

Université de Montréal

**L'utilisation de l'échographie pulmonaire dans la prise
en charge des patients de soins critiques**

par

Eric Piette

Faculté de Médecine

Programme de maîtrise en sciences biomédicales

Option recherche clinique

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures et postdoctorales
en vue de l'obtention du grade de Maître en science (M.Sc.) en sciences biomédicales
Option recherche clinique

avril 2012

© Eric Piette, 2012

Université de Montréal
Faculté des études supérieures et postdoctorales

Ce mémoire intitulé :

L'utilisation de l'échographie pulmonaire dans la prise en charge des patients de soins
critiques

Présenté par :

Eric Piette

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Alexandre Larocque, président-rapporteur

André Denault, directeur de recherche

Raoul Daoust, co-directeur

Antoine Delage, membre du jury

Résumé

En démontrant sa capacité d'identifier les pneumothorax, de différencier les différentes causes d'insuffisance respiratoire chez les patients dyspnéiques et de confirmer la position d'un tube endotrachéal lors d'une intubation endotrachéale, l'échographie pulmonaire a pris une place prépondérante dans la prise en charge des patients de soins critiques. La majorité des études, notamment celles sur l'intubation endotrachéale, ont évalué la performance de cliniciens possédant une expérience considérable en échographie pulmonaire et souvent dans un cadre idéal permettant des examens d'une durée prolongée. Considérant la disponibilité grandissante de l'échographie ciblée lors des situations de stabilisation et de réanimation des patients de soins critiques, nous voulions évaluer la capacité d'un groupe de clinicien hétérogène en termes de formation échographique à identifier la présence ou l'absence de glissement pleural sur de courtes séquences (comparable à la durée probable d'un examen lors de condition de réanimation) d'échographie pulmonaire enregistrées chez des patients intubés. Un total de 280 courtes séquences (entre 4 et 7 secondes) d'échographie pulmonaire démontrant la présence ou l'absence de glissement pleural chez des patients intubés en salle d'opération ont été enregistrées puis présentées de façon aléatoire à deux groupes de cliniciens en médecine d'urgence. Le deuxième groupe avait la possibilité de s'abstenir advenant une incertitude de leur réponse. Nous avons comparé la performance selon le niveau de formation académique et échographique. Le taux moyen d'identification adéquate de la présence ou l'absence du glissement pleural par participant était de 67,5% (IC 95% : 65,7-69,4) dans le premier groupe et 73,1% (IC 95% : 70,7-75,5) dans le second ($p < 0,001$). Le taux médian de réponse adéquate pour chacune des 280 séquences était de 74,0% (EIQ : 48,0-90,0) dans le premier groupe et 83,7% (EIQ : 53,3-96,2) dans le deuxième ($p = 0,006$). Le taux d'identification adéquate de la présence ou absence d'un glissement pleural par les participants des deux groupes était nettement supérieur pour les séquences de l'hémithorax droit par rapport à celles de l'hémithorax gauche ($p = 0,001$).

Lorsque des médecins de formation académique et échographique variable utilisent de courtes séquences d'échographie pulmonaire (plus représentatives de l'utilisation réelle en clinique), le taux d'identification adéquate de la présence ou l'absence de glissement pleural est plus élevé lorsque les participants ont la possibilité de s'abstenir en cas de doute quant à leur réponse. Le taux de bonnes réponses est également plus élevé pour les séquences de l'hémithorax droit, probablement dû à la présence sous-jacente du cœur à gauche, la plus petite taille du poumon gauche et l'effet accru du pouls pulmonaire dans l'hémithorax gauche. Considérant ces trouvailles, la prudence est de mise lors de l'utilisation de l'identification du glissement pleural sur de courtes séquences échographique comme méthode de vérification de la position d'un tube endotrachéal lors d'une intubation endotrachéale, et ce, particulièrement pour l'hémithorax gauche. Aussi, une attention particulière devrait être mise sur la reconnaissance du pouls pulmonaire lors de l'enseignement de l'échographie pulmonaire.

Mots-clés : échographie pulmonaire, glissement pleural, intubation endotrachéale, pouls pulmonaire

Abstract

The field of targeted lung ultrasound in critical care is in constant expansion. Its many proven uses include pneumothorax diagnosis, differentiation of the different causes of acute dyspnoea and endotracheal intubation confirmation. These studies on endotracheal intubation evaluated sonographers with extensive ultrasound training using sometimes lengthy exams. Hence, with the growing presence of bedside lung ultrasound we devised a study to evaluate the capacity of a heterogeneous group of physicians, with different levels of ultrasound training, to correctly identify lung sliding on random short sequences of recorded thoracic ultrasound. 280 short ultrasound sequences (4 to 7 seconds) of present and absent lung sliding of intubated patients recorded in the operating room were randomly presented to 2 groups of physicians. Descriptive data, mean accuracy of each participant, as well as the rate of correct answers for each of the sequences was measured and compared for different subgroups. Participants in the second group were instructed that they could abstain from answering in uncertain cases. Mean accuracy was 67.5% (95%CI: 65.7-69.4) in the first group and 73.1% (95%CI: 70.7-75.5) in the second ($p < 0.001$). When considering each sequence individually, median accuracy was 74.0% (IQR: 48.0-90.0) in the first group and 83.7% (IQR: 53.3-96.2) in the second ($p = 0.006$). The rate of correct answer was higher for right hemithorax sequences ($p = 0.001$). Accuracy in lung sliding identification is better when participants have the possibility to abstain themselves from answering in uncertain cases. It is also improved in the right hemithorax, probably owing to the presence of the heart and the lung pulse artefact in the left hemithorax. Considering our results, caution should be taken when using short ultrasound sequences for identifying lung sliding as a means of confirming endotracheal intubation, particularly in the left hemithorax. Emphasis should also be put on knowledge and identification of the *Lung pulse* artefact when teaching chest ultrasound curriculum.

Keywords : lung ultrasound, lung sliding, endotracheal intubation, lung pulse artefact

Table des matières

Liste des abréviations.....	vi
Liste des tableaux.....	viii
Liste des figures.....	ix
Dédicace.....	x
Remerciements.....	xi
1. Introduction.....	1
2. Utilisation de l'échographie pulmonaire en soins critiques	3
2.1 Principes physiques de base en échographie	3
2.2 Description de la technique d'échographie pulmonaire	6
2.3 Description des artefacts et éléments visualisés à l'échographie pulmonaire	8
2.4 L'échographie pulmonaire et le pneumothorax	18
2.4.1 Revue de la littérature sur l'utilisation de l'échographie pulmonaire dans le diagnostic du pneumothorax.....	19
2.4.2 Causes de faux positif de la présence d'un pneumothorax à l'échographie pulmonaire	33
2.4.3 L'utilisation de l'échographie pulmonaire pour évaluer la taille d'un pneumothorax	35
2.4.4 Durée et délai de l'échographie pulmonaire dans le diagnostic d'un pneumothorax	39
2.4.5 Protocole de diagnostic d'un pneumothorax à l'échographie pulmonaire	40
2.5 L'utilisation de l'échographie dans le diagnostic des pathologies du parenchyme pulmonaire.....	43
2.6 Protocole d'échographie dans le diagnostic des causes d'insuffisance respiratoire et dyspnée aigüe.....	45
2.7 Apprentissage de l'utilisation de l'échographie pulmonaire dans le diagnostic des pathologies pleurales et pulmonaires	49

2.8 Utilisation de l'échographie pulmonaire dans la confirmation de l'intubation endotrachéale	51
2.8.1 Méthodes traditionnelles de vérification de la position du tube endotrachéal	51
2.8.2 Utilisation de l'échographie pour vérifier la position du tube endotrachéal	56
Article principal	63
3. Discussion	88
4. Conclusion	98
Bibliographie	100
Annexe 1	106
Annexe 2	113

Liste des abréviations

ACEP : American College of Emergency Physicians

ACLS : Advanced Cardiac Life Support

ACMU : Association canadienne des médecins d'urgence

ASMUQ : Association des spécialistes en médecine d'urgence du Québec

BLUE : Bedside Lung Ultrasound in Emergency

c : Célérité

CO₂ : dioxyde de carbone

COPD : chronic obstructive pulmonary disease

ECMU : Échographie ciblée en médecine d'urgence

EFAST : Extended Focused Assessment with Sonography in Trauma

EIQ : Écart interquartile

f : Fréquence

FAST : Focused Assessment with Sonography in Trauma

FOCUS : Focused Cardiac Ultrasound Study

Hz : Hertz

H₂O : Eau

H₂CO₃ : Acide carbonique

IC 95% : Intervalle de confiance à 95%

MHz : Mégahertz

PLAPS : Posterolateral alveolar and/or pleural syndrome

RUSH : Rapid Ultrasound in Shock

SAMU : Service d'aide médicale urgente

SDRA : Syndrome de détresse respiratoire aigüe

TET : Tube endotrachéal

VPO : Vérificateur de position oesophagienne

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques des participants	106
Tableau 2 : Taux d'identification adéquate du glissement pleural des participants du groupe #1	107
Tableau 3 : Taux d'identification adéquate du glissement pleural des participants du groupe #2	108
Tableau 4 : Test de Kolmogorov-Smirnov à un échantillon sur le taux de bonnes réponses des participants du groupe #1	109
Tableau 5 : Test de Kolmogorov-Smirnov à un échantillon sur le taux de bonnes réponses des participants du groupe #2	109
Tableau 6 : Test de Kolmogorov-Smirnov à un échantillon sur le taux de bonne réponse pour chaque séquence échographique dans le groupe #1	110
Tableau 7 : Test de Kolmogorov-Smirnov à un échantillon sur le taux de bonne réponse pour chaque séquence échographique dans le groupe #2	110
Tableau 8 : Taux d'identification adéquate du glissement pleural pour chacune des séquences dans le groupe #1	111
Tableau 9 : Taux d'identification adéquate du glissement pleural pour chacune des séquences dans le groupe #2	112

Liste des figures

Figure 1 : La longueur d'onde	4
Figure 2 : Structures anatomiques fixes en échographie pulmonaire	6
Figure 3 : Ligne pleurale, cônes d'ombre acoustique et zone d'intérêt dans le champ échographique	7
Figure 4 : Lignes A	9
Figure 5 : Poumon normal avec présence d'une ligne B	10
Figure 6 : Genèse des lignes B	11
Figure 7 : Multiples lignes B dans un poumon affecté par de l'œdème pulmonaire	12
Figure 8 : Lignes Z	13
Figure 9 : Lignes E	14
Figure 10 : Pouls pulmonaire mis en évidence par le Mode M	16
Figure 11 : Pouls pulmonaire mis en évidence par le Mode M et le Doppler couleur	17
Figure 12 : Point de transition pulmonaire	23
Figure 13 : Aspect normal au Mode M d'un poumon avec signe de la plage	25
Figure 14 : Aspect au Mode M d'un pneumothorax avec présence du signe de la stratosphère	26
Figure 15 : Transition du signe de la stratosphère vers le signe de la plage mettant en évidence le point de transition pulmonaire au M-Mode	26
Figure 16 : Zone du « Ultrasonographic Deep Sulcus Sign ».....	29
Figure 17 : Protocole rapide de diagnostic d'un pneumothorax	42
Figure 18 : Le « Blue Protocol ».....	47
Figure 19 : Artéfact du signe de la comète à départ d'un TET	60

*Ce mémoire de maîtrise est
dédié à ma poule, ma
chérie, mon amour, ma
meilleure amie, Vanessa.*

Remerciements

La complétion de ce mémoire de maîtrise n'aurait pu être possible sans le support de plusieurs personnes et groupes de personnes. Je voudrais remercier tout d'abord les patients qui ont participé à mon étude, sans qui rien de tout ceci n'aurait été possible. Je remercie aussi l'équipe en entier du bloc opératoire de l'Institut de Cardiologie de Montréal. Vous m'avez accueilli sans rouspéter, bien que j'aie été dans vos pattes durant de longues heures.

Je remercie Raoul, mon co-directeur de maîtrise, pour son acharnement à faire de moi un meilleur clinicien tout au long de ma formation académique, tant durant ma maîtrise que durant les années de ma spécialité en médecine d'urgence. Tes connaissances sans borne et ton souci du détail sont un modèle duquel j'ai tenté de m'inspirer au travers de ce travail.

Je remercie André, mon directeur de maîtrise, pour sa disponibilité et le phare qu'il a été au travers des dernières années. Tu as été d'un soutien inespéré tout au long de cette longue route. Sans toi, bien des fois ma motivation aurait fait défaut et je ne suis pas certain que je serais parvenu au fil d'arrivée.

Je veux aussi remercier mes amis et collègues résidents du programme de médecine d'urgence spécialisée de l'Université de Montréal, tant ceux qui m'ont soutenu ou tenté de me dissuader d'embarquer dans ce périple. Vous êtes un groupe inspirant et je me trouve chanceux d'avoir été parmi vous. Votre amitié est un bijou précieux que je compte chérir longtemps.

Et finalement, je remercie ma famille et ma fiancée Vanessa qui m'ont supporté de tant de façons que les mots me manquent. Merci!!!

1. Introduction

Le monde de la médecine est en constante évolution, tant au niveau des découvertes médicales que des innovations technologiques. Parmi ces innovations, l'utilisation de l'échographie à des fins diagnostiques et thérapeutiques a certes marqué un point tournant dans plusieurs spécialités médicales. La médecine d'urgence, de soins intensifs et l'anesthésiologie ont largement bénéficié de l'accessibilité à l'échographie.

Les champs d'utilisation de l'échographie sont vastes, couvrant la majorité des organes du corps humain. Parmi ses applications les plus connues, l'on retrouve l'échographie cardiaque et l'échographie abdominale. En médecine d'urgence, l'échographie abdominale ciblée a pris au début des années 1990 une place prépondérante dans la prise en charge des patients souffrants d'anévrisme de l'aorte abdominale, de grossesses ectopiques ou ayant subi un traumatisme physique. Le FAST (Focused Assessment with Sonography in Trauma), fait d'ailleurs partie des outils recommandés par toutes les instances dirigeantes en médecine d'urgence ou en traumatologie^{1,2}. L'ACMU (Association Canadienne des Médecins d'Urgence), l'ASMUQ (Association des Spécialistes en Médecine d'Urgence du Québec) ont publié en 2006 des déclarations de prise de position concernant l'utilisation de l'ECMU (Échographie Ciblée en Médecine d'Urgence), par rapport au niveau de formation nécessaire, l'assurance qualité, et le besoin de formation médicale continue dans ce nouveau domaine^{3,4}. L'ACEP (American College of Emergency Physicians) et plusieurs autres associations en soins critiques ont emboîté le pas et suivi la même résolution^{5,6}. Parmi certaines applications reconnues de l'ECMU, on note l'évaluation de la contractilité cardiaque lors d'un arrêt cardio-respiratoire, la recherche d'épanchement péricardique, la recherche de liquide libre au niveau péritonéal lors de traumatismes thoraco-abdominaux, le diagnostic d'une grossesse ectopique, le diagnostic d'un anévrisme de l'aorte abdominale et l'installation sous guidage échographique de voies intraveineuses périphériques ou centrales. L'échographie est devenue une extension de l'examen physique du patient par le clinicien. Les différentes

déclarations de prises de position mentionnent bien que ces champs ne sont pas exclusifs et que de nouvelles indications de l'utilisation de l'échographie en soins critiques sont à venir. L'échographie pulmonaire fait partie de ces innovations.

2. Utilisation de l'échographie pulmonaire en soins critiques

L'échographie pulmonaire a trouvé plusieurs applications dans la prise en charge des patients de soins critiques. Elle permet de diagnostiquer les causes de dyspnée d'un patient en défaillance respiratoire dont les pneumothorax, les épanchements pleuraux, les contusions pulmonaires, l'œdème pulmonaire, etc. Récemment, l'échographie a démontré son efficacité dans la vérification de la position du tube endotrachéal (TET) lors d'une intubation endotrachéale.

2.1 Principes physiques de base en échographie

Le son est une onde mécanique sinusoïdale causant des compressions et des décompressions du médium qu'elle traverse. Ce médium peut être un gaz, un liquide ou une matière solide. La vitesse de propagation de l'onde de son à travers le médium est appelée la célérité (c). Celle-ci est toujours fixe à travers un même médium. Elle est aussi une caractéristique propre à celui-ci. L'unité de mesure de la célérité est le mètres par seconde (m/s). La célérité du son dans l'eau, le sang, les tissus mous et adipeux est similaire et tend vers 1500 m/s^7 . Les ondes sonores se décrivent selon une longueur d'onde, de même qu'une fréquence. La longueur d'onde correspond à la distance entre deux points identiques de l'onde sinusoïdale, tel que démontré sur la figure 1. Elle est représentée par la lettre grecque *lambda* (λ) et son unité de mesure est le mètre. La fréquence (f) se définit comme le nombre de répétitions de l'onde par unité de temps. Dans le cas d'une onde mobile dans un médium, comme le son traversant de l'eau, la fréquence se calcule par le rapport de la célérité à travers ce médium sur la longueur d'onde ($f=c/\lambda$). L'unité de mesure de la fréquence est le Hertz (Hz).

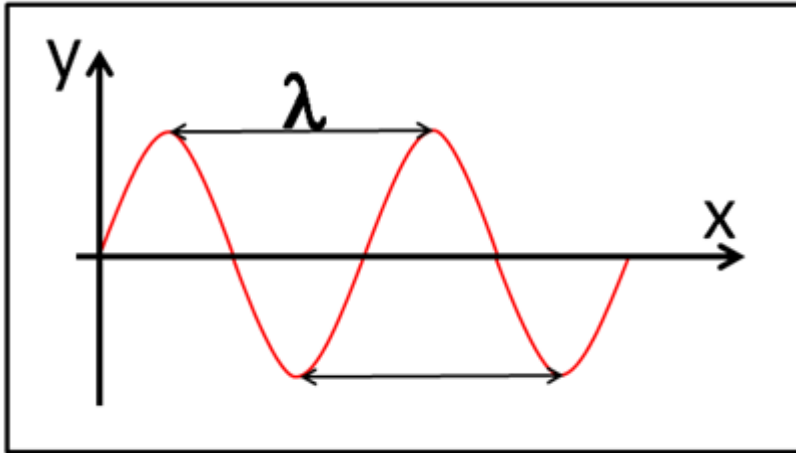


Figure 1 : La longueur d'onde (λ)

Les ultrasons sont des ondes sonores ayant une fréquence plus élevée que ce que l'oreille humaine est en mesure d'entendre, soit autour d'environ 20000 Hz. En imagerie médicale, les fréquences utilisées sont de l'ordre de 1 000 000 à 18 000 000 Hz, ou 1 à 18 méga Hertz (MHz). Ces ondes sont générées par les sondes échographiques au moyen de cristaux animés d'un courant piézoélectrique. Ces sondes captent aussi les ondes sonores réfléchies par les structures étudiées. Tel que mentionné précédemment, la célérité de l'onde sonore produite par la sonde échographique étant relativement constante dans les tissus, le temps de retour de l'onde échographique permet de déterminer la distance entre la sonde et la structure réfléchissant celle-ci. La différence d'amplitude énergétique entre l'onde sonore envoyée et celle réfléchie est dépendante de la quantité d'énergie absorbée par la structure étudiée. Cette capacité d'absorption est différente pour chaque type de structure. Ces différentes informations sont par la suite analysées par le programme informatique de l'appareil échographique et traduites par une image visible sur l'écran de l'appareil.

