessite l'acquisition de solides connaissances en anatomie et en physiopathologie pulmonaires. Avant l'application de l'échographie dans l'arbre décisionnel en kinésithérapie respiratoire, une formation et un entraînement rigoureux sont également un prérequis [8,9,50]. La précision élevée de l'échographie pulmonaire dans de nombreuses conditions pathologiques repose en effet sur le respect de standards de pratique qui doivent être maîtrisés.

L'utilisation de la sémiologie en échographie pulmonaire dans le guidage du choix du traitement en kinésithérapie présente un potentiel très intéressant et oriente le kinésithérapeute vers le traitement du tissu alvéolo-interstitiel : troubles de la ventilation liés à la déclive, pneumopathie, atélectasie. Il s'agit du poumon profond, tel que l'a décrit Postiaux [51] et indique au kinésithérapeute des techniques de recrutement alvéolaire ou de re-ventilation en fonction du type d'atteintes pulmonaires. L'utilisation de l'échographie pulmonaire s'effectue principalement en médecine d'urgence et réanimation. Son application

en kinésithérapie peut très bien s'étendre à l'ensemble des services hospitaliers nécessitant de la kinésithérapie respiratoire, et également en kinésithérapie de ville où l'accès à l'imagerie est d'autant plus difficile. Son application pourrait également s'étendre à l'évaluation des voies aériennes supérieures, notamment dans la prise en charge des troubles de la déglutition, du larynx, etc. [52].

L'utilisation de l'échographie pulmonaire comme critère d'évaluation en recherche clinique en kinésithérapie respiratoire semble également être une piste d'avenir dans l'évaluation de la pertinence des techniques selon le contexte clinique. Le champ de la formation, basée sur des standards internationaux, et le champ de l'évaluation de l'intérêt de l'utilisation de l'échographie pulmonaire en kinésithérapie respiratoire seront les enjeux de demain.

CONCLUSION

L'échographie pulmonaire est un outil précis, sensible et reproductible dans l'évaluation de la majorité des pathologies de la plèvre et des troubles de l'aération pulmonaire.

Son utilisation en kinésithérapie respiratoire par un kinésithérapeute formé et entraîné ouvre de nouvelles perspectives dans la précision de l'indication à la kinésithérapie respiratoire et à l'évaluation de son efficacité.

Elle constitue un outil de choix à intégrer dans l'examen du patient, à l'instar de l'auscultation.

Points à retenir

- Le kinésithérapeute manque d'outils diagnostics précis et reproductibles.
- L'échographie présente une excellente précision dans l'évaluation des troubles de l'aération pulmonaire et de la plèvre.
- L'échographie pulmonaire est un outil dynamique permettant d'évaluer l'efficacité du traitement par kinésithérapie respiratoire en temps réel.
- L'échographie pulmonaire peut guider le choix des modalités du traitement en kinésithérapie respiratoire.
- Le respect des standards de pratique conditionne la précision et la reproductibilité de l'échographie pulmonaire : une formation basée sur les référentiels internationaux est indispensable.

Déclaration de liens d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts.

ANNEXE A. MATÉRIEL COMPLÉMENTAIRE

Le matériel complémentaire (Vidéos S1–S6) accompagnant la version en ligne de cet article est disponible sur <http://www.sciencedirect.com> et <http://dx.doi.org/10.1016/j.kine.2016.11.008>.

RÉFÉRENCES

- [1] Gosselink R, Bott J, Johnson M, Dean E, Nava S, Norrenberg M, et al. Physiotherapy for adult patients with critical illness: recommendations of the European Respiratory Society and European Society of Intensive Care Medicine Task Force on Physiotherapy for Critically Ill Patients. *Intensive Care Med* 2008;34:1188–99.
- [2] Strickland SL, Rubin BK, Drescher GS, Haas CF, O'Malley CA, Volsko TA, et al. AARC clinical practice guideline: effectiveness of nonpharmacologic airway clearance therapies in hospitalized patients. *Respir Care* 2013;58:2187–93.
- [3] Marques A, Bruton A, Barney A. Clinically useful outcome measures for physiotherapy airway clearance techniques: a review. *Phys Ther Rev* 2006;11:299–307.
- [4] Lichtenstein D, Goldstein I, Mourgeon E, Cluzel P, Grenier P, Rouby J-J. Comparative diagnostic performances of auscultation, chest radiography, and lung ultrasonography in acute respiratory distress syndrome. *Anesthesiology* 2004;100:9–15.
- [5] Bouhemad B, Zhang M, Lu Q, Rouby J-J. Clinical review: bedside lung ultrasound in critical care practice. *Crit Care* 2007;11:205.
- [6] Lichtenstein DA. Lung ultrasound in the critically ill. *Ann Intensive Care* 2014;4:1.
- [7] Bott J, Blumenthal S, Buxton M, Ellum S, Falconer C, Garrod R, et al. Guidelines for the physiotherapy management of the adult, medical, spontaneously breathing patient. *Thorax* 2009;64(Suppl. 1):1–52.
- [8] Leech M, Bissett B, Kot M, Ntoumenopoulos G. Lung ultrasound for critical care physiotherapists: a narrative review. *Physiother Res Int* 2015;20:69–76.
- [9] Le Neindre A, Mongodi S, Philippart F, Bouhemad B. Thoracic ultrasound: potential new tool for physiotherapists in respiratory management. A narrative review. *J Crit Care* 2016;31:101–9.
- [10] Volpicelli G, Elbarbary M, Blaivas M, Lichtenstein DA, Mathis G, Kirkpatrick AW, et al. International evidence-based recommendations for point-of-care lung ultrasound. *Intensive Care Med* 2012;38:577–91.
- [11] Lichtenstein DA, Lascols N, Mezière G, Gepner A. Ultrasound diagnosis of alveolar consolidation in the critically ill. *Intensive Care Med* 2004;30:276–81.
- [12] Lichtenstein D, Mézière G, Biderman P, Gepner A, Barré O. The Comet-tail Artifact. *Am J Respir Crit Care Med* 1997;156:1640–6.
- [13] Cortellaro F, Colombo S, Coen D, Duca PG. Lung ultrasound is an accurate diagnostic tool for the diagnosis of pneumonia in the emergency department. *Emerg Med J* 2012;29:19–23.
- [14] Reissig A, Copetti R, Mathis G, Mempel C, Schuler A, Zechner P, et al. Lung ultrasound in the diagnosis and follow-up of community-acquired pneumonia: a prospective, multicenter, diagnostic accuracy study. *Chest* 2012;142:965–72.
- [15] Reissig A, Gramegna A, Aliberti S. The role of lung ultrasound in the diagnosis and follow-up of community-acquired pneumonia. *Eur J Intern Med* 2012;23:391–7.
- [16] Gehmacher O. Ultrasound pictures of pneumonia. *Eur J Ultrasound* 1996;3:161–7.
- [17] Bourcier JE, Paquet J, Seinger M, Gallard E, Redonnet JP, Cheddadi F, et al. Performance comparison of lung ultrasound and chest x-ray for the diagnosis of pneumonia in the ED. *Am J Emerg Med* 2014;32:115–8.
- [18] Parlamento S, Copetti R, Di Bartolomeo S. Evaluation of lung ultrasound for the diagnosis of pneumonia in the ED. *Am J Emerg Med* 2009;27:379–84.