Il est important de mentionner que pour la plupart des applications de l'échographie pulmonaire, ce sont des artefacts qui sont analysés. En effet, les ultrasons ne pénètrent pas l'air et ils seront retournés vers la sonde émettrice (comme un miroir). Ainsi, lorsqu'un poumon est examiné à l'échographie, le parenchyme pulmonaire normal n'est pas visible, puisqu'il est majoritairement rempli d'air. Donc, les ultrasons émanant de la sonde échographique seront entièrement réfléchis, ne permettant pas au programme informatique de générer une image précise. Cependant, dans le cas de certaines pathologies, notamment l'œdème pulmonaire, les pneumonies et les contusions pulmonaires, le parenchyme pulmonaire est altéré et réagit différemment au passage des ultrasons. Ces images générées par le poumon anormal ne sont pas la traduction réelle des phénomènes sous-jacents, mais plutôt une altération de l'image normale (comme un miroir bombé déforme l'image réfléchi). Ces images artificielles sont appelées des artefacts. C'est à travers l'analyse de ces artefacts que le clinicien peut tirer des informations utiles pour le diagnostic des pathologies pulmonaires.

2.2 Description de la technique d'échographie pulmonaire

L'échographie pulmonaire s'effectue à divers endroits au niveau de la cage thoracique. Le patient est habituellement examiné couché en décubitus dorsal. Dans le cas d'un patient dyspnéique, un examen en position semi-assise ou assise est également possible. La technique de base la plus utilisée requiert une sonde échographique à haute fréquence. La sonde est alors positionnée sur le thorax de façon à toucher à deux côtes en même temps, coupant l'espace intercostal dans le sens sagittal. Cette position permet l'identification des structures thoraciques fixes, soient les tissus sous-cutanés et les côtes (figure 2). Ces structures anatomiques font office de points de repère.

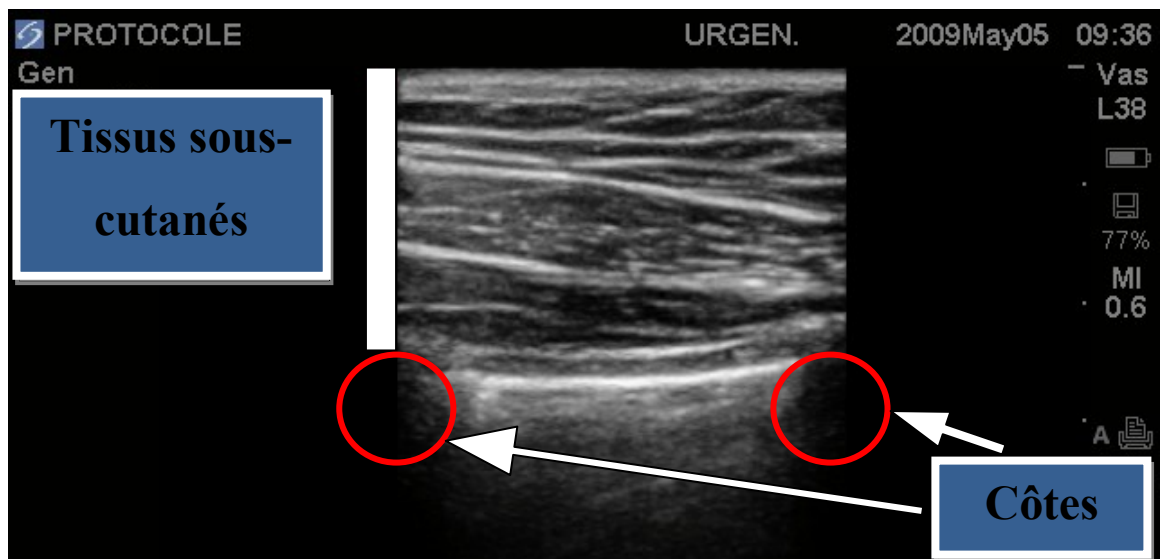


Figure 2 : Structures anatomiques fixes en échographie pulmonaire.

Les tissus sous-cutanés et une ligne échodense horizontale reliant 2 côtes.

Entre les deux côtes, une ligne hyperdense est visible. Il s'agit de la ligne pleurale. Celle-ci est constituée de l'apposition des plèvres viscérales et pariétales collées l'une à l'autre. Normalement, un mouvement de va-et-vient sera perceptible au niveau de cette

ligne pleurale, synchronisé avec la respiration. Ce mouvement est appelé le glissement pleural, en anglais le terme « sliding ou gliding lung » est utilisé. Au niveau du champ échographique distal, les côtes vont créer des ombres acoustiques de forme triangulaire. La zone d'intérêt de l'échographie pulmonaire se trouve sous la ligne pleurale, entre ces deux cônes d'ombre (figure 3). C'est au niveau de la zone d'intérêt que les différents artefacts étudiés seront visualisés.

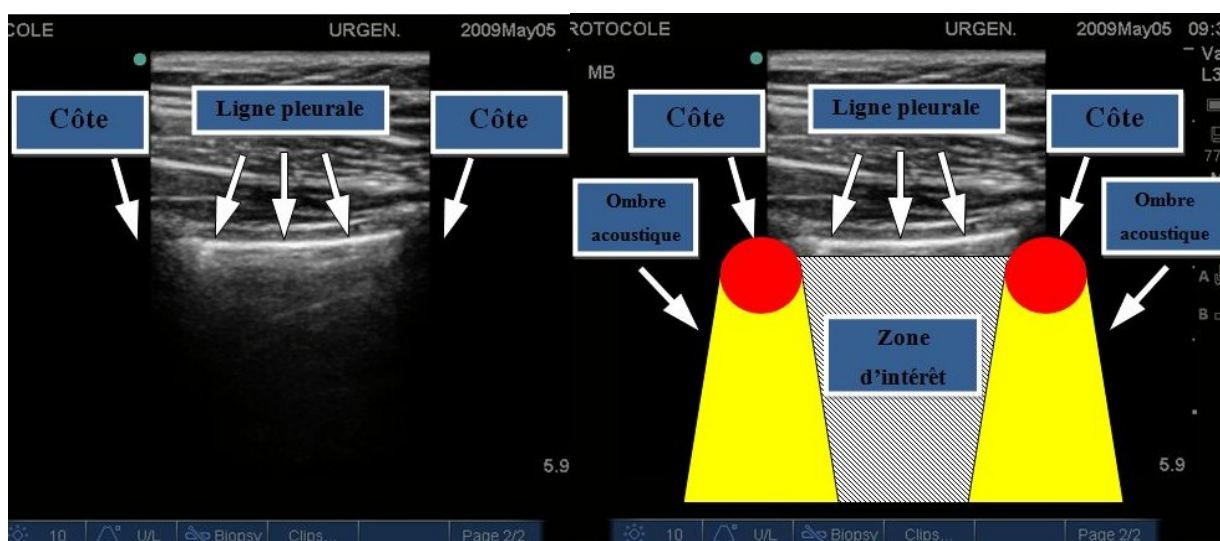


Figure 3 : Ligne pleurale, cônes d'ombre acoustique et zone d'intérêt dans le champ échographique

L'échographie pulmonaire est habituellement effectuée sur toute la surface des deux poumons. Pour ce faire, tous les espaces intercostaux seront étudiés séparément au niveau de la ligne parasternale, de la ligne mid-claviculaire, de la ligne axillaire antérieure, de la ligne mid-axillaire et de la ligne axillaire postérieure, et ce, sur chaque hémithorax. Il est également possible d'examiner les zones postérieures des deux poumons autour des deux omoplates. Voyons maintenant quels sont les éléments visualisés par l'échographie pulmonaire.

2.3 Description des artefacts et éléments visualisés à l'échographie pulmonaire

Tel que déjà mentionné, le poumon n'est pas visible à l'échographie pulmonaire. L'air qu'il contient réfléchit complètement les ondes échographiques. L'image créée par l'appareil échographique au niveau de la zone d'intérêt en est une de nuage ou de tempête de neige. Lors de la présence de pathologies du parenchyme pulmonaire, des artefacts échographiques sont créés et visibles au niveau de la zone d'intérêt. Certains artefacts visibles utilisés pour le diagnostic sont arbitrairement nommés : les lignes A, les lignes B, les lignes Z et les lignes E. Le glissement pleural et le pouls pulmonaire sont aussi des artefacts recherchés et étudiés à l'échographie pulmonaire.

Les lignes A

Certains artefacts sont présents en présence d'un parenchyme pulmonaire normal. Le premier de ces artefacts est appelé la ligne A. La ligne A est l'image horizontale de la réflexion de la ligne pleurale dans le parenchyme pulmonaire. Comme l'onde échographique est réfléchiée par l'air contenu dans le poumon, elle retourne vers la sonde échographique. Lors de son retour, elle est partiellement réfléchiée par la ligne pleurale et redescend vers le poumon. L'air du poumon, tel un miroir, réfléchit à nouveau l'onde échographique qui a cependant perdu une partie de son énergie, absorbée par la ligne pleurale. Cette différence d'énergie est détectée par la sonde puis faussement interprétée par le programme informatique de la machine d'échographie. Elle génère une fausse image partielle de la ligne pleurale (ligne horizontale) dans le parenchyme pulmonaire sous-jacent (figure 4). Ce phénomène se produit à plusieurs reprises et donc plusieurs lignes A sont visibles en temps normal dans le parenchyme pulmonaire, à des profondeurs grandissantes, mais à intensités déclinantes. Ces lignes A peuvent aussi être visualisées dans le cas de la

présence d'un pneumothorax. En effet, si de l'air est présent dans l'espace pleural, le même phénomène se produira et plusieurs réflexions de la ligne pleurale seront générées.



Figure 4 : Lignes A.

Elles sont indiquées par les flèches blanches et la ligne pleurale est identifiée par une flèche rouge (tiré de Soldati, G., *Sonographic findings in pulmonary diseases*. Radiol Med, 2006. 111(4): p. 510)

Les lignes B

Un deuxième artefact pouvant être présent en temps normal est la queue de comète, communément appelé ligne B. Il s'agit, tel que son appellation de queue de comète la décrit, d'une mince ligne verticale traversant le champ échographique (figure 5).

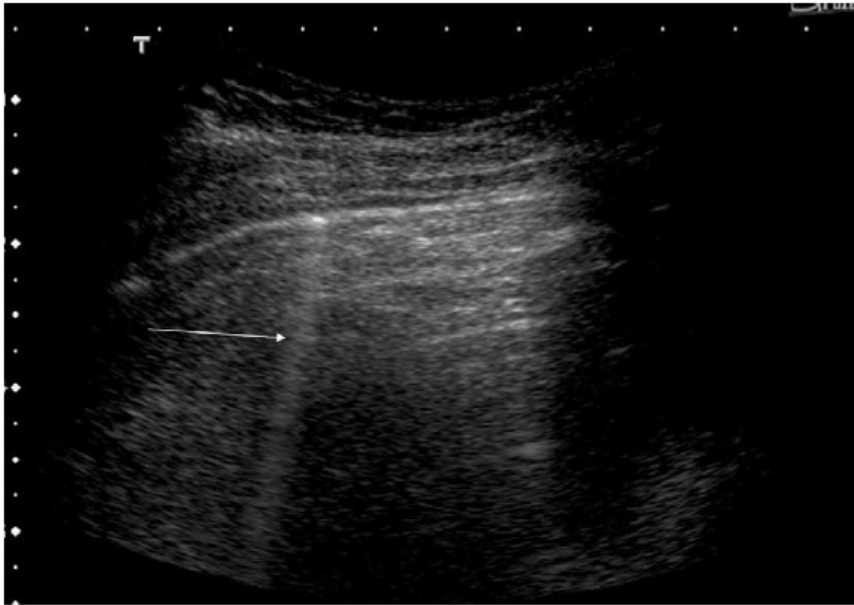


Figure 5 : Poumon normal avec présence d'une ligne B.

La ligne B est indiquée par une flèche blanche (tiré de Soldati, G., *Sonographic findings in pulmonary diseases*. Radiol Med, 2006. **111**(4): p. 511)

En temps normal, le parenchyme pulmonaire contient une petite quantité de liquide physiologique qui crée de multiples micro-interfaces avec l'air au niveau des septums interlobulaires du poumon. Les ondes échographiques sont réfléchies de façon répétée par ces micro-interfaces tout le long du parenchyme pulmonaire affecté, créant ces artefacts (figure 6). Il est important que ces artefacts soient à départ de la ligne pleurale et non de la surface cutanée. Il est aussi important que ces lignes B se rendent jusqu'à l'extrémité du champ échographique visualisé sur l'écran de l'appareil d'échographie. Les lignes B ne sont jamais interrompues ou masquées par d'autres images ou artefacts. Elles sont mobiles et souvent mises en évidence par le mouvement respiratoire. De plus, elles masquent les lignes A. La présence de lignes B implique la présence de parenchyme pulmonaire et par conséquent exclue la présence d'un pneumothorax.

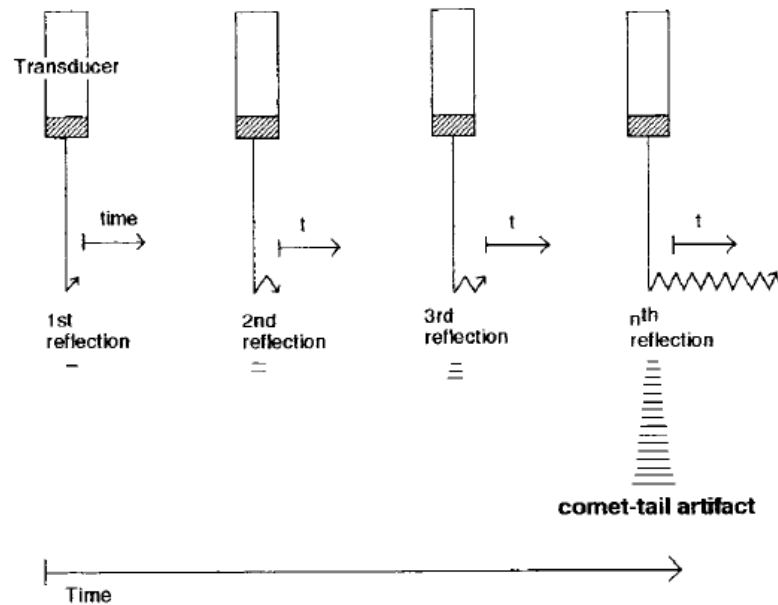


Figure 6 : Genèse des lignes B.

La ligne B est créée par de multiples réflexions successives de l'onde échographique par le liquide physiologique ou pathologique contenu dans les septa interlobulaires du poumon (tiré de Lichtenstein, D., et al., *The comet-tail artifact. An ultrasound sign of alveolar-interstitial syndrome*. Am J Respir Crit Care Med, 1997. **156**(5): p. 1644).

Dans le cas de la présence de pathologie pulmonaire, le parenchyme contient une quantité plus grande de liquide pathologique au niveau des septa interlobulaires. Il en résulte donc une plus grande quantité de lignes B (figure 7). C'est l'interprétation de la quantité et de la distribution des lignes B qui permet de caractériser, à l'aide de l'échographie pulmonaire, le type de pathologie parenchymateuse sous-jacente (descriptions plus loin).



Figure 7 : Multiples lignes B dans un poumon affecté par de l'œdème pulmonaire (tiré de Soldati, G., *Sonographic findings in pulmonary diseases*. Radiol Med, 2006. **111**(4): p. 511).

La première description de queue de comète dans la littérature faisait référence à un artefact créé par un plomb d'arme à feu logé sous la peau qui génèrait un artefact à départ du tissu sous-cutané⁸. Cet artefact s'apparente plutôt à la ligne E, décrite un peu plus loin, qu'à la ligne B décrite ici.

Les lignes Z

Un autre artefact visible à l'échographie d'un poumon normal est appelé la ligne Z (figure 8). Il s'agit d'une ligne verticale, à départ de la ligne pleurale, fixe, mais n'atteignant pas l'extrémité du champ échographique visualisé. Elle est moins bien définie que la ligne B. L'origine physiologique de la ligne Z n'est pas encore complètement élucidée. Il peut y avoir une ou plusieurs lignes Z dans le même champ échographique. Leur utilité diagnostique n'est pas encore précisée dans la littérature. Il est important de ne

pas les confondre avec les lignes B. Les lignes Z ne masquent pas les lignes A et ne touchent pas l'extrémité distale du champ échographique.



Figure 8 : Lignes Z indiqués par les flèches blanches (tiré de Lichtenstein, D.A., et al., *Ultrasound diagnosis of occult pneumothorax*. *Critical Care Medicine*, 2005. **33**(6): p. 1233).

Les lignes E

Dans le cas d'emphysème sous-cutané, soit la présence d'air dans les tissus sous-cutanés, une image s'apparentant à la ligne B peut être visualisée. Il s'agit des lignes E (figure 9). Cet artefact, dont le point de départ est la peau et non pas la ligne pleurale, peut être mobile et masquer tous les autres artefacts. L'élément crucial de la différenciation des lignes B et E est leur point de départ. Dans le cas de la ligne B, le point de départ est la ligne pleurale, qui demeurera visible à l'échographie. Dans le cas de la ligne E, le point de départ sera la peau, plus haut que la ligne pleurale qui sera masquée par cet artefact. La

disparition de la ligne pleurale indique à l'échographiste que cet artefact n'est pas une ligne B et donc que les images ne sont pas interprétables.

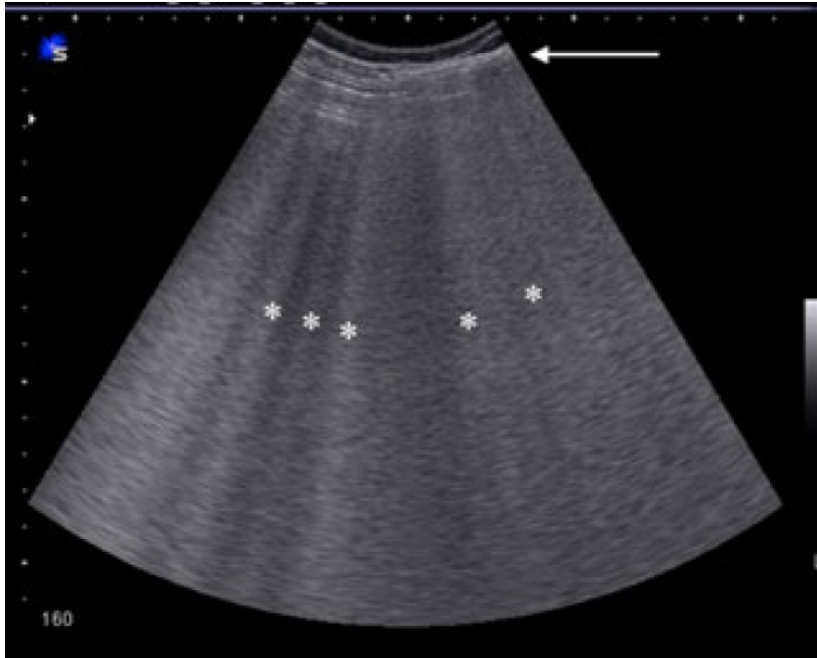


Figure 9 : Lignes E (astérisques blanches) à départ de la peau (flèche blanche), masquant la ligne pleurale (tiré de Volpicelli, G., *Sonographic diagnosis of pneumothorax*. Intensive Care Medicine, 2010. **37**(2): p. 230).

Le glissement pleural

Un avantage important de l'échographie pulmonaire est l'identification du mouvement des plèvres pariétale et viscérale l'une sur l'autre. La visualisation de ce mouvement est utilisée pour le diagnostic d'un pneumothorax et l'identification de la position d'un TET lors d'une intubation endotrachéale. L'identification de ce glissement pleural est facilitée par la présence normale d'une petite quantité de lignes B (ligne verticale ayant leur origine de la plèvre viscérale) qui vont se déplacer avec le glissement pleural. Si un doute persiste quant à la présence ou l'absence du glissement pleural, il est

possible d'utiliser le « Power Doppler » ou le mode M. Le mode M est une modalité qui permet de visualiser à travers le temps l'évolution de l'image échographique d'un point fixe. L'image créée représente une bande déroulante de ce point à travers le temps. La fonction « Doppler » de l'échographie quantifie les différences dans le temps entre la fréquence de l'onde acoustique émise et celle reçue, ces différences varient selon la distance entre la sonde et l'objet évalué. L'amplitude et la direction de ce changement peuvent être représentées de différentes façons sur l'écran échographique, si on utilise la couleur, la couleur sera différente selon la direction du mouvement et l'intensité de cette couleur varie selon l'amplitude du déplacement. Le « Power Doppler », contrairement à l'échographie par Doppler standard permet de mettre en évidence des vitesses beaucoup plus basses. Le mouvement pleural, si petit ou lent soit-il, sera donc rehaussé par la couleur du « Power Doppler » sur l'écran de la machine d'échographie. Cunningham *et al.* ont publié en 2002 sur le sujet⁹. Ils ont décrit le cas d'un patient de 16 ans ayant subi un trauma contondant au thorax et dont le diagnostic d'un pneumothorax fut facilité par l'utilisation du « Power Doppler ».

Le pouls pulmonaire

Un autre artefact visible à l'échographie pulmonaire est décrit par Lichtenstein *et al.* en 2003¹⁰. Ils nomment cet artefact le « Lung Pulse » que j'ai traduit par pouls pulmonaire. Il s'agit en fait d'un léger mouvement de va-et-vient des plèvres viscérales et pariétales l'une sur l'autre. Le tout s'apparente au glissement pleural, mais ce mouvement n'est pas d'intensité aussi grande et n'est pas en lien avec le mouvement respiratoire normal. Tel que son nom l'indique, le pouls pulmonaire est en fait généré par les battements cardiaques. En effet, le mouvement du cœur, lors de chaque battement, induit un léger déplacement des deux plèvres accolées, particulièrement sur le poumon gauche. C'est ce léger mouvement qui pourrait faussement donner l'impression de la présence d'un glissement pleural normal. Le pouls pulmonaire est particulièrement visible dans le cas d'atélectasie pulmonaire (dans cette situation une partie du poumon ne reçoit pas d'air, il n'y a donc pas de ventilation et

de glissement pleural normal). Dans leur étude, les auteurs décrivent 15 patients chez qui une intubation endobronchique droite fut effectuée. Le poumon gauche non ventilé démontrait clairement la présence du pouls pulmonaire. Cet artefact est aussi visible lors de la ventilation normale du poumon, mais de façon moins évidente, compromettant rarement la détection d'un glissement pleural. Comme le pouls pulmonaire nécessite l'accolement normal des plèvres viscérales et pariétales pour montrer le léger mouvement de va-et-vient, sa présence peut exclure le diagnostic de pneumothorax dans le champ échographique étudié. Le pouls pulmonaire peut facilement être mis en évidence à l'aide du Mode M de même que le Doppler couleur (figure 10 et 11)¹¹.

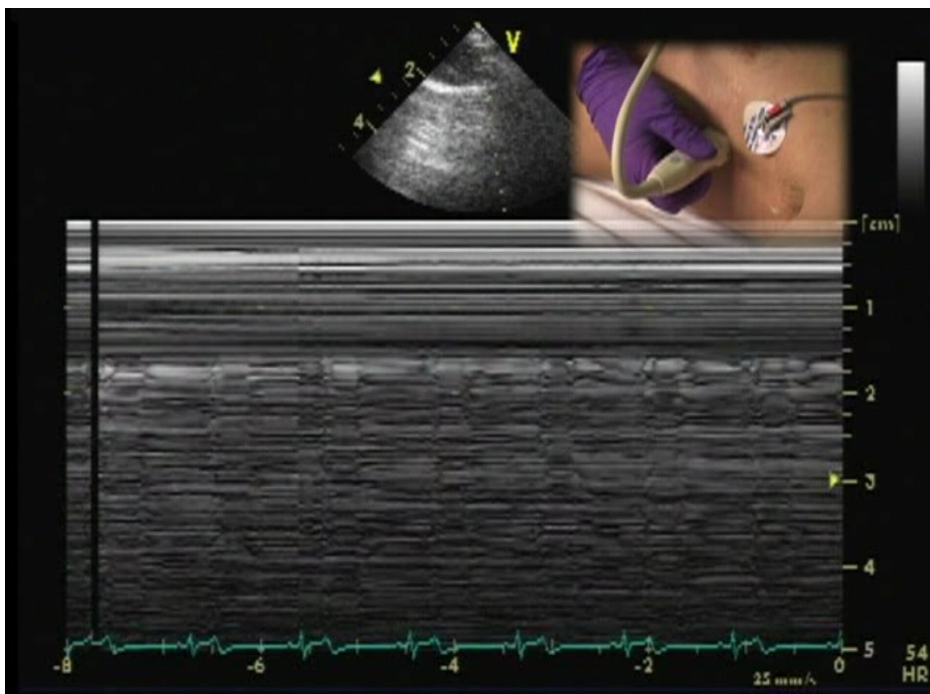


Figure 10 : Pouls pulmonaire mis en évidence par le Mode M

(Tiré de Transesophageal Echocardiography Multimedia Manual 2nd edition Informa Healthcare 2011, courtoisie du Dr André Denault)

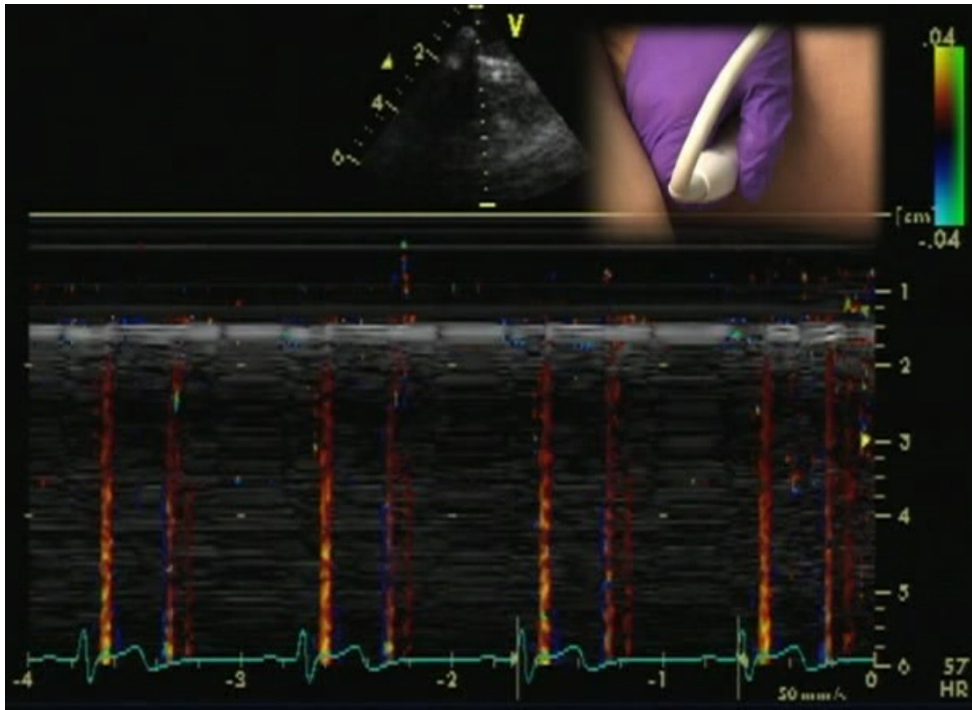


Figure 11 : Pouls pulmonaire mis en évidence par le Mode M et le Doppler couleur
(Tiré de Transesophageal Echocardiography Multimedia Manual 2nd edition Informa
Healthcare 2011, courtoisie du Dr André Denault)

2.4 L'échographie pulmonaire et le pneumothorax

L'efficacité de l'échographie pulmonaire à détecter la présence d'un pneumothorax a grandement contribué à sa popularité en médecine d'urgence et de soins critiques. Un pneumothorax est l'accumulation d'air dans l'espace pleural qui est un espace virtuel entre la plèvre pariétale et la plèvre viscérale d'un poumon. En temps normal, cet espace ne contient qu'une petite quantité de liquide physiologique permettant le glissement fluide des deux plèvres l'une sur l'autre durant la respiration. En présence d'un pneumothorax, cet espace virtuel est envahi par une certaine quantité d'air, variant selon la taille du pneumothorax. Cet air génère une pression positive dans l'espace pleural, menant à une perturbation du mécanisme respiratoire normal. Les répercussions sur le patient varient d'un état asymptomatique à l'arrêt cardiorespiratoire. En effet les pneumothorax sont une raison fréquente de l'instabilité hémodynamique et respiratoire chez les patients polytraumatisés ou intubés. Il est donc primordial d'être en mesure d'identifier la présence d'un pneumothorax, particulièrement chez les patients de soins critiques.

L'évaluation de la présence ou de l'absence d'un pneumothorax dépend de la visualisation du glissement pleural, de même que l'analyse de certains artefacts échographiques décrits précédemment. L'élément le plus important constitue l'identification des plèvres et la visualisation du mouvement de celles-ci. Il est impossible de différencier à l'échographie les plèvres viscérales et pariétales. À l'échographie, les plèvres ont un aspect hyperdense et sont facilement identifiables comme une ligne blanche régulière, sous les tissus mous de la paroi thoracique, entre deux côtes (figure 3).

C'est au niveau de cette ligne hyperdense qu'il faut porter attention afin de visualiser le glissement pleural. En effet, lors de l'inspiration ou de l'expiration, un mouvement régulier sera visible à ce niveau. Il est aussi possible de visualiser des lignes B

lors du mouvement respiratoire. Tel que décrit plus haut, les lignes B sont des artefacts à départ de la ligne pleurale s'étendant jusqu'à l'extrémité du champ échographique. Les lignes B peuvent être présentes en petite quantité en présence d'un parenchyme pulmonaire normal. Les autres artefacts importants à considérer sont les lignes A qui représentent une réflexion de la ligne pleurale par l'air contenu dans le parenchyme pulmonaire normal ou le pneumothorax. C'est l'interprétation des différentes combinaisons de ces artefacts et de la visualisation du glissement pleural qui permet d'identifier la présence ou l'absence d'un pneumothorax, de même que son étendue. La prochaine section résume une revue de la littérature sur l'utilisation de ces artefacts pour la détection du pneumothorax.

2.4.1 Revue de la littérature sur l'utilisation de l'échographie pulmonaire dans le diagnostic du pneumothorax

L'identification d'un pneumothorax à l'échographie pulmonaire a fait beaucoup de chemin depuis sa première description. Plusieurs études de méthodologies variées ont été publiées. Certaines ont été effectuées dans des départements de radiologie, d'autres dans des unités de soins intensifs et enfin certaines ont été effectuées en première ligne, dans des salles de traumatologie. Nous faisons ici une description de ces différentes études, rapportant pour la plupart l'élément nouveau qui a été apporté au domaine de l'échographie pulmonaire en soins critiques.

L'identification d'un pneumothorax par l'échographie pulmonaire a été décrite pour la première fois dans la littérature de la médecine vétérinaire. En effet, c'est Rantanen qui, en 1986, publiait ses observations sur l'utilisation de l'échographie en médecine équine¹². Ses travaux sur les chevaux ont mené à la première description de l'absence de

glissement pleural à l'échographie pulmonaire, pouvant être interprétée comme la présence d'un pneumothorax.

En ce qui a trait à la littérature humaine, c'est Wernecke *et al.* qui publient en 1987 une première description d'un pneumothorax identifié à l'échographie pulmonaire chez des humains¹³. Il s'agit d'une étude préliminaire décrivant l'étude échographique du thorax de 20 patients sains et 8 patients ayant un pneumothorax préalablement prouvé par une radiographie pulmonaire. Chez les 20 patients sains, le mouvement pleural était bien visualisé, de même que la présence de lignes B. Chez les 8 patients ayant un diagnostic de pneumothorax établi, ni le mouvement pleural ni les lignes B n'étaient visibles. Les auteurs proposent pour la première fois dans leur article l'utilisation de l'échographie pulmonaire pour établir de façon urgente le diagnostic de pneumothorax.

Cinq études rapportent des travaux effectués dans des départements de radiologie. En 1992, Targhetta *et al.* décrivent deux cas décrivant le diagnostic échographique de pneumothorax chez deux patients ayant subi une biopsie pulmonaire transthoracique afin de préciser la nature d'une tumeur¹⁴. L'image de la tumeur ayant disparu à l'échographie, les auteurs concluent adéquatement qu'un pneumothorax est apparu, insérant de l'air dans l'espace pleural et empêchant les ondes échographiques d'identifier la tumeur pulmonaire. L'année suivante, le même groupe publie une 2^e étude sur 100 sujets normaux et 11 sujets avec un hydropneumothorax¹⁵. Ils décrivent à ce moment le « Curtain Sign » ou signe du rideau. L'épanchement pleural de l'hydropneumothorax demeure bien visible lors de l'expiration, mais lors de l'inspiration, l'air du pneumothorax vient s'interposer devant l'épanchement, faisant disparaître l'image échographique de l'épanchement. L'image de l'épanchement pleural disparaît progressivement lors de l'inspiration, comme si un rideau s'était abaissé devant celui-ci, d'où le nom donné à ce signe. Cette appellation ne sera plus utilisée dans la littérature subséquente, étant plutôt remplacée par le « Lung Point », ou point de transition pulmonaire, décrit par Lichtenstein *et al.* dans une étude publiée en 2000

(description plus loin)¹⁶. Les 3 études suivantes ont utilisé une méthodologie similaire. Suite à des biopsies transthoraciques de tumeur pulmonaire, des échographies pulmonaires étaient exécutées à la recherche d'un pneumothorax. Siström *et al.* publient leurs observations sur 27 patients¹⁷. Une échographie pulmonaire des deux hémithorax était exécutée une heure après la biopsie. Les images échographiques ont été enregistrées et présentées par la suite à 5 radiologistes. Une radiographie pulmonaire en position debout exécutée à 1, 2 et 3 heures après la procédure a diagnostiqué 13 pneumothorax. Comparée à la radiographie pulmonaire, la sensibilité moyenne de l'échographie pulmonaire interprétée par les 5 radiologistes était de 73% et la spécificité de 68%. Si les radiologistes avaient exécuté l'échographie eux-mêmes, il est possible que les résultats aient été supérieurs, puisqu'ils auraient probablement ajusté les différents paramètres échographiques à leur convenance. Goodman *et al.* publient la première étude conçue spécifiquement pour comparer l'échographie à la radiographie pulmonaire comme outil pour la détection d'un pneumothorax¹⁸. Vingt-neuf patients ayant subi une biopsie pulmonaire transthoracique guidée par tomodensitométrie thoracique eurent une deuxième tomodensitométrie à la recherche d'un pneumothorax engendré par cette biopsie. Des 13 pneumothorax découverts à la tomodensitométrie, 7 furent identifiés par l'échographie pulmonaire et 6 seulement par la radiographie conventionnelle. De plus, 5 des pneumothorax manqués par l'échographie pulmonaire étaient localisés et distants du site de biopsie. L'échographie pulmonaire n'avait pas été exécutée sur cette partie du thorax. Cette étude est la première à démontrer une supériorité de l'échographie pulmonaire par rapport à la radiographie pulmonaire conventionnelle dans le diagnostic du pneumothorax. Chung *et al.* publièrent une étude similaire¹⁹. Quatre radiologistes diplômés interprétaient à l'aveugle les radiographies et les échographies pulmonaires. Trente-cinq pneumothorax furent prouvés à la tomodensitométrie thoracique. La sensibilité de l'échographie pulmonaire était de 80% et de 47% pour la radiographie pulmonaire. La spécificité était la même pour les deux modalités diagnostiques, soit de 94%. Cette étude est la première à évaluer l'accord inter-observateur dans l'utilisation de l'échographie pulmonaire. Pour l'échographie pulmonaire, le score de kappa était de 0,85 et de 0,49 pour la radiographie pulmonaire.

Daniel Lichtenstein est l'un des pionniers en recherche sur l'échographie pulmonaire en soins critiques. Avec ses collègues, il publie en 1995 la première étude prospective à l'aveugle où un même échographiste, l'auteur principal, exécuta des échographies pulmonaires chez 42 patients avec des pneumothorax (dont 1 patient avec pneumothorax bilatéral) et 34 patients sans pneumothorax à la tomodensitométrie thoracique²⁰. L'examineur recherchait en position couchée un glissement pleural au niveau de la partie antérieure du thorax, qui est la région la plus élevée. L'air d'un pneumothorax, si petit soit-il, s'accumule à cet endroit, à condition que l'espace pleural ne contienne pas d'adhérence, créant la possibilité d'un pneumothorax loculé. Le pneumothorax a été identifié par l'absence de glissement pleural chez 41 des 43 pneumothorax démontrés à la tomodensitométrie thoracique. Deux pneumothorax diagnostiqués à la tomodensitométrie n'ont pu être identifiés à l'échographie puisque la ligne pleurale n'était pas visible en raison d'emphysème sous-cutané. Le tout fournit une sensibilité de 95,3% si l'on considère que les patients avec emphysème sous-cutané avaient un examen non-concluant. La spécificité de la disparition du glissement pleural était de 91,1%. Cette étude est la première à décrire des cas de faux diagnostic de pneumothorax par l'absence de glissement pleural. Ces 6 diagnostics erronés étaient causés par des syndromes de détresse respiratoire aiguë (SDRA), des pneumonies importantes et des cicatrices pleurales de pathologie ou chirurgie antérieure.

Le même groupe publie en 1999 une étude sur le diagnostic de pneumothorax, utilisant les observations d'une étude effectuée auparavant dans laquelle ils décrivaient la distribution de lignes B selon la pathologie du parenchyme pulmonaire sous-jacent^{21,22}. Effectuée dans une unité de soins intensifs, cette étude avait pour but de déterminer si la présence de lignes B pouvait exclure le diagnostic de pneumothorax chez des patients ou le glissement pleural n'était pas visible à l'échographie pulmonaire. Deux échographistes aveugles aux résultats des examens radiologiques exécutaient les échographies pulmonaires

sur la partie antérieure du thorax (1^{er} au 5^e espace intercostal, entre le sternum et la ligne axillaire antérieure). La combinaison de l'absence de glissement pleural et de l'absence de ligne B fournit une sensibilité de 100% et une spécificité de 96.5% pour l'identification d'un pneumothorax complet.

En 2000, un nouveau signe échographique est décrit¹⁶. Il s'agit du « Lung Point », que j'ai traduit par « point de transition pulmonaire », qui reprend le concept du « Curtain Sign », ou signe du rideau, décrit quelques années auparavant¹⁵. Le point de transition pulmonaire correspond en fait au site de transition entre l'espace pleural sain et le pneumothorax. En effet, lors de l'expiration, le parenchyme pulmonaire se vidant de son air, le pneumothorax prend de l'expansion dans l'espace pleural (figure 12). On note alors l'absence de glissement pleural, l'absence de ligne B et la présence exclusive de lignes A, typique du pneumothorax. Lors de l'inspiration, le parenchyme pulmonaire prend de l'expansion, diminuant ainsi la taille du pneumothorax, il est alors possible de voir apparaître dans le champ échographique le glissement pleural et les lignes B. Ce point précis de transition sur l'image échographique, ou point de transition pulmonaire, correspond à la limite du pneumothorax.

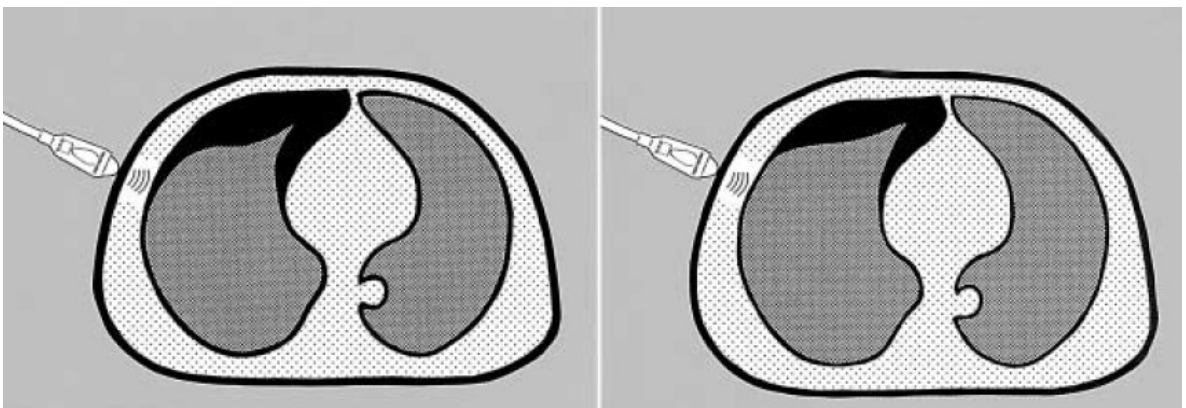


Figure 12 : A gauche, lors de l'expiration, le pneumothorax est de taille plus grande et donc entraîne la perte du glissement pleural à l'échographie pulmonaire. À droite, lors de

l'inspiration, le pneumothorax diminue de taille et les plèvres s'accolent permettant la visualisation du glissement pleural au même point sur le thorax. Cet endroit précis est le point de transition pulmonaire (tiré de Lichtenstein, D., et al., *The "lung point": an ultrasound sign specific to pneumothorax*. Intensive Care Med, 2000. **26**(10): p. 1437)

Cette étude de Lichtenstein *et al.* fut exécutée dans une unité de soins intensifs. Six points équidistants par espace intercostal étaient analysés durant un cycle respiratoire complet. Les deux hémithorax de 119 patients, donc 238 hémithorax, servirent de témoins. Le diagnostic de pneumothorax fut exclu par tomодensitométrie thoracique chez tous les témoins. Quatre pneumothorax furent exclus des analyses en raison de la présence d'emphysème sous-cutané empêchant l'étude échographique adéquate. Le point de transition pulmonaire a été identifié à l'échographie pulmonaire chez 44 des 66 pneumothorax présents. Aucun point de transition pulmonaire ne fut identifié chez les témoins. Ces observations confèrent au point de transition pulmonaire une sensibilité de 66%, mais surtout une spécificité de 100% à l'identification d'un pneumothorax. De plus, il s'agit du premier signe spécifique à la présence d'un pneumothorax. Il est important de noter que lors du mouvement respiratoire, le diaphragme, le foie et la rate peuvent s'interposer dans le champ échographique, ceci pourrait être faussement identifié comme un point de transition pulmonaire, n'étant en fait que la limite réelle du parenchyme pulmonaire.

Ce même article a aussi introduit l'utilisation du « M-Mode », ou « Motion Modulation » dans l'évaluation de la présence d'un pneumothorax. Cette modalité échographique permet de visualiser à travers le temps l'évolution de l'image échographique d'un même point. Ainsi, il est possible de créer une image du mouvement du poumon dans le temps et ainsi de prouver l'intégrité des plèvres et l'absence de pneumothorax. Les tissus mous situés au-dessus de la ligne pleurale, eux, sont immobiles. Lors de l'utilisation du Mode M ceci est représenté par de multiples lignes horizontales. L'aspect granuleux,

comme du sable, de l'image créée par le mouvement du poumon sous la ligne pleurale est appelé le « Seashore Sign » ou signe de la plage (figure 13). Dans le cas de la présence d'un pneumothorax, le poumon ne sera pas visible sous la ligne pleurale, l'air contenu dans le pneumothorax créant une image miroir des tissus mous immobiles situés au-dessus de la ligne pleurale. L'image visualisée sur tout le champ échographique sera donc celle des tissus mous, qui sont immobiles. De multiples lignes horizontales seront alors visualisées sur tout le champ échographique (figure 14). Ce signe est appelé « Stratosphere Sign » ou signe de la stratosphère. Le Mode M permet également de mettre en évidence le point de transition pulmonaire où l'on verra le signe de la stratosphère se transformer en signe de la plage (figure 15).

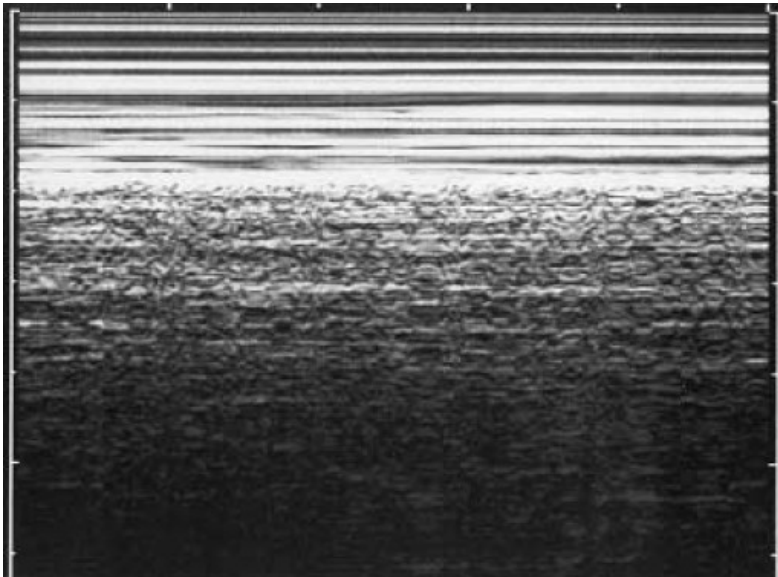


Figure 13 : Aspect normal au Mode M d'un poumon avec signe de la plage (tiré de Lichtenstein, D., et al., *The "lung point": an ultrasound sign specific to pneumothorax*. Intensive Care Med, 2000. **26**(10): p. 1435)



Figure 14 : Aspect au Mode M d'un pneumothorax avec présence du signe de la stratosphère (tiré de Lichtenstein, D., et al., *The "lung point": an ultrasound sign specific to pneumothorax*. Intensive Care Med, 2000. **26**(10): p. 1436)

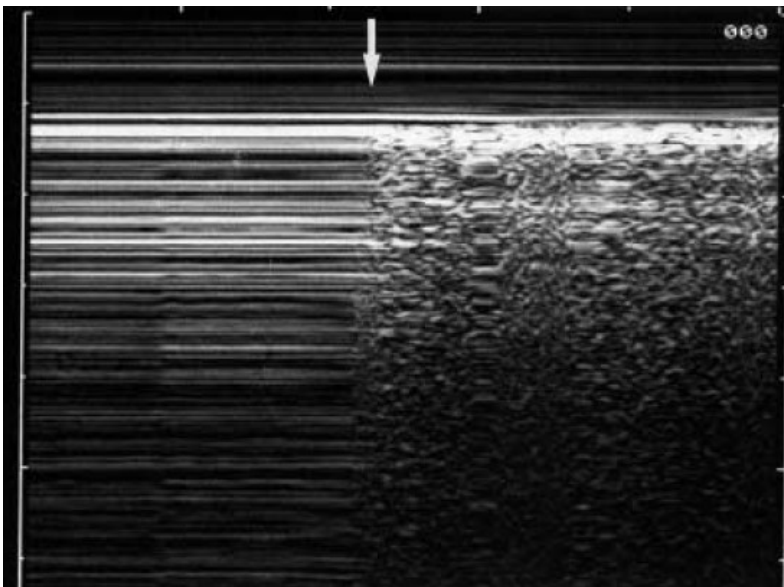


Figure 15 : Transition du signe de la stratosphère vers le signe de la plage mettant en évidence le point de transition pulmonaire au Mode M (tiré de Lichtenstein, D., et al., *The "lung point": an ultrasound sign specific to pneumothorax*. Intensive Care Med, 2000. **26**(10): p. 1437)

Les premières études sur l'utilisation de l'échographie pulmonaire en première ligne ont été effectuées dans des salles de traumatologie. L'utilisation de l'échographie pulmonaire à la recherche d'un pneumothorax dans l'évaluation initiale d'un patient polytraumatisé a été rapportée pour les premières fois par Dulchavsky *et al.* en 1999 dans un cas de trauma pénétrant de la paroi thoracique, et par Kirkpatrick *et al.* en 2001 dans un cas de trauma contondant du thorax^{23,24}. Ces deux cas ont été suivis de la première étude formelle sur des patients ayant subi un traumatisme du thorax. Dulchavsky *et al.* publièrent cette étude sur des patients évalués dans le département d'urgence d'un centre de trauma de niveau 1 de Détroit²⁵. Trois cent quatre-vingt-deux patients furent évalués pour identifier la présence d'un pneumothorax par échographie pulmonaire par des résidents en chirurgie ou des urgentologues diplômés. Les 3^e et 4^e espaces intercostaux bilatéraux étaient échographiés durant 5 cycles respiratoires à la recherche d'un glissement pleural ou de lignes B. Comparée à la radiographie pulmonaire faisant office d'étalon d'or dans cette étude, l'échographie pulmonaire obtint une sensibilité de 94,9% et une spécificité de 99,4%. L'étendue de la zone du thorax étant cependant nettement moins grande que dans les études de Lichtenstein et ses collaborateurs^{16,20-22}. L'étalon d'or étant la radiographie pulmonaire et non la tomodensitométrie, certains pneumothorax plus petits auraient pu être manqués.

La première étude comparant en première ligne l'échographie pulmonaire à la tomodensitométrie thoracique fut celle de Rowan *et al.* sur 27 patients ayant subi un traumatisme thoracique²⁶. Suite à l'examen échographique exécuté par les urgentologues dans le cadre de l'évaluation initiale du patient traumatisé, un résident en radiologie ou un radiologiste diplômé effectuait aussi une échographie. La radiographie obtint une sensibilité de 36%. L'échographie identifia tous les pneumothorax, pour une sensibilité de 100%. Les auteurs mentionnent que la mauvaise sensibilité de la radiographie pulmonaire dans leur étude venait probablement du fait que les pneumothorax manqués étaient minimes et sans répercussion hémodynamique. Les pneumothorax cliniquement suspectés furent

traités d'emblée par l'installation d'un drain thoracique, et donc ne furent évalués ni par radiographie, ni par échographie pulmonaire.

Toutes les études subséquentes sur le diagnostic de pneumothorax à l'échographie pulmonaire présentèrent des méthodologies similaires, utilisant toujours la tomodensitométrie thoracique comme étalon d'or et ayant des nombres de sujet similaires. Dans l'étude de Blaivas *et al.* l'échographie pulmonaire était effectuée à 4 endroits précis sur chaque hémithorax, soit au 2^e espace intercostal sur la ligne mid-claviculaire, au 4^e espace intercostal sur la ligne axillaire antérieure, au 6^e espace intercostal sur la ligne mid-axillaire et au 8^e espace intercostal sur la ligne axillaire postérieure²⁷. La sensibilité de l'échographie pulmonaire était de 98,1% (IC 95% : 89,9-99,9) et sa spécificité de 99,2% (IC 95% : 95,6-99,9). Ceci procure un rapport de vraisemblance positif de 121 pour la détection d'un pneumothorax par l'échographie pulmonaire. L'étude de Soldati *et al.* démontra une sensibilité de l'échographie pulmonaire de 98,2% (IC 95% : 90,4-99,9) et une spécificité de 100%²⁸. Le tout confère à l'échographie pulmonaire dans cette étude un rapport de vraisemblance positif de 128,7 pour le diagnostic d'un pneumothorax. Le protocole échographique effectuait une recherche systématique du point de transition pulmonaire advenant la perte du glissement pleural. Encore une fois, comme dans la majorité des études, la radiographie pulmonaire en position couchée obtint des résultats nettement inférieurs, avec une sensibilité de 53,6% (IC 95% : 39,8-67,0) et une spécificité de 100%.

Dans cette même étude, les auteurs décrivent un nouveau signe échographique qu'ils nommèrent le « Ultrasonographic Deep Sulcus Sign ». Le « Deep Sulcus Sign » est déjà bien connu et représente sur une radiographie antéropostérieure du thorax, une zone plus sombre dans la région costodiaphragmatique semblant approfondir le cul-de-sac costodiaphragmatique latéral²⁹. Il s'agit en fait de la présence d'air dans la partie antérieure de l'espace pleural, limitée par le récessus diaphragmatique antérieur et la paroi

médiastinale. Ce pneumothorax est occulte puisqu'il ne décolle pas les plèvres viscérale et pariétale en supérieur et en latéral, ne donnant pas l'aspect typique d'un pneumothorax à la radiographie pulmonaire. Le « Ultrasonographic Deep Sulcus Sign » correspond donc à un pneumothorax découvert à l'échographie, mais localisé dans cette zone causant des pneumothorax occultes à la radiographie pulmonaire. Il ne constitue pas vraiment un nouveau signe échographique comme son nom l'indique, mais représente la zone contenue entre la 2^e côte en supérieur, le diaphragme en inférieur, le rebord médiastinal en interne et une ligne diagonale partant du manubrium jusqu'à la ligne axillaire antérieure au niveau de la 6^e côte en latéral (figure 16).

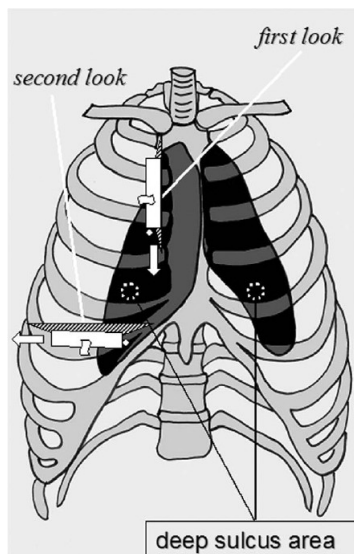


Figure 16 : Zone du « Ultrasonographic Deep Sulcus Sign »

(tiré de Soldati, G., et al., *The ultrasonographic deep sulcus sign in traumatic pneumothorax*. *Ultrasound in Medicine & Biology*, 2006. **32**(8): p. 1159).

En 2008, Soldati *et al.* publièrent une autre étude sur le diagnostic du pneumothorax chez les patients polytraumatisés évalués au département d'urgence³⁰. Il s'agit d'une étude multicentrique ayant recruté 109 patients. Chaque patient fut évalué par une échographie

pulmonaire, une radiographie pulmonaire et une tomodensitométrie thoracique. L'examen échographique évaluait le thorax en 3 différents secteurs, définis comme haut, moyen et bas. Chaque secteur consistait en deux espaces intercostaux, soient les 2^e et 3^e pour le secteur haut, les 4^e et 5^e pour le secteur moyen et les 6^e et 7^e pour le secteur bas. Chaque secteur était balayé du sternum jusqu'à la partie postérieure de la cage thoracique la plus accessible sans déplacer le patient. Le diagnostic de pneumothorax était confirmé sur la base de la perte du glissement pleural, de la présence d'un point de transition pulmonaire, de l'absence complète de ligne B accompagnée d'accentuation des lignes A. La sensibilité de l'échographie pulmonaire était de 92% et sa spécificité de 99,4. La sensibilité de la radiographie pulmonaire en position couchée était de 52% et sa spécificité de 100%. Les deux cas de faux négatifs attribués à l'échographie pulmonaire représentaient de minimes pneumothorax cliniquement non significatifs. Aussi, 10 des 12 pneumothorax non diagnostiqués par la radiographie pulmonaire ont été identifiés par l'échographie pulmonaire.

La recherche systématisée d'un pneumothorax à l'aide de l'échographie pulmonaire dans le cadre de l'évaluation initiale des patients polytraumatisés fut également abordée par le groupe de Kirkpatrick *et al.* en 2004 avec leur description du « Extended Focused Assessment with Sonography in Trauma » (EFAST)³¹. Ils suggéraient d'ajouter la recherche du pneumothorax et d'épanchements pleuraux à la recherche d'épanchement péricardique et de liquide libre au niveau péritonéal déjà inclus dans le FAST. Cette étude rapporte une sensibilité de 58,9% pour l'échographie pulmonaire à l'identification d'un pneumothorax traumatique. Le rapport de vraisemblance positif s'éleva cependant à 69,7, conférant beaucoup de poids à un examen positif.

La majorité des études décrites précédemment évaluaient des cliniciens ayant une importante expérience préalable en échographie pulmonaire. La particularité de l'étude de Zhang *et al.* réside dans le fait que les 3 échographistes n'avaient suivi qu'une formation de

28 heures sur l'échographie pulmonaire, suivant les recommandations de 2001 de l'ACEP³². Leur expérience était donc nettement inférieure à la majorité des échographistes des études décrites précédemment. Dans un centre de trauma en Chine, 135 patients ont été évalués à l'échographie pulmonaire à la suite d'un traumatisme thoracique. Cette étude donne une idée de la performance de cliniciens ayant une formation sommaire en échographie thoracique, représentant donc la réalité dans la majorité des milieux de pratique actuels. Le protocole exact de l'examen échographique n'est pas décrit dans l'article. La sensibilité de l'échographie pulmonaire pour le diagnostic d'un pneumothorax, comparée à la tomodensitométrie thoracique, s'élevait à 86,2% (IC 95% : 73,7-98,8) et la spécificité à 97,2% (IC 95% : 94,0-100). La sensibilité fut nettement inférieure à la majorité des études contemporaines, mais demeura bien meilleure que celle de la radiographie pulmonaire, soit 27,6% (IC 95% : 11,3-43,9).

L'échographie pulmonaire a un rôle particulièrement pertinent le contexte de la médecine militaire, le transport aéroporté et le domaine pré-hospitalier. Ces situations ne permettent pas l'utilisation d'autres formes d'imagerie comme la tomographie axiale. Les auteurs mettent bien en évidence l'avantage de l'échographie dans une situation de combat. En effet, les appareils échographiques sont de plus en plus petits et donc transportables aisément lors des missions. Monti *et al.* démontrèrent la capacité de 22 militaires, n'ayant eu en guise de formation échographique qu'une présentation visuelle de 10 minutes, de détecter avec une sensibilité de 95,4% (IC 95% : 75,0-99,0) et une spécificité 100% (IC 95% : 81,0-100,0) la présence d'un pneumothorax chez des porcs euthanasiés³³. Madill rapporte aussi un cas de pneumothorax sous tension diagnostiqué à l'échographie pulmonaire lors d'un rapatriement hélicoptère d'urgence, ayant permis l'installation en vol d'un drain thoracique et la stabilisation hémodynamique du militaire blessé³⁴.

L'échographie pulmonaire pourrait possiblement améliorer la prise en charge du pneumothorax avant l'arrivée du patient à l'hôpital. En 2010, Blaivas *et al.* publièrent une

étude démontrant que la décompression des pneumothorax par les équipes pré hospitalières serait en partie inadéquate³⁵. Tous les patients stables ayant fait l'objet d'une décompression à l'aiguille ont été évalués à l'aide d'une échographie pulmonaire pour déterminer s'il y avait réellement présence d'un pneumothorax. Chez 15 des 57 patients décrits, aucun pneumothorax ne put être identifié à l'échographie pulmonaire. Le tout fut confirmé par une tomodensitométrie thoracique. Il semblerait donc, dans cette étude du moins, que 26% des décompressions à l'aiguille d'un possible pneumothorax traumatique chez un patient stable seraient inappropriées. Confirmer le pneumothorax avant de le traiter éviterait l'installation de plusieurs drains thoraciques inutiles, de même que les possibles complications d'un tel geste.

Gentry Wilkerson *et al.* publièrent une revue systématique sur la sensibilité de l'échographie pulmonaire pour le diagnostic d'un pneumothorax dans le contexte de l'évaluation initiale au département d'urgence des patients ayant subi un traumatisme contondant³⁶. Les 4 études retenues faisaient toutes l'objet d'échographies pulmonaire exécutées par des urgentologues^{27,28,30,32}. La sensibilité de l'échographie, telle que déjà décrite précédemment, se situait entre 92 et 98,2% dans le contexte d'un examen effectué au département d'urgence par un urgentologue. La spécificité, elle, se situait entre 97,2 et 100%. Le rapport de vraisemblance positif se situe donc entre 30,5 et plus de 177,6, conférant donc un poids énorme à un examen positif pour l'identification d'un pneumothorax par l'échographie pulmonaire. Le clinicien doit cependant rester à l'affût et considérer l'examen clinique complet de son patient. En effet, l'échographie pulmonaire n'est pas infaillible, et un examen pourrait être faussement positif, comme nous le discuterons dans la section suivante.

2.4.2 Causes de faux positif de la présence d'un pneumothorax à l'échographie pulmonaire

Le traitement du pneumothorax repose sur l'évacuation de l'air présent dans l'espace pleural. Cette évacuation se fait à l'aide de l'insertion d'un drain thoracique dans l'espace pleural affecté, qui est un geste chirurgical qui n'est pas sans complication. En effet, la littérature rapporte jusqu'à 22% de complications associées à l'installation d'un drain thoracique³⁷. Ces complications peuvent être mineures, telles des douleurs au site d'insertion, un déplacement du tube nécessitant un repositionnement, mais elles peuvent aussi être majeures, tels un empyème, la lacération d'une artère intercostale pouvant mener à une exsanguination ou l'insertion intra pulmonaire du drain thoracique³⁸. La certitude du diagnostic de pneumothorax est donc primordiale afin d'éviter l'installation non justifiée d'un drain thoracique et ses possibles complications.

La littérature a démontré que l'échographie pulmonaire est bien en mesure de diagnostiquer adéquatement un pneumothorax, mais plusieurs exemples de diagnostics faussement positifs ont aussi été décrits. La majorité de ces cas sont dus à une condition pathologique qui limite ou masque le glissement pleural. Parmi les pathologies pouvant restreindre le mouvement pleural, on compte les synéchies pleurales aiguës ou chroniques, les fibroses pulmonaires, les pneumonies ou autres types de consolidation ou contusion du parenchyme pulmonaire, de même que les cas de SDRA. Un défaut de ventilation des poumons ou d'une partie de ceux-ci (ex : l'apnée, l'atélectasie pulmonaire, l'obstruction trachéale ou bronchique, l'intubation oesophagienne ou endobronchique, etc.) peut mener à la disparition du glissement pleural. Une bulle d'emphysème peut aussi masquer la ligne pleurale et le glissement pleural. La recherche systématique du point de transition pulmonaire devrait limiter la prévalence de faux positif car il est très spécifique à la présence d'un pneumothorax¹⁶. La taille d'un pneumothorax peut aussi être évaluée à

l'échographie pulmonaire. Ceci constitue un élément fondamental dans le traitement du pneumothorax, comme nous le verrons dans la section qui suit.

2.4.3 L'utilisation de l'échographie pulmonaire pour évaluer la taille d'un pneumothorax

L'identification d'un pneumothorax à l'échographie pulmonaire permet de déterminer la taille de celui-ci. Connaître l'ampleur d'un pneumothorax permet une évaluation plus complète, mais aussi un traitement plus ciblé des patients polytraumatisés, notamment quant à la décision d'installer un drain thoracique. Cette application pourrait être très utile dans le cadre d'un transfert inter-hospitalier ou de situation de catastrophe et de triage de masse ²⁷. La radiographie pulmonaire, bien qu'imparfaite, permet d'évaluer sommairement la taille d'un pneumothorax. La tomodensitométrie thoracique, elle, constitue l'étalon d'or à cet effet, mais nécessite du temps et la disponibilité d'un appareil de tomodensitométrie. L'échographie pulmonaire, a montré qu'elle est en mesure de décrire la taille d'un pneumothorax (description plus loin). Elle présente en plus les avantages de ne pas exposer le patient aux radiations émanant d'une radiographie pulmonaire ou d'une tomodensitométrie thoracique. De plus, des évaluations sérieées de la taille d'un pneumothorax sont possibles et rapidement disponibles à l'aide de l'échographie pulmonaire. Depuis 1996, 6 études se sont penchées sur le sujet, évaluant la taille d'un pneumothorax selon la position du point de transition pulmonaire ou bien selon la présence ou l'absence de glissement pleural dans des zones définies du thorax

Sistrom *et al.* publièrent la première étude tentant d'évaluer la taille d'un pneumothorax à l'échographie pulmonaire¹⁷. Tel que déjà décrit précédemment, 27 patients ayant subi une biopsie pulmonaire transthoracique étaient évalués par échographie pulmonaire. Cinq radiologistes revoyaient les enregistrements échographiques et tentaient de définir la taille du pneumothorax. Les résultats statistiques ne démontrèrent aucune corrélation entre la taille du pneumothorax évaluée à l'échographie pulmonaire et celle dictée par la tomodensitométrie thoracique. Les auteurs ne décrivent pas la méthodologie

utilisée pour la quantification de la taille du pneumothorax par ces 5 radiologistes ce qui limite l'évaluation de la validité de cette étude.

Selon la présence ou l'absence de glissement pleural dans des zones définies du thorax, la taille d'un pneumothorax peut être évaluée. Sargsyan *et al.* publièrent une étude animale sur le sujet³⁹. Leur modèle consistait de porcs anesthésiés chez qui diverses quantités d'air étaient introduites dans la cavité pleurale, créant ainsi des pneumothorax de tailles connues. Des échographies pulmonaires furent exécutées pour toutes les tailles de pneumothorax. Les auteurs ont déterminé que la présence d'un glissement pleural sur au moins une partie du thorax permet d'exclure la présence d'un pneumothorax complet, décrit comme le décollement complet des plèvres pariétales et viscérales sur toute la surface du poumon à la radiographie pulmonaire. Une quantification plus précise ne fut pas exécutée. Blaivas *et al.*, évaluèrent une méthode de quantification similaire, comparée à la tomодensitométrie thoracique²⁷. La taille du pneumothorax (petit <10%, moyen 10 à 40%, grand >40%) dans cette étude était déterminée selon la présence ou l'absence de glissement pleural à chacun des points de la cage thoracique évalués par l'échographie pulmonaire (2^e espace intercostal sur la ligne mid-claviculaire, 4^e espace intercostal sur la ligne axillaire antérieure, 6^e espace intercostal sur la ligne mid-axillaire et 8^e espace intercostal sur la ligne axillaire postérieure). Dans le cas d'un pneumothorax de petite taille, le glissement pleural à l'échographie pulmonaire serait absent des 2^e et 4^e espaces intercostaux, mais présent aux 6^e et 8^e. Dans le cas d'un pneumothorax de taille moyenne, le glissement pleural serait absent aux 2^e, 4^e et 6^e espaces intercostaux, mais présent au 8^e. Dans le cas d'un pneumothorax de grande taille, le glissement pleural serait absent à tous les espaces intercostaux étudiés par ce protocole. La comparaison de l'évaluation de la taille du pneumothorax par l'échographie par rapport à celle de la tomодensitométrie thoracique, obtint une valeur ρ de 0,82 à la corrélation de Spearman et un kappa de 0,79 (IC 95% : 0,6-1,0).

La deuxième technique de quantification utilisée et celle qui semble la plus prometteuse repose sur l'identification du point de transition pulmonaire et sa position sur le thorax par rapport à la ligne mid-axillaire. Les 3 études sur le sujet utilisaient la tomodensitométrie thoracique comme étalon d'or. Soldati *et al.* publièrent une étude sur 186 patients ayant subi un trauma contondant au niveau thoracique²⁸. Les tailles ne furent comparées que pour les pneumothorax caractérisés comme antérieurs selon la définition de Wolfman *et al.*⁴⁰. Cette définition décrit un pneumothorax comme antérieur s'il ne dépasse pas la ligne mid-coronale à la tomodensitométrie (correspond à la ligne mid-axillaire comme point de repère à la peau du patient), divisant le thorax en partie antérieure et postérieure. Cette limite à la tomodensitométrie est cliniquement importante puisqu'elle identifie quels pneumothorax peuvent être traités de façon conservatrice sans procéder à l'installation d'un drain thoracique, à la condition que le patient ne requière pas de ventilation à pression positive ou de transport inter-hospitalier³⁷. Dans le cas de l'étude décrite ici, la position du point de transition pulmonaire évalué à l'échographie variait de 1 à 5 cm par rapport à la limite du pneumothorax déterminée par la tomodensitométrie thoracique. Une deuxième étude du même groupe analysait le thorax en 3 différents secteurs, définis comme haut, moyen et bas³⁰. Chaque secteur consistait en deux espaces intercostaux, soient les 2^e et 3^e pour le secteur haut, les 4^e et 5^e pour le secteur moyen et les 6^e et 7^e pour le secteur bas. La position du point de transition pulmonaire était marquée d'un trait de crayon sur la peau du patient dans chaque secteur, permettant de délimiter l'étendue du pneumothorax. L'échographie a été en mesure d'identifier correctement l'étendue de tous les pneumothorax par rapport à la ligne mid-coronale. En ce qui a trait à la précision de la position de chaque point de transition pulmonaire selon les secteurs, les différences mesurées par rapport à la tomodensitométrie thoracique étaient de 2,4 cm +/- 0,68 cm pour le secteur haut, 1,6 cm +/- 0,87 cm pour le secteur moyen et 1,9 cm +/- 1,01 cm pour le secteur bas. Le déplacement du point de transition pulmonaire selon le moment du cycle respiratoire pourrait en partie, selon les auteurs, expliquer ces variations. Zhang *et al.* rapportèrent des résultats similaires³². La taille du pneumothorax fut désignée petite (moins de 30%), moyenne (de 30% à 70%) ou grande (plus de 70%), selon que la position

du point de transition pulmonaire se situait au niveau du thorax antérieur, latéral ou postérieur. L'échographie pulmonaire se mesura de façon adéquate à la tomодensitométrie thoracique quant à l'évaluation de la taille d'un pneumothorax avec un score de kappa de 0,669.

Le diagnostic et l'évaluation de la taille d'un pneumothorax sont facilement exécutés à l'aide de l'échographie pulmonaire. Cet examen a aussi l'avantage d'être très rapide, un avantage certain face aux autres modalités diagnostiques, comme nous le verrons dans la section suivante.

2.4.4 Durée et délai de l'échographie pulmonaire dans le diagnostic d'un pneumothorax

Le pneumothorax est une pathologie qui peut être rapidement mortelle, d'où l'importance d'une identification rapide. La radiographie pulmonaire et la tomodensitométrie thoracique peuvent induire des délais significatifs, ce qui n'est pas le cas de l'échographie pulmonaire, rapidement disponible au chevet du patient malade. Aucune étude n'a spécifiquement étudié le sujet, mais 2 ont rapporté la durée de l'examen échographique exécuté dans leur protocole de recherche.

Dans l'étude de Lichtenstein *et al.*, concernant une population de patients de soins intensifs, l'examen des deux hémithorax durait en moyenne 5 minutes, mais le diagnostic d'un pneumothorax se faisait toujours à l'intérieur de la première minute de l'examen¹⁶. Les détails plus précis quant au temps complet de l'examen ne sont cependant pas rapportés. Zhang *et al.* ont rapporté que le temps moyen entre l'arrivée du patient au département d'urgence et le début de l'examen échographique était de 2,3 +/- 2,9 minutes, ce qui était nettement plus rapide que l'obtention d'une radiographie pulmonaire qui prenait en moyenne 19,9 +/- 10,3 minutes³². Cette différence, statistiquement significative ($p < 0,001$), correspond à un avantage clinique majeur dans la prise en charge des patients. Les délais étaient encore plus grands pour la tomodensitométrie thoracique, soient 16,3 +/- 7,8 minutes. Encore une fois, cette différence était cliniquement et statistiquement significative ($p < 0,001$). Il est à noter que le délai calculé pour la tomodensitométrie thoracique ne comptait que les temps de transport, d'examen et d'obtention du résultat. Si le délai entre la demande de l'examen et le résultat disponible avait été pris en compte, la différence aurait été encore plus grande.

2.4.5 Protocole de diagnostic d'un pneumothorax à l'échographie pulmonaire

Tel que discuté précédemment, plusieurs études ont démontré l'efficacité et la précision de l'échographie pulmonaire dans le diagnostic du pneumothorax. Plusieurs signes échographiques sont utilisés dans l'identification de cette pathologie. Un protocole adéquat de diagnostic d'un pneumothorax à l'échographie pulmonaire repose sur la combinaison des différents signes décrits menant à la plus grande spécificité possible. Le glissement pleural, les lignes A, les lignes B et le point de transition pulmonaire ont chacun leur sensibilité et leur spécificité propre, mais c'est la combinaison de ces différents signes qui est la plus spécifique dans le diagnostic d'un pneumothorax. Il est important d'exclure un diagnostic faussement positif de pneumothorax avant de procéder à l'installation d'un drain thoracique, d'où l'importance d'avoir un protocole qui sera hautement spécifique.

Le glissement pleural fut le premier signe décrit dans la littérature, mais le diagnostic de pneumothorax ne repose pas exclusivement sur ce signe échographique. Dans les cas de la disparition du glissement pleural, il importe de rechercher la présence de lignes B qui excluent la présence d'un pneumothorax complet²¹. Dans le cas de l'absence de ligne B, il importe de rechercher le point de transition pulmonaire qui permet de confirmer la présence d'un pneumothorax¹⁶.

La présence d'un glissement pleural ou la présence de lignes B a une sensibilité de 100% pour exclure un pneumothorax. La combinaison de la disparition du glissement pleural, la présence exclusive de lignes A, l'absence de ligne B et l'identification d'un point de transition pulmonaire possèdent une sensibilité de 79% et une spécificité de 100% pour le diagnostic d'un pneumothorax. La majorité des protocoles décrits dans la littérature reposent sur cette combinaison pour identifier la présence d'un pneumothorax^{16,41,42}. Dans

le cas de l'absence d'un point de transition pulmonaire, les auteurs suggèrent cependant de considérer une autre modalité diagnostique, bien qu'un pneumothorax complet avec séparation entière des deux plèvres sur toute la surface pulmonaire soit possible.

Un examen systématique de tout le thorax s'impose pour exclure complètement la présence d'un pneumothorax. En s'appuyant sur les méthodes des différentes études présentées, la technique suivante pourrait être utilisée. Une étude de tous les espaces intercostaux en partant du sternum jusqu'à la ligne axillaire postérieure permettrait une évaluation complète du thorax de patients traumatisés, tout en limitant les mouvements de la colonne vertébrale devant être immobilisée jusqu'à l'exclusion certaine de possibles fractures.

Un balayage complet de tous les espaces intercostaux peut cependant s'avérer long et fastidieux, particulièrement lors de l'évaluation de patients instables. L'approche préconisée dans l'étude de Blaivas *et al.* en 2005 pourrait alors être utilisée lorsque la rapidité de l'évaluation initiale est de mise²⁷. L'échographie pulmonaire était effectuée à 4 endroits sur chaque hémithorax, soit au 2^e espace intercostal sur la ligne mid-claviculaire, au 4^e espace intercostal sur la ligne axillaire antérieure, au 6^e espace intercostal sur la ligne mid-axillaire et au 8^e espace intercostal sur la ligne axillaire postérieure. L'évaluation du temps requis n'est pas décrite dans l'article cité, mais en calculant une observation de deux à trois cycles respiratoires par endroits étudiés sur chacun des deux hémithorax, un temps total de moins de 2 minutes pourrait être attribué à l'examen complet. Cet examen écourté aurait la possibilité d'exclure tous les pneumothorax de taille significative pouvant porter préjudice à l'hémodynamie du patient polytraumatisé (figure 17). Ceci dit, cet examen rapide n'a pas été validé dans une deuxième population par une étude formelle.

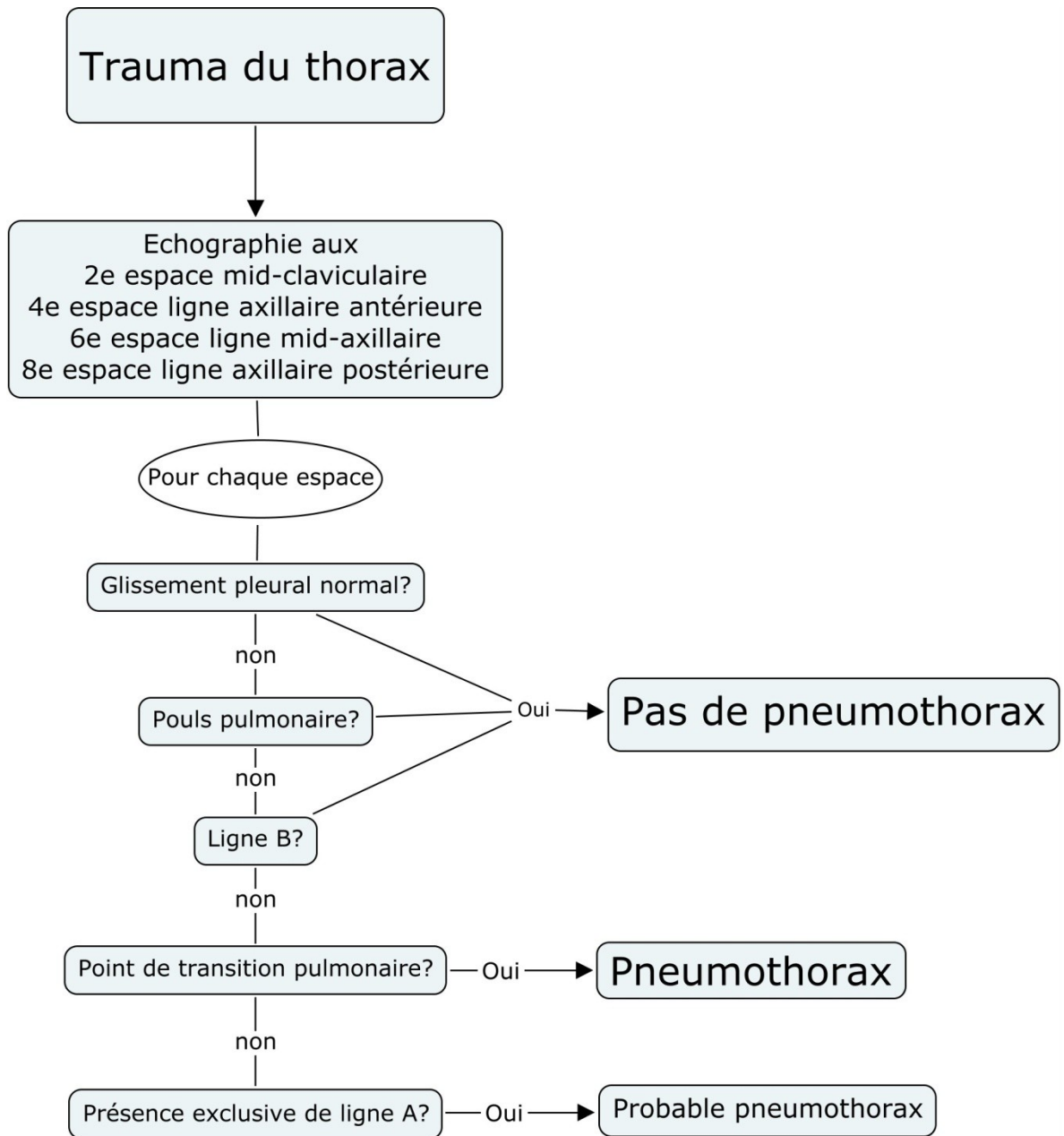


Figure 17 : Protocole rapide de diagnostic d'un pneumothorax

2.5 L'utilisation de l'échographie dans le diagnostic des pathologies du parenchyme pulmonaire

L'utilisation de l'échographie pulmonaire dans l'évaluation des patients de soins critiques a démontré son utilité dans le diagnostic des pneumothorax, mais elle avait déjà démontré auparavant son utilité dans le diagnostic des affections parenchymateuses pulmonaires. Déjà en 1992, Yu *et al.* publient une des premières descriptions de l'utilisation systématique de l'échographie pulmonaire dans l'évaluation des patients de soins intensifs⁴³. Leur étude décrit l'approche diagnostique permise par l'utilisation de l'échographie pulmonaire dans le cas de 41 patients trop instables pour être déplacés au département de radiologie diagnostique afin de procéder à une tomодensitométrie thoracique, et chez qui une radiographie pulmonaire en position couchée n'était pas assez spécifique. Les informations recueillies à l'aide de l'échographie chez ces patients ont permis de préciser le diagnostic et d'instituer plus rapidement un traitement. Parmi ces pathologies, des pneumonies, des épanchements pleuraux, des empyèmes et des tumeurs.

En 1997 Lichtenstein *et al.* publient une étude sur 250 patients admis dans une unité de soins intensifs²². Cette étude est la plus importante en termes de nombre de patients concernant les pathologies parenchymateuses pulmonaires. Aucun de ces patients n'avait de pneumothorax. Tous eurent une échographie pulmonaire, une radiographie pulmonaire et une tomодensitométrie thoracique. Les résultats indiquèrent que la présence de plus de 3 lignes B séparées de moins de 7 millimètres, dans le même espace intercostal, possède une sensibilité de 92,5% pour identifier une atteinte parenchymateuse localisée ou diffuse du poumon sous-jacent. De façon intéressante, les auteurs remarquèrent que peu importe l'intensité de l'œdème pulmonaire cardiogénique, la distribution et le nombre de lignes B restent les mêmes, soit une grande quantité de lignes B visibles sur toute la surface des

deux poumons. Lors d'une étude subséquente chez 32 patients atteints de SDRA, le même groupe a précisé, en comparant avec la tomodensitométrie, que la présence de lignes B séparées de 3 à 7 millimètres correspondait à la présence d'une pathologie pulmonaire interstitielle tandis qu'il s'agit d'une atteinte alvéolaire advenant une séparation de moins de 3 millimètres⁴⁴.

L'échographie pulmonaire a aussi démontré sa capacité d'identifier des consolidations du parenchyme pulmonaire⁴⁵. Deux échographistes ont procédé à l'échographie pulmonaire de 60 patients hospitalisés dans une unité de soins intensifs. Ces 60 patients ont aussi bénéficié d'une tomodensitométrie thoracique dans le décours de leur investigation. Le diagnostic échographique de consolidation parenchymateuse était établi advenant la présence de six critères prédéfinis, soient une lésion située au niveau thoracique, une lésion à départ de la ligne pleurale, une image réelle et non un amalgame d'artefacts, un aspect hépatisé de la lésion c'est-à-dire s'apparentant à l'aspect normal du tissu hépatique à l'échographie, une définition claire des marges anatomiques de la consolidation et une taille fixe de la lésion lors des variations respiratoires. Suivant ces critères précis, l'échographie pulmonaire a démontré une sensibilité de 90% et une spécificité de 98% dans le diagnostic de consolidations du parenchyme pulmonaire. L'accord inter-observateur, ou score de kappa, des deux échographistes s'élevait à 0,89.

Soldati *et al.* ont démontré en 2006 la capacité de l'échographie pulmonaire d'identifier la présence de contusion pulmonaire chez des patients ayant subi un traumatisme contondant du thorax⁴⁶. Ces contusions étaient identifiées par la présence de signes d'atteintes parenchymateuses interstitielles ou alvéolaires, telles que définies par la présence de multiples lignes B séparées de moins de 7 millimètres, mais où un contexte clinique d'œdème pulmonaire cardiogénique était exclu. Aussi, une contusion pouvait être identifiée comme une structure hypoéchogène, accolée à la ligne pleurale, de laquelle plusieurs lignes B s'élançaient. Tous les patients inclus dans cette étude ont bénéficié

d'une tomodensitométrie thoracique. Chez un patient avec une suspicion clinique de contusion pulmonaire, la présence de multiples lignes B obtint une sensibilité de 94,6% et une spécificité de 96%. Dans le même contexte clinique, la présence d'une lésion hypoéchogène, accolée à la ligne pleurale, associée à des lignes B à départ de cette lésion, possède une sensibilité de 18,6%, mais une spécificité de 100%. Les auteurs rehaussent l'importance du contexte clinique dans ce genre de situation puisque d'autres phénomènes inflammatoires ou infectieux peuvent présenter la même apparence échographique.

2.6 Protocole d'échographie dans le diagnostic des causes d'insuffisance respiratoire et dyspnée aigüe.

Lichtenstein *et al.* publient en 2008 une étude présentant un protocole d'évaluation des patients présentant une insuffisance respiratoire aigüe⁴¹. Le « Bedside Lung Ultrasound in Emergency », ou « BLUE Protocol », repose sur l'identification des multiples signes échographiques déjà décrits dans le diagnostic des pathologies pulmonaires, notamment le glissement pleural et les lignes B. Sur une période de 4 ans, 301 patients admis dans une unité de soins intensifs pour insuffisance respiratoire furent évalués par une échographie pulmonaire. Chaque hémithorax fut évalué en trois parties, soit la partie antérieure s'étendant des clavicules jusqu'au 6^e ou 7^e espace intercostal et du sternum jusqu'à la ligne axillaire antérieure, la partie latérale s'étendant de l'aisselle jusqu'au 6^e ou 7^e espace intercostal et de la ligne axillaire antérieure à la ligne axillaire postérieure, et la zone postérieure s'étendant de la limite supérieure de l'omoplate jusqu'au 6^e ou 7^e espace intercostal et de la ligne axillaire postérieure jusqu'au rebord latéral de l'omoplate. Le protocole comprenait aussi l'évaluation des veines profondes des membres inférieurs à la recherche de thromboses. La combinaison des différents signes observés fut corrélée au diagnostic final établi par l'équipe traitante. Les auteurs ont regroupé les différents signes selon leur présence et leur distribution sur la surface pulmonaire et sont parvenus à décrire

différents profils permettant un diagnostic adéquat de la cause d'insuffisance respiratoire aigüe dans 90,5% des cas.

Les auteurs ont décrit plusieurs combinaisons possibles (figure 18). La séquence de l'algorithme débute par la détermination de la présence ou l'absence du glissement pleural, puis l'identification du profil présent. Selon la voie de l'algorithme, la recherche d'une consolidation pulmonaire postérieure, d'une thrombose veineuse des membres inférieurs ou d'un point de transition pulmonaire peut aussi être requis. Le profil A correspond à un glissement pleural normal bilatéralement, une prédominance de lignes A sur la surface antérieure des deux poumons et la possibilité de quelques lignes B espacées de plus de 7 millimètres. Ce profil est associé aux diagnostics d'exacerbation de maladie pulmonaire obstructive chronique, d'embolie pulmonaire, d'asthme et de pneumonie postérieure. Le profil B correspond à la prédominance bilatérale de multiples lignes B espacées de moins de 7 millimètres et d'un glissement pleural normal. Le profil B est associé au diagnostic d'œdème pulmonaire et peut exclure presque entièrement les diagnostics de pneumothorax, d'asthme et d'embolie pulmonaire. Le profil AB, quant à lui, correspond à un mélange des profils A et B. Il est plutôt difficile à cerner et son application clinique n'est pas très évidente. Le profil B' correspond à la prédominance de lignes B sur un poumon avec abolition du glissement pleural. Il est associé à la présence d'une pneumonie. Le « Blue Protocol » est assez ardu en raison des multiples profils décrits. Si l'on se concentre d'abord sur l'exclusion d'un pneumothorax tel que décrit précédemment, puis sur l'évaluation de la présence de lignes B unilatérale ou bilatérale, on peut rapidement faire la part des choses entre une atteinte alvéolo-interstitielle bilatérale (œdème pulmonaire, SRDA, fibrose) ou unilatérale (pneumonie, contusion, autre consolidation). L'évaluation du patient dans son ensemble demeure une nécessité, l'échographie pulmonaire n'étant qu'une extension de l'examen clinique.

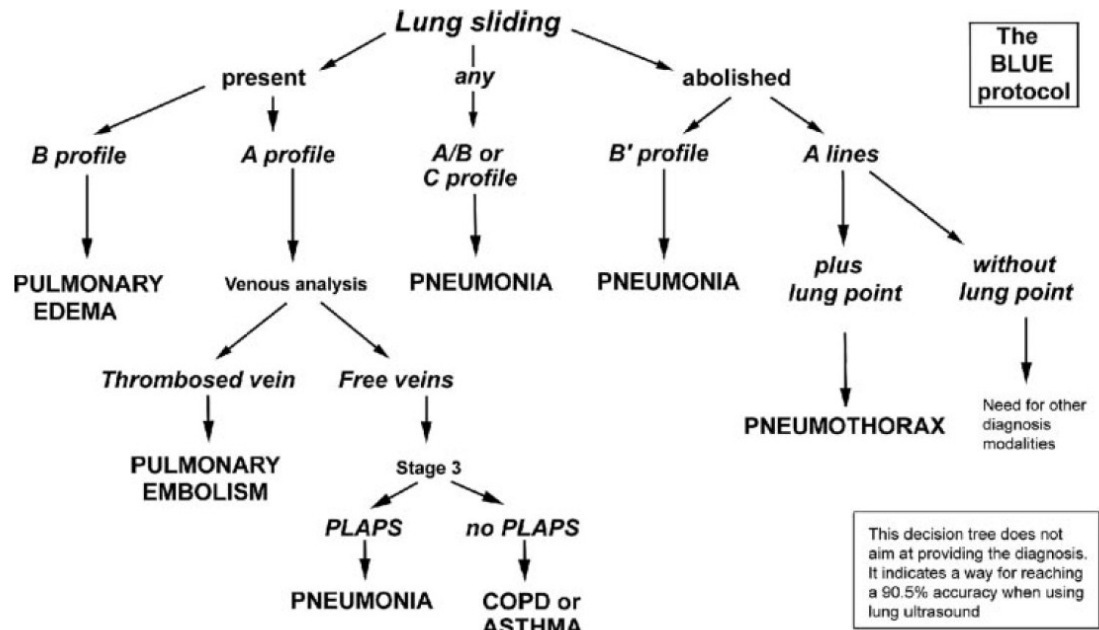


Figure 18 : le « Blue Protocol »

(tiré de Lichtenstein, D.A. and G.A. Meziere, *Relevance of Lung Ultrasound in the Diagnosis of Acute Respiratory Failure: The BLUE Protocol*. Chest, 2008. **134**(1): p. 123)

PLAPS : posterolateral alveolar and/or pleural syndrome

COPD : chronic obstructive pulmonary disease

Plus récemment, Zanobetti *et al.* publièrent une étude rapportant l'utilisation de l'échographie pulmonaire dans le but de différencier les possibles causes de dyspnées aiguës chez des patients se présentant au département d'urgence⁴⁷. Dans le cas de discordances entre le diagnostic établi par l'échographie pulmonaire et la radiographie pulmonaire, une tomodensitométrie thoracique était effectuée. L'échographie pulmonaire décrivait quatre éléments spécifiques, soient la présence ou l'absence d'un glissement pleural, la présence de lignes A, la présence et la concentration de lignes B, et la présence ou l'absence de consolidation pulmonaire identifiée comme l'hépatisation du parenchyme. Plus de 400 patients furent recrutés. L'accord inter-observateur entre l'échographie pulmonaire et la radiographie pulmonaire obtinrent des scores de kappa de 0,95 pour le

diagnostic d'œdème pulmonaire, 0,87 pour le diagnostic de fibrose pulmonaire, 0,76 pour le diagnostic d'épanchement pleural et 0,7 pour le diagnostic de consolidation pulmonaire. Dans les cas discordants, la tomodensitométrie thoracique confirma le diagnostic établi par l'échographie pulmonaire dans 63% des cas. De façon intéressante, lorsque l'échographie pulmonaire était normale, la radiographie pulmonaire était normale dans 90% des cas. Tel que le mentionnent les auteurs, la majorité des radiographies pulmonaires pourraient donc être évitées chez les patients dont l'échographie pulmonaire serait normale, diminuant de façon considérable le nombre de ces examens.

2.7 Apprentissage de l'utilisation de l'échographie pulmonaire dans le diagnostic des pathologies pleurales et pulmonaires

L'échographie pulmonaire, comme nous l'avons mentionné déjà à de multiples reprises, prend de plus en plus de place dans la prise en charge des patients de soins critiques. Sa disponibilité grandissante en fait un outil facile d'accès. Cependant peu d'organismes ont légiféré sur le niveau de formation nécessaire afin de devenir compétent dans son application. Bien qu'il faudra éventuellement déterminer le niveau de formation nécessaire afin d'être indépendant en terme d'utilisation de l'échographie pulmonaire, sa force diagnostique, sa rapidité d'accès et son avantage par rapport à la radiographie pulmonaire et la tomodensitométrie thoracique font en sorte que son utilisation va se répandre comme une trainée de poudre. Son utilisation n'est certainement pas réservée aux cliniciens d'expérience, d'où l'importance d'évaluer la capacité de gens non formés à s'en servir. Seulement 2 études ont étudié l'apprentissage et la rétention des facultés nécessaires à l'utilisation de l'échographie pulmonaire dans le diagnostic des pathologies pleurales et pulmonaires.

En 2009, le groupe de Noble *et al.* a publié une étude sur l'évaluation d'un module d'enseignement présenté à 27 médecins du Service d'Aide Médicale Urgente (SAMU) de Paris⁴⁸. 25 des 27 médecins évalués ne possédaient aucune expérience en échographie pulmonaire. Dans un premier temps, 50 séquences échographiques de 5 secondes, représentant des échographies pulmonaires, étaient présentées. Les participants devaient identifier les séquences représentant un poumon normal, un œdème pulmonaire ou un pneumothorax. Suite à cette première évaluation, tous les participants assistaient à un cours d'une heure sur le diagnostic de pneumothorax à l'aide de l'échographie pulmonaire, puis à un deuxième cours d'une heure sur le diagnostic d'œdème pulmonaire à l'aide de l'échographie pulmonaire. Seule l'identification de la présence ou de l'absence de

glissement pleural et de ligne B était enseignée. Suite aux deux cours théoriques, les mêmes 50 séquences vidéo étaient représentées. Pour le pré-test, la moyenne de réponses adéquates pour l'identification d'un pneumothorax était de 10,3/25 ou 41,2%. La moyenne de réponses adéquates pour l'identification d'œdème pulmonaire était de 14,1/25 ou 56,4%. En post-test, la moyenne de réponses adéquates pour l'identification d'un pneumothorax était de 20,1/25 ou 80,4% et pour l'identification d'œdème pulmonaire de 20,9/25 ou 83,6%. Les auteurs n'ont pas évalué à une date ultérieure la rétention des notions acquises.

Comme nous l'avons vu, l'identification d'un glissement pleural dans une situation de transport par hélicoptère est très pertinente. Mais quel est sa précision? Une formation de 25 minutes sur l'identification du glissement pleural, de même que l'utilisation du « Power Doppler » et du Mode M, a été dispensée à 8 participants dans une étude de Lyon *et al.*⁴⁹. Ces 8 participants évaluaient la présence ou l'absence de glissement pleural à l'échographie pulmonaire sur la partie droite du thorax d'un cadavre humain réchauffé, qui avait été intubé et ventilé manuellement. Le même cadavre a été intubé 6 fois au total, soit dans la trachée, soit dans l'œsophage, selon un ordre aléatoire généré préalablement par ordinateur. Un total de 48 évaluations eut lieu. De ces 48 évaluations, 46 furent correctes, pour une sensibilité 96,9% (IC 95% : 89,6-99,1) et une spécificité de 93,8%. Neuf mois plus tard, 7 des 8 intervenants furent évalués une seconde fois. La formation préalablement donnée ne fut pas répétée. Cette fois-ci, le cadavre humain utilisé fut intubé 8 fois, pour un total de 56 examens. La sensibilité et la spécificité à ce moment se situèrent à 100% (IC 95% : 93,6-100). Cette étude est la première qui évalua la rétention des acquis dans le contexte d'une formation sur l'utilisation de l'échographie pulmonaire.

2.8 Utilisation de l'échographie pulmonaire dans la confirmation de l'intubation endotrachéale

L'intubation endotrachéale fait partie des gestes qui sont pratiqués tous les jours dans la majorité des hôpitaux, qu'il s'agisse en situation de réanimation, de stabilisation ou bien d'anesthésie élektive dans le cadre de chirurgie. L'intubation endotrachéale possède son lot de complications, particulièrement si elle est effectuée de façon inadéquate. Une des complications les plus redoutées est le mauvais positionnement du tube endotrachéal (TET), que ce soit en position oesophagienne ou endobronchique. Les lignes directrices en réanimation, l'ACLS par exemple, exigent l'utilisation de deux méthodes de confirmation de la position du tube endotrachéal après l'intubation endotrachéale.

2.8.1 Méthodes traditionnelles de vérification de la position du tube endotrachéal

Plusieurs méthodes de confirmation existent, telles la visualisation directe du passage du tube endotrachéal lors de l'intubation, l'auscultation de la cage thoracique, la visualisation de buée dans le tube endotrachéal, l'utilisation d'un détecteur colorimétrique de dioxyde de carbone (CO₂), l'utilisation d'un détecteur volumétrique de CO₂, l'utilisation d'un vérificateur de position oesophagienne (VPO) et la radiographie pulmonaire. Toutes les méthodes de vérification de la position du TET décrites comportent des risques de faux positifs et faux négatifs⁵⁰.

La visualisation directe du passage du TET lors de l'intubation est l'une des méthodes les plus utilisées. Cependant, il n'est pas toujours possible de s'y fier, particulièrement lors des intubations difficiles comme : un traumatisme, une variante

anatomique, une pathologie particulière des voies aériennes supérieures, la présence d'une tumeur, d'un corps étranger, de sécrétions bronchiques ou gastriques, ou de sang. La visualisation directe n'est valable qu'au moment du passage du TET, mais ne permet pas de confirmer sa position de façon continue. Il est possible que le TET se déplace suite à l'intubation et la fixation du tube. Cette incertitude et le manque de précision des différentes méthodes de confirmation de la position du TET sont les principales raisons de l'utilisation d'une seconde méthode de vérification. Une autre façon de visualiser directement la position du TET est l'utilisation de la fibre optique qui permet de voir précisément où est située l'extrémité distale du TET dans la trachée (en position trachéale ou endobronchique). Malheureusement, cet outil est rarement disponible dans la majorité des cas d'intubation endotrachéale. L'utilisation de plus en plus répandue du vidéo-laryngoscope (utilise une caméra à l'extrémité d'une lame de laryngoscopie) permet de visualiser le passage du TET au niveau des cordes vocales sur l'écran de l'appareil. Mais l'utilisation de ces méthodes de visualisation directe est limitée par la présence de sang, vomissure, sécrétions, etc⁵⁰.

L'auscultation de la cage thoracique permet de percevoir les bruits de ventilation pulmonaire dans le cas d'une intubation endotrachéale réussie. Lederman, dans son article de revue sur le sujet, décrit bien les différents aspects de cette méthode⁵¹. L'auscultation s'effectue généralement en 5 points sur le thorax, soient aux 2^e ou 3^e espaces intercostaux bilatéralement au niveau de la ligne mid-claviculaire, aux 3^e ou 4^e espaces intercostaux bilatéralement au niveau de la ligne mid-axillaire et au niveau de l'épigastre. L'auscultation au niveau de l'épigastre a pour utilité d'identifier une intubation oesophagienne, dans le cas où les bruits de ventilation pulmonaire au niveau des autres points sur la cage thoracique seraient absents. De plus, une asymétrie des bruits pulmonaires au niveau de la cage thoracique peut identifier une intubation endobronchique nécessitant le repositionnement du TET. Cependant, advenant une position oesophagienne du TET et la ventilation de l'estomac, la distension de celui-ci peut le déplacer vers la cage

thoracique et donner l'impression que les bruits de ventilation perçus au niveau du thorax proviennent des poumons, quand en fait ils proviennent de l'estomac. L'air passant dans l'œsophage peut aussi créer des bruits importants au niveau des parois latérales du thorax. De plus, si le patient respire encore, il est possible que la ventilation pulmonaire et les bruits perçus au niveau de la cage thoracique soient induits par cette respiration. Une pathologie pulmonaire unilatérale peut aussi créer une asymétrie à l'auscultation, pouvant faussement représenter une intubation endobronchique. Toutes ces raisons font de l'auscultation thoracique une méthode moins fiable de vérification de la position du TET lors de l'intubation endotrachéale.

La visualisation de buée dans le TET lors de la ventilation artificielle provient habituellement de l'air humide et chaud contenu dans les poumons. Cependant, advenant une intubation œsophagienne, de la buée peut aussi être présente lors de la ventilation surtout si l'estomac a été préalablement rempli d'air par une ventilation agressive. Dans le cas d'une position laryngée ou pharyngée du TET, l'air provenant des poumons passera dans le TET et pourra former de la buée à l'intérieur de celui-ci. Pour toutes ces raisons, la visualisation de la buée est une méthode peu fiable de confirmation de la position du TET⁵².

Le vérificateur de position œsophagienne, ou VPO, est un outil qui, comme son nom l'indique, met en évidence la position œsophagienne du TET. Le VPO le plus fréquemment utilisé a la forme d'une seringue de 60 millilitres avec un embout lui permettant d'être fixée à l'extrémité proximale du TET. Une fois fixée, on tente de retirer le piston de la seringue. Advenant la présence d'une résistance au retrait du piston, le TET est considéré en position œsophagienne. Cette résistance est créée par la muqueuse œsophagienne qui, sous l'effet de la succion engendrée par le retrait du piston de la seringue du VPO, vient bloquer l'extrémité distale du TET. Cette obstruction entraîne une résistance ne permettant pas de retirer le piston de la seringue à moins d'utiliser une force plus grande. Si le TET est en position trachéale, aucune résistance ne sera offerte au retrait

du piston de la seringue du VPO. Plusieurs situations peuvent cependant simuler une position oesophagienne du TET et engendrer un test positif. Ce sont pour la plupart des situations où une obstruction du TET se produit, par exemple la présence de sécrétions dans le TET, un corps étranger dans la trachée, une tumeur mobile occluant l'extrémité du TET, ou même un bronchospasme critique avec une diminution sévère de la taille des voies respiratoires et une grande résistance au passage de l'air. Des échecs du VPO ont aussi été décrits par Lang *et al.*⁵³ en 1996 chez une population de patient présentant une obésité morbide. La sensibilité du VPO dans une étude de Tanigawa *et al.* en 2001 était de 72,9%⁵⁴. Le VPO ne permet pas d'identifier la présence d'une intubation endobronchique. Due à toutes ces incertitudes, une méthode additionnelle de confirmation de la position du TET est nécessaire.

La radiographie pulmonaire est aussi une des formes les plus couramment utilisée de méthode de vérification de la position du TET. En situation d'urgence, elle a aussi le bénéfice d'être un outil diagnostique pour plusieurs pathologies pulmonaires ayant pu entraîner une insuffisance respiratoire aigüe. Elle permet de plus de déterminer la position exacte du TET et de déterminer si un repositionnement est nécessaire. Son défaut principal est le temps nécessaire pour l'acquisition de l'image radiographique. Ces délais sont souvent trop importants pour se fier uniquement à cette modalité. De plus, comme plusieurs examens radiologiques, la radiographie pulmonaire expose le patient à une petite quantité de radiation. La radiographie pulmonaire n'est pas infallible non plus. En effet, une étude de 1989 par Brunel *et al.* a démontré un taux de mauvaise interprétation de la position du TET de 14% à la radiographie pulmonaire⁵⁵.

Les méthodes les plus fiables de vérification de la position du TET reposent sur la mise en évidence du retour de CO₂ lors de la ventilation des poumons du patient. L'identification de la présence de CO₂ peut se faire à l'aide d'un détecteur colorimétrique ou d'un détecteur volumétrique. Dans un article de revue publié en 2001, Salem décrit bien

les différents aspects de ces méthodes⁵². Un détecteur colorimétrique de CO₂ est un appareil attaché à l'extrémité du TET, entre celui-ci et le ventilateur mécanique. Il est composé d'un filtre de papier sensible à la variation du pH. En présence d'un pH neutre le filtre est de couleur mauve tandis que lorsqu'il est exposé à un pH acide, il devient jaune. Dans le cas d'une position adéquate dans la trachée du TET lors de l'intubation, le retour de CO₂ lors de la ventilation crée un environnement acide à l'intérieur du détecteur par la combinaison de CO₂ et d'eau (H₂O) contenus dans l'air, créant de l'acide carbonique (H₂CO₃). L'acide carbonique induit un changement de couleur du filtre qui devient jaune. Lors d'un positionnement œsophagien du TET, l'absence de CO₂ expiré empêche le papier pH de changer de couleur et celui-ci demeure mauve. Dans le cas d'une obstruction du TET ou des voies respiratoires supérieures, par des sécrétions, du sang, un bronchospasme sévère, la quantité de CO₂ expiré pourrait ne pas être suffisante pour permettre le changement de pH du papier filtre au jaune, donnant l'impression que le TET est dans l'œsophage quand en fait il est bien positionné dans la trachée. Pour les patients en arrêt cardiaque prolongé, la baisse importante du débit cardiaque diminue la sécrétion pulmonaire de CO₂, créant aussi la possibilité d'un résultat faussement négatif. Advenant la contamination par une substance acide, telles les sécrétions gastriques, le filtre changera de couleur vers le jaune, comme s'il avait été en contact avec du CO₂. Ce résultat faussement positif peut être très problématique si la position du TET n'est pas confirmée par une méthode alternative.

Un autre avantage du capnographe est de permettre la quantification du CO₂ expiré. Cette méthode comporte les mêmes risques de faux positifs ou faux négatifs que le détecteur colorimétrique, en plus des problèmes techniques imputables à un appareil électronique. Le capnographe a l'avantage de tracer une courbe de la concentration du CO₂ expiré dans le temps. Théoriquement, le capnographe pourrait détecter la présence de CO₂ dans le cas d'une intubation œsophagienne, particulièrement si le patient avait été préalablement vigoureusement ventilé au ballon-masque. De plus, advenant la prise

récente d'une boisson gazeuse, du CO₂ pourrait être présent dans l'estomac. C'est pour ces raisons qu'il est recommandé d'effectuer au moins 5 ventilations avant de certifier, advenant la persistance d'une courbe normale de CO₂ expiré, que la position du TET est adéquate, c'est-à-dire en position endotrachéale. Le détecteur colorimétrique de CO₂ et le capnographe n'ont cependant pas la capacité d'identifier une intubation endobronchique. Une autre modalité de plus en plus utilisée pour la confirmation de la position adéquate du TET est l'échographie.

2.8.2 Utilisation de l'échographie pour vérifier la position du tube endotrachéal

L'échographie fait déjà partie de l'évaluation initiale de la majorité des patients qui se retrouvent en salle de réanimation. L'utilisation de l'échographie aux fins de vérification de la position du TET est un domaine en plein essor. Elle peut se faire soit au niveau des voies respiratoires supérieures ou inférieures. Ses avantages se retrouvent à la fois dans les populations pédiatriques et adultes.

Confirmation de l'intubation dans une population pédiatrique

Les premiers travaux furent effectués dans une population pédiatrique, probablement à cause de la grande échogénicité du corps des enfants. De plus, la nécessité d'éviter au tant que possible les radiations en pédiatrie est une bonne motivation à l'utilisation de l'échographie. Les méthodes utilisées en pédiatrie pour vérifier la position du TET consistent en la visualisation directe de celui-ci et la visualisation du mouvement diaphragmatique. Cinq études portent sur le sujet.

En ce qui a trait à la visualisation directe du TET, les 2 premières études ont eu lieu dans des unités de néonatalogie et la 3^e dans une unité de soins intensifs pédiatrique. Slovis *et al.* évaluèrent la possibilité d'identifier l'extrémité distale du TET à travers une vue sagittale parasternale⁵⁶. Par un léger mouvement de va-et-vient du TET, ils identifiaient sa position endotrachéale. Ils calculèrent ensuite la distance entre le TET et la crosse aortique et corrélèrent la valeur obtenue avec la position identifiée du TET sur une radiographie pulmonaire, obtenant des résultats forts intéressants. La valeur du coefficient de corrélation r était 0,80 ce qui était statistiquement significatif ($p < 0,0005$). La deuxième étude est celle de Lingle⁵⁷. Cet article rapporte de plus la première utilisation d'une interface gélatineuse apposée sur le cou, appelée « Stand-off Pad », permettant d'améliorer la qualité des images en augmentant le niveau de contact de la sonde échographique avec le corps de l'enfant. Une petite languette de papier d'aluminium était aussi collée sur le manubrium sternal des patients, engendrant un artefact de soustraction au niveau de celui-ci. Une vue échographique longitudinale permettait de calculer la distance entre l'extrémité du TET, le manubrium sternal et la crosse aortique. Une radiographie pulmonaire était utilisée aux fins de comparaisons. Les résultats obtenus ne furent cependant pas aussi convaincants. En effet, le manubrium sternal générait trop de variation pour l'évaluation de la distance du TET qui en plus était souvent confondu avec un tube nasogastrique placé dans l'œsophage. Dans un même ordre d'idée, Galiciano *et al.* utilisèrent des vues transverses et longitudinales au niveau de la membrane cricothyroïdienne chez des enfants intubés de 1 à 17 ans⁵⁸. Leur but était de visualiser directement le TET à l'aide de l'échographie. Comparant leurs observations à une valeur du capnographe et à une radiographie pulmonaire, ils démontrèrent une sensibilité et une spécificité de 100% de l'échographie afin de prouver la position intratrachéale du TET.

Dans un autre ordre d'idée, 2 études ont évalué la visualisation du mouvement diaphragmatique. Hsieh *et al.* évaluèrent une technique utilisant à la fois des images 2D et le Mode M⁵⁹. La visualisation du mouvement diaphragmatique permettait de confirmer la

position endotrachéale du TET puisque les patients étaient ventilés artificiellement. Ils furent en mesure de confirmer 59 intubations endotrachéales, et d'identifier 8 cas d'intubation endobronchique droite. Kerrey *et al.* ont reproduit cette technique chez 127 enfants⁶⁰. De plus, dans le cas d'un mouvement diaphragmatique unilatéral, une intubation endobronchique était suspectée. La sensibilité de l'échographie était de 91% dans la confirmation de la position trachéale du TET. Pour ce qui est de l'intubation endobronchique cependant, la spécificité de l'échographie n'était que de 50%. Il n'y eut aucune intubation oesophagienne de rapportée dans cette étude. De façon intéressante, parmi les échographistes se trouvaient des inhalothérapeutes qui ont obtenu de meilleurs résultats que les médecins impliqués.

La technique du mouvement diaphragmatique présente une limitation importante. En effet, elle ne demeure précise qu'en autant que le patient soit curarisé ou en apnée complète. En effet, tout effort de respiration du patient, peu importe la position du TET, engendrera des mouvements au niveau du diaphragme.

Confirmation de l'intubation dans une population adulte

Comme dans les études pédiatriques, plusieurs méthodes de vérification de la position du TET par l'échographie ont été rapportées chez l'adulte. Encore une fois, ces méthodes se séparent selon qu'elles sont exécutées au niveau des voies respiratoires supérieures ou inférieures. La visualisation directe du TET au niveau des voies respiratoires supérieures a été évaluée par 4 études. Les méthodes des voies respiratoires inférieures par l'observation du glissement pleural ou diaphragmatique ont été évaluées par 3 études.

En ce qui a trait à la visualisation du TET au niveau des voies respiratoires supérieures, Raphael *et al.*, en 1987, effectuèrent les premiers travaux⁶¹. Ils comparèrent

l'utilisation du tube endotrachéal Foam-Cuf (Bivona Surgical, Inc.) et l'injection de salin dans le ballonnet du TET afin de faciliter sa visualisation à l'échographie. Utilisant de plus un « stand-off pad » et induisant un léger mouvement de va-et-vient au TET, ils furent en mesure d'identifier aisément la position intratrachéale du TET, dans 100% des cas en vue longitudinale et plus de 80% des cas en position transverse. Drescher *et al.* furent les premiers à décrire les signes échographiques accompagnant une intubation oesophagienne, par voie de visualisation directe de l'œsophage⁶². Ils décrivent, dans le cadre de cette petite série de cas d'intubation chez des cadavres, le « Comet Sign », que j'ai traduit par « signe de la comète », qui est différent des queues de comètes apparentés à la ligne pleurale ou à la ligne B (figure 19). Il s'agit d'un artéfact à départ du TET. En 2007, Werner *et al.* publièrent une étude pilote démontrant l'applicabilité de ces observations⁶³. Chez un groupe d'adultes subissant une chirurgie électorive, l'échographie, imageant en position transverse la trachée au niveau de la fourchette sternale, identifia avec une sensibilité et une spécificité de 100%, toutes les intubations endotrachéales et oesophagiennes. La même année, Milling *et al.* obtinrent des résultats similaires, chez une population adulte subissant une chirurgie électorive, positionnant leur sonde échographique en position transverse au niveau de la membrane cricothyroïdienne⁶⁴. Toujours au niveau des voies respiratoires supérieures, Ma *et al.* utilisèrent une technique légèrement différente⁶⁵. La sonde échographique était positionnée en position longitudinale au niveau du larynx, et un mouvement de va-et-vient était appliqué ou non au TET. Dans les cas où l'on agitait le TET, 35/35 des intubations endotrachéales, et 34/35 (sensibilité 97,1% et spécificité 100%) des intubations oesophagiennes ont été identifiées. Dans les cas d'imagerie statique, seulement 32/35 des intubations endotrachéales et 18/35 des intubations oesophagiennes furent identifiées correctement pour une sensibilité de 51,4% et une spécificité de 91,4%.

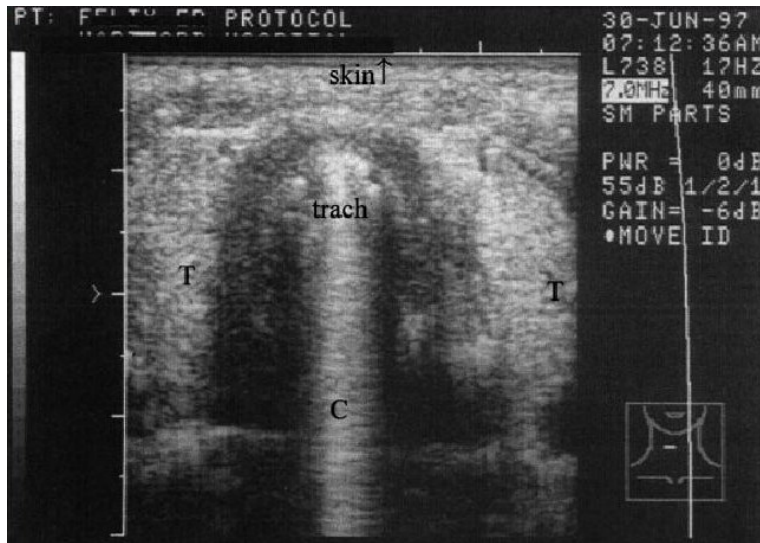


Figure 19 : Artéfact du signe de la comète à départ d'un TET

(Tiré de Drescher, M.J., F.U. Conard, and N.E. Schamban, *Identification and description of esophageal intubation using ultrasound*. Acad. Emerg. Med., 2000. 7(6): p. 723).

En ce qui a trait à la méthode de vérification du TET en utilisant l'échographie pulmonaire au niveau des voies respiratoires inférieures, Chun *et al.*⁶⁶ démontrèrent pour la première fois en 2004, dans un cadre préhospitalier, la possibilité d'imager le glissement pleural, démontrant ainsi la ventilation pulmonaire et donc la position adéquate du TET. Weaver *et al.* publièrent une étude sur un modèle cadavérique⁶⁷. Deux échographistes exécutèrent 68 examens, et présentèrent des sensibilités et spécificités près de 100% pour différencier une intubation oesophagienne d'endotrachéale grâce à la présence ou l'absence du glissement pleural. Leur kappa était à 0,94. Blavais *et al.* présentèrent une série de cas d'intubation endobronchique où la combinaison de la visualisation du glissement pleural, du mouvement diaphragmatique de même que le pouls pulmonaire a permis d'identifier rapidement le mauvais positionnement du TET⁶⁸.

Une seule étude a utilisé l'échographie en combinaison au niveau des voies respiratoires supérieures et inférieures. En 2009, Park *et al.* publièrent leurs observations sur un groupe de 30 patients polytraumatisés⁶⁹. En associant la visualisation directe du TET au travers de la membrane cricothyroïdienne et l'identification du glissement pleural, la sensibilité de l'échographie atteint 100%.

Comme toutes les techniques de vérification de la position du TET, l'échographie présente certaines limitations. La plupart des études utilisaient une visualisation du TET au niveau des voies respiratoires supérieures, ce qui est souvent difficile, particulièrement dans les cas de patients polytraumatisés où un collet cervical est en place. De plus, les techniques dynamiques nécessitent une visualisation durant l'intubation, ce qui limite l'utilisation de techniques facilitant l'intubation, comme par exemple la mobilisation du larynx. Certains patients sont obèses, diminuant la qualité des images échographiques. Au niveau des voies respiratoires inférieures, il faut garder en tête que le patient doit être curarisé ou en apnée. En effet, tout effort respiratoire induira un mouvement au niveau du diaphragme et possiblement un glissement pleural, même si le TET est dans l'œsophage. L'obésité, les pathologies pleurales ou pulmonaires sont aussi des facteurs qui peuvent diminuer l'efficacité de l'échographie pulmonaire pour vérifier la position du TET. Une combinaison de méthodes impliquant les voies respiratoires supérieures et inférieures est la meilleure approche à préconiser, comme rapporté dans l'étude de Park *et al*⁶⁹. Toutes ces limitations sont particulièrement vraies dans la population adulte. En pédiatrie, l'échogénicité générale de tout le corps est plus grande, rendant très utile l'échographie.

Nous avons démontré l'utilisation de l'échographie pulmonaire comme méthode de vérification de la position d'un TET au niveau des voies respiratoires supérieures et inférieures, de même que les limitations de chaque méthode. La majorité de ces études rapportaient les observations de cliniciens empreints d'une vaste expérience dans l'utilisation de l'échographie pulmonaire et ces cliniciens utilisaient souvent des examens

d'une durée prolongée qui n'est pas réaliste en situation d'urgence. Afin de déterminer l'efficacité de l'échographie comme méthode de confirmation de l'intubation endotrachéale dans les milieux cliniques, nous avons planifié une étude évaluant l'aptitude d'une population de cliniciens de formation académique et échographique hétérogène à utiliser le glissement pleural (sans l'utilisation de la visualisation au niveau du cou) pour confirmer la position du TET. Notre question de recherche consiste en la détermination de la fiabilité de l'utilisation du glissement pulmonaire dans la détection de la présence ou l'absence d'une ventilation chez un patient sous anesthésie générale.

Article principal

Title: ACCURACY OF LUNG SLIDING AS AN ADJUNCT IN ENDOTRACHEAL INTUBATION MANAGEMENT.

Authors: Eric Piette¹, Raoul Daoust², Jean Lambert³, André Denault⁴

1 Department of Emergency Medicine, Hôpital du Sacré-Coeur de Montréal, Université de Montréal.

2 Professor, Department of family and emergency medicine, Université de Montréal.

3 Professor, Department of Preventive and Social Medicine, Université de Montréal.

4 Associate professor Department of Anaesthesiology, Montreal Heart Institute, Université de Montréal

Author's contribution:

Eric Piette: Designed research, performed research, analysed data and wrote the paper.

Raoul Daoust: Designed research, supervised research and corrected the paper.

Jean Lambert: Supervised the statistical analyses.

André Denault: Designed research, supervised research and corrected the paper.

Main research center: Montreal Heart Institute, Université de Montréal

Corresponding author and reprints:

Dr Eric Piette, MD, FRCPC

No conflict of interest to declare, no funding.

To be submitted

Abstract

Context: The field of targeted bedside ultrasound in critical care and emergency medicine is in constant expansion. Studies to confirm endotracheal intubations using ultrasound were done by sonographers with extensive ultrasound training using sometimes lengthy exam.

Objective: To estimate the capacity of a heterogeneous group of physicians, with different levels of ultrasound training, to correctly identify lung sliding on random sequences of recorded thoracic ultrasound.

Methods: 320 short ultrasound sequences (4 to 7 seconds) of present and absent lung sliding recorded in the operating room were randomly presented to 2 groups of physicians for a total of 24,000 sequences. Descriptive data, mean accuracy of each participant, as well as the rate of correct answers for each of the 280 sequences was measured and compared for different subgroups. Only the participants in the second group were instructed that they could abstain from answering in uncertain cases.

Results: 75 physicians participated. Mean accuracy was 67.5% (95%CI: 65.7-69.4) in the first group and 73.1% (95%CI: 70.7-75.5) in the second ($p<0.001$). When considering each sequence individually, median accuracy was 74.0% (IQR: 48.0-90.0) in the first group and 83.7% (IQR: 53.3-96.2) in the second ($p=0.006$). The rate of correct answer was higher for right hemithorax sequences ($p=0.001$). Sensitivity and specificity were 65.2% and 69.8% respectively in the first group and 60.4% and 85.8% in the second.

Conclusion: Accuracy in lung sliding identification is better when participants have the possibility to abstain themselves from answering in uncertain cases. It is better in the right

hemithorax, probably owing to the presence of the heart and *Lung pulse* in the left hemithorax. Considering our results, caution should be taken when using short ultrasound sequences for identifying lung sliding as a mean of confirming endotracheal intubation.

Introduction

Targeted ultrasound has taken a central role in the management of unstable patients. For example, the Focused Assessment with Sonography in Trauma (FAST) ^{1, 2} is almost systematically applied to trauma patients. The Rapid Ultrasound in Shock (RUSH) ³ examination and the Focused Cardiac Ultrasound Study (FOCUS) ⁴ are also good examples of the use of targeted ultrasound in the management of critically ill patients. Thoracic ultrasound has also taken part of the spotlight in the evaluation of the dyspnoeic patient with the Bedside Lung Ultrasound in Emergency (BLUE) ⁵ as well as in the Extended FAST (EFAST) protocol ⁶.

The Canadian Association of Emergency Physicians (CAEP) ⁷ and the American College of Emergency Physician (ACEP) ⁸ have both formally endorsed the use of bedside ultrasound by emergency physicians. Many international critical care associations have also followed similar steps ⁹. Targeted ultrasound training is now mandatory in all Canadian and American emergency medicine residency programs ¹⁰⁻¹².

The field of targeted bedside ultrasound is in constant expansion. One of the more recently evaluated modality of bedside ultrasound is its use in endotracheal intubation, mainly for confirming the position of the endotracheal tube. Earlier studies have used ultrasound in neonates to evaluate the distance between the tip of the endotracheal tube and the aortic arch or sternal manubrium ^{13, 14}. Others studied ultrasound visualization of diaphragmatic movement or direct visualization of the endotracheal tube in the trachea or the esophagus as confirmation of tracheal or mainstem intubation in either an adult or pediatric population, with a sensitivity and specificity up to 100% ¹⁵⁻²¹. Visualization of lung sliding, already used for indentifying pneumothorax, is another technique validated in a cadaveric model, in elective surgery patients ²²⁻²⁴ and in the prehospital care setting ²⁵ for verification of tracheal intubation.

Lung sliding visualisation may become a widespread tool for endotracheal intubation confirmation. However, most studies in the literature included sonographers with previous extensive ultrasound training using sometime lengthy examination; these conditions are not easily reproduced in emergency situation. We hypothesised that accuracy of targeted ultrasound to confirm endotracheal intubation using the presence or absence of the lung sliding would diminish in a heterogeneous group of physicians, with different levels of ultrasound training and using shorter exams.

Patients and methods

Study design

This is a prospective, blinded, observational study designed to estimate the accuracy of a heterogeneous group of physicians to identify the presence or absence of the ultrasound lung sliding in a short recorded sequence. This project was approved by the research and ethics committee of the Montreal Heart Institute. The ethics committee also allowed waived consent for the use of anonymized ultrasound images in this project.

Study setting and population

This study was conducted in the emergency department of an adult tertiary care academic hospital with an affiliated emergency medicine residency program with an annual census of approximately 65,000 patients.

Study protocol

To generate ultrasound sequences, all patients scheduled for surgery in the Montreal Heart Institute between January and December 2010 were eligible and there were no exclusion criteria. Information concerning sex, age, height and weight were recorded. Body mass

index (BMI) was calculated. All recruited patients underwent endotracheal intubation by the cardiac anaesthesiologist and were fully paralyzed with neuromuscular agents as routinely done. Endotracheal tube positioning was confirmed by direct visualisation, auscultation as well as end-tidal carbon dioxide (ETCO₂) readings. Ventilation at a rate of 8 breaths per minute was established. Once the endotracheal tube was secured, the thoracic ultrasound examination began using a linear high-frequency ultrasound probe (GE 10S, Vivid 7 imaging system, GE Healthcare, Amersham, Sweden). Ultrasound sequences consisted of a sagittal view of an intercostal space, with the pleural interface and lung sliding being visible between two ribs as recommended ²⁶. Complete respiratory cycles were recorded in 4 different thoracic locations: bilaterally on the midclavicular line in the second intercostal space, as well as bilaterally on the midaxillary in the fifth intercostal space. Images were stored on optic disks for later processing. Recorded ultrasound sequences were cut at the end of the patient's expiration, yielding sequences with and without lung sliding. A total of 35 patients provided 280 short sequences of 4 to 7 seconds. The 280 sequences were randomly distributed using a random list generator. The first 40 sequences on the list were selected to be repeated in order to evaluate intra-observer variability for a total of 320 sequences that were once again randomly distributed. There were 160 sequences where lung sliding was present and 160 sequences where it was absent. Sequences were combined in a continuous video film, each one preceded by a black screen indicating the number of the sequence (1 to 320) using Windows Movie Maker, version 6.0 ((c) 2007, Microsoft Corporation). The video lasted a total of 26 minutes.

On two separate journal club of the emergency department, all participants (attending, resident, medical student) were verbally informed of the main objective of this study. Verbal consent was obtained. An anonymous numbered questionnaire and answer sheet was distributed. A short video example of the presence or absence of lung sliding and *Lung pulse* artefact was shown. The questionnaire consisted of level of academic training, level of ultrasound training, knowledge of lung sliding and its use in the detection of

pneumothorax, or verification of endotracheal intubation and knowledge of the *Lung pulse* artefact. During live screening of the 320 short sequences video, each participant had to indicate on the predesigned answer sheet if there was presence or absence of lung sliding for each numbered sequence. Only participants of the second journal club were instructed not to answer if they were uncertain regarding presence or absence of lung sliding.

Data analysis and sample size

Descriptive statistics were performed on patients' characteristics as well as on participants' characteristics. Kolmogorov-Smirnov tests were executed to determine normality of the different continuous variables. Difference between subgroups were analysed with Student's *t*-test or ANOVA for normally distributed continuous values and the Mann-Whitney test for non normally distributed values. 95% confidence intervals were calculated when appropriate. Kappa values were calculated for intra and inter-observer agreement. Pearson's correlations were also measured when appropriate. Sensitivity and specificity were calculated considering each ultrasound sequence individually as well as grouped by patient and hemithorax as would be done in clinical practice.

Missing data in the answers from the first group were replaced by the "wrong" answer, assuming a worst case scenario. Since the second group was instructed not to answer if they were uncertain of the presence or absence of lung sliding, missing answers were analyzed as missing data and not modified to assume a worst case scenario.

We estimated that 160 sequences with lung sliding and 160 without lung sliding were necessary for a 0.95 sensitivity and specificity for correctly identifying the presence or absence of lung sliding with a unidirectional (lower value only) confidence level of 0.95 and a precision of 0.03. The results were compiled in a spreadsheet (Microsoft Excel,

Microsoft Office Suite 2007, Microsoft Corporation) and transferred in a statistical program (SPSS Statistics 17.0, Chicago, IL, USA) for further analysis.

Results

Patients' characteristics

There was a total of 35 patients, 29 males and 6 females. Mean age of the men and women were 66.3+/-13.1 years and 77.5+/-4.2 years respectively. Mean weight were 87+/-18 kg for the men and 56+/-12 kg for the women. Mean heights were 1.72+/-0.06 m for men and 1.54+/-0.04 m for women.

Group #1

The group of clinicians consisted of 42 participants (characteristics are detailed in table 1). Most were residents in either family medicine or emergency medicine. Forty participants (95%) had previous ultrasound training. Forty-one participants (98%) had previous knowledge of lung sliding, of which 33 used lung sliding identification in their clinical practice.

50 answers (0.4%) were missing out of the 11760 sequences. Participants' accuracy according to their level of training is shown in table 2. The overall accuracy of the 42 participants to correctly identify the presence or the absence of lung sliding was 67.5% (95%CI: 65.7-69.4). There was no difference in the performance of the residents or the attending physicians, nor between the subgroups of ultrasound training or use of sliding lung in clinical practice. The 2 participants who had no ultrasound training had a statistically lower accuracy (57.0%).

Participants' accuracy according to thoracic location of the recorded sequence and presence or absence of sliding lung is shown in table 3. Considering each sequence individually, the median value of correct answer was 74.0% with an interquartile range (IQR) of 48.0-90.0. The rate of good answer for the sequences recorded in the right region of the chest was higher than on the left. No difference was shown between sequences with presence or absence of lung sliding, as well as between sequences taken in the anterior or lateral positions. No correlation was established between the rate of good answer and the patients' BMI.

Using the 40 repeated sequences included in the test, intra-observer agreement was calculated for each of the 42 participants and showed a moderate agreement with a mean kappa value of 0.51. The inter-observer agreement was also evaluated taking into account the 320 sequences and showed a weak inter-observer agreement with a kappa value of 0.39. Sensitivity and specificity of the first group of assessing the presence or absence of lung sliding were 65.2% and 69.8% respectively.

Group #2

The second group of clinicians consisted of 33 participants (characteristics are detailed in table 1). Most were residents and there were also 2 medical students. Twenty-nine participants (88%) had previous ultrasound training. Twenty-nine (88%) participants had previous knowledge of lung sliding, of which 22 used lung sliding identification in their clinical practice (67%).

Owing to the possibility of not answering in the case of uncertainty, answers were missing 29.0% of the time, out of 9240 sequences. Participant's accuracy according to their level of training is shown in table 4. The overall accuracy of the 33 participants to correctly

identify the presence or the absence of lung sliding was 73.1% (95%CI: 70.7-75.5). As noted in group #1, there was no difference in the performance of the residents or the attending physicians, nor between the subgroups of ultrasound training or use of sliding lung in clinical practice. No correlation was shown between the rate of good answer and the patients' BMI.

Participant's accuracy according to thoracic location of the recorded sequence and presence or absence of sliding lung is shown in table 5. Considering each sequence individually, the median value of correct answer was 83.7% with an IQR of 53.5-96.2. As found in group #1, the rate of good answer for the sequences recorded in the right region of the chest was higher than on the left and no difference was shown between sequences taken in the anterior or lateral positions. However, contrary to group #1, there was a higher rate of good answer when considering sequences with absence of lung sliding. Sensitivity and specificity of the second group of assessing the presence or absence of lung sliding were 60.4% and 85.8% respectively.

Using the 40 repeated sequences, intra-observer agreement was calculated for each of the 33 participants and showed a good agreement with a mean kappa value of 0.74. The inter-observer agreement was impossible to calculate in the second test because too many answers were missing.

Mean participants' accuracy was significantly different with 67.5% in the first group and 73.1% in the second ($p < 0.001$). The same observation was made with the median accuracy for each of the 320 sequences, with 74.0% in the first test and 83.7% in the second ($p = 0.006$). Intra-observer agreement also showed a statistically significant difference, with a kappa score of 0.51 in the first group and 0.74 in the second ($p < 0.001$).

In order to more accurately represent a real clinical situation, we regrouped all the different sequences by patients and hemithorax. In clinical practice, endotracheal intubation would be confirmed if lung sliding was identified on at least one part of the hemithorax. On the other hand, oesophageal intubation would be confirmed only when all sequences of the same hemithorax lacked lung sliding. Overall, sensitivity would be 76.9% and specificity 50.3% when all the data were pooled per patient. Sensitivity to identify lung sliding would be 73.3% on the left hemithorax and 82.2% on the right. Specificity to confirm absent lung sliding would be 36.8% on the left hemithorax and 53.1% on the right.

Discussion

Our study evaluated the ability of a heterogeneous group of 75 clinicians with various expertises to correctly identify the presence or absence of lung sliding in 320 randomly ordered sequences of thoracic ultrasound of intubated patients. To our knowledge, this is the largest study in terms of clinicians' interpretation of off-line recorded images of sliding lung published so far.

The study by Noble *et al.*²⁷ involved 27 subjects using a thoracic ultrasound learning module for the detection of pneumothorax and pulmonary oedema. Every subject evaluated 50 thoracic ultrasound sequences. Evaluation was done before and after a 2 hours didactic lecture. They showed a significant difference in accuracy, results improving from 56.4% to 83.6% in the pulmonary oedema section and from 41.2% to 80.4% in the pneumothorax section. The study done by Lyon *et al.*²⁵ is the only one evaluating individuals without previous ultrasound training. Eight prehospital critical care providers, paramedics and nurses, were evaluated on their ability to identify lung sliding in 6 different cadaver intubations. They found that after a 25 minute lecture, the participants were able to correctly identify the presence or absence of lung sliding with a sensitivity of 96.9% and a specificity of 93.8%. Other studies evaluated either one or two participants with previous

ultrasound training in identifying lung sliding in numbers of intubations ranging from 13 to 68²²⁻²⁴. Our study differed from the previous