- [19] Guerin C, Baboi L, Richard JC. Mechanisms of the effects of prone positioning in acute respiratory distress syndrome. *Intensive Care Med* 2014;40:1634–42.
- [20] Hedenstierna G, Edmark L. Mechanisms of atelectasis in the perioperative period. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol* 2010;24:157–69.
- [21] Acosta CM, Maidana GA, Jacovitti D, Belaunzarán A, Cereceda S, Rae E, et al. Accuracy of transthoracic lung ultrasound for diagnosing anesthesia-induced atelectasis in children. *Anesthesiology* 2014;120:1370–9.
- [22] Lichtenstein D, Mezière G, Seitz J. The dynamic air bronchogram: a lung ultrasound sign of alveolar consolidation ruling out atelectasis. *Chest* 2009;135:1421–5.
- [23] Dietrich CF, Mathis G, Cui X-W, Ignee A, Hocke M, Hirche TO. Ultrasound of the pleurae and lungs. *Ultrasound Med Biol* 2015;41:351–65.
- [24] Roch A, Bojan M, Michelet P, Romain F, Bregeon F, Papazian L, et al. Usefulness of ultrasonography in predicting pleural effusions > 500 mL in patients receiving mechanical ventilation. *Chest* 2005;127:224–32.
- [25] Vignon P, Chastagner C, Berkane V, Chardac E, François B, Normand S, et al. Quantitative assessment of pleural effusion in critically ill patients by means of ultrasonography. *Crit Care Med* 2005;33:1757–63.
- [26] Balik M, Plasil P, Waldauf P, Pazout J, Fric M, Otahal M, et al. Ultrasound estimation of volume of pleural fluid in mechanically ventilated patients. *Intensive Care Med* 2006;32:318–21.
- [27] Cassanelli N, Caroli G, Dolci G, Dell'Amore A, Luciano G, Bini A, et al. Accuracy of transthoracic ultrasound for the detection of pleural adhesions. *Eur J Cardiothorac Surg* 2012;42:813–8.
- [28] McMurray JJV, Adamopoulos S, Anker SD, Auricchio A, Böhm M, Dickstein K, et al. ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure 2012: The Task Force for the Diagnosis and Treatment of Acute and Chronic Heart Failure 2012 of the European Society of Cardiology. Developed in collaboration with the Heart Failure Association (HFA) of the ESC. *Eur Heart J* 2012;33:1787–847.
- [29] Liteplo AS, Murray AF, Kimberly HH, Noble VE. Real-time resolution of sonographic B-lines in a patient with pulmonary edema on continuous positive airway pressure. *Am J Emerg Med* 2010;28 [541.e5–541.e8].
- [30] Berthiaume Y, Matthay MA. Alveolar edema fluid clearance and acute lung injury. *Respir Physiol Neurobiol* 2007;159:350–9.
- [31] Alcón A, Fàbregas N, Torres A. Pathophysiology of pneumonia. *Clin Chest Med* 2005;26:39–46.
- [32] Yang M, Yan Y, Yin X, Wang BY, Wu T, Liu GJ, et al. Chest physiotherapy for pneumonia in adults. *Cochrane Database Syst Rev* 2013;2:CD006338.
- [33] Bouhemad B, Liu Z-H, Arbelot C, Zhang M, Ferarri F, Le-Guen M, et al. Ultrasound assessment of antibiotic-induced pulmonary reaeration in ventilator-associated pneumonia. *Crit Care Med* 2010;38:84–92.
- [34] Myatt R. Diagnosis and management of patients with pleural effusions. *Nurs Stand* 2014;28:51–8.
- [35] Hooper C, Lee YCG, Maskell N, BTS Pleural Guideline Group. Investigation of a unilateral pleural effusion in adults: British Thoracic Society Pleural Disease Guideline 2010. *Thorax* 2010;65(Suppl. 2):4–17.
- [36] Elia F, Verhovez A, Molino P, Ferrari G, Aprà F. Lung ultrasound in the reexpansion of pulmonary atelectasis. *Intern Emerg Med* 2011;6:461–3.
- [37] Cavaliere F, Biasucci D, Costa R, Soave M, Addabbo G, Proietti R. Chest ultrasounds to guide manual reexpansion of a postoperative pulmonary atelectasis: a case report. *Minerva Anesthesiol* 2011;77:750–3.
- [38] Reissig A, Kroegel C. Sonographic diagnosis and follow-up of pneumonia: a prospective study. *Respiration* 2007;74:537–47.
- [39] Via G, Lichtenstein D, Mojoli F, Rodi G, Neri L, Storti E, et al. Whole lung lavage: a unique model for ultrasound assessment of lung aeration changes. *Intensive Care Med* 2010;36:999–1007.
- [40] Bouhemad B, Brisson H, Le-Guen M, Arbelot C, Lu Q, Rouby J-J. Bedside ultrasound assessment of positive end-expiratory pressure-induced lung recruitment. *Am J Respir Crit Care Med* 2011;183:341–7.
- [41] Mitrouska I, Klimathianaki M, Siafakas NM. Effects of pleural effusion on respiratory function. *Can Respir J* 2004;11:499–503.
- [42] Girdhar A, Shujaat A, Bajwa A. Management of infectious processes of the pleural space: a review. *Pulm Med* 2012;2012:e816502.
- [43] Oliveira JF, Mello FCQ, Rodrigues RS, Boechat AL, Conde MB, Menezes SLS. Effect of continuous positive airway pressure on fluid absorption among patients with pleural effusion due to tuberculosis. *Rev Bras Fisioter São Carlos São Paulo Braz* 2010;14:127–32.
- [44] Valenza-Demet G, Valenza M, Cabrera-Martos I, Torres-Sánchez I, Revelles-Moyano F. The effects of a physiotherapy programme on patients with a pleural effusion: a randomized controlled trial. *Clin Rehabil* 2014;28:1087–95.
- [45] Freynet A, Gobaille G, Dewilde C, Truchi T, Sarreau P, Grandet P. Rôle du kinésithérapeute dans le succès de l'extubation : une revue de la littérature. *Reanimation* 2015;24:452–64.
- [46] Soummer A, Perbet S, Brisson H, Arbelot C, Constantin JM, Lu Q, et al. Ultrasound assessment of lung aeration loss during a successful weaning trial predicts postextubation distress. *Crit Care Med* 2012;40:2064–72.
- [47] Mayo P, Volpicelli G, Lerolle N, Schreiber A, Doelken P, Vieillard-Baron A. Ultrasonography evaluation during the weaning process: the heart, the diaphragm, the pleura and the lung. *Intensive Care Med* 2016;42:1107–17.
- [48] Leech M, Bissett B, Kot M, Ntoumenopoulos G. Physiotherapist-initiated lung ultrasound to improve intensive care management of a deteriorating patient and prevent intubation: a case report. *Physiother Theory Pract* 2015;31:372–6.
- [49] Xirouchaki N, Kondili E, Prinianakis G, Malliotakis P, Georgopoulos D. Impact of lung ultrasound on clinical decision-making in critically ill patients. *Intensive Care Med* 2014;40:57–65.
- [50] McKiernan S, Chiarelli P, Warren-Forward H. Diagnostic ultrasound use in physiotherapy, emergency medicine, and anaesthesiology. *Radiography* 2010;16:154–9.
- [51] Postiaux G. La kinésithérapie respiratoire du poumon profond. Bases mécaniques d'un nouveau paradigme. *Rev Mal Respir* 2014;31:552–67.
- [52] Teoh WH, Kristensen MS. Utility of ultrasound in airway management. *Trends Anaesth Crit Care* 2014;4:84–90.
- [53] Yang PC, Luh KT, Chang DB, Wu HD, Yu CJ, Kuo SH. Value of sonography in determining the nature of pleural effusion: analysis of 320 cases. *Am J Roentgenol* 1992;159:29–33.
- [54] Chen HJ, Tu CY, Ling SJ, Chen W, Chiu KL, Hsia TC, et al. Sonographic appearances in transudative pleural effusions: not always an anechoic pattern. *Ultrasound Med Biol* 2008;34:362–9.
- [55] Lichtenstein DA, Lascols N, Prin S, Mezière G. The "lung pulse": an early ultrasound sign of complete atelectasis. *Intensive Care Med* 2003;29:2187–92.
- [56] Kalokairinou-Motogna M, Maratou K, Paianid I, Soldatos T, Antipa E, Tsikkini A, et al. Application of color Doppler ultrasound in the study of small pleural effusion. *Med Ultrason* 2010;12:12–6.



[57] Kurian J, Levin TL, Han BK, Taragin BH, Weinstein S. Comparison of ultrasound and CT in the evaluation of pneumonia complicated by parapneumonic effusion in children. *Am J Roentgenol* 2009;193:1648–54.

[58] Alrajab S, Youssef AM, Akkus NI, Caldito G. Pleural ultrasonography versus chest radiography for the diagnosis of pneumothorax: review of the literature and meta-analysis. *Crit Care* 2013;17:R208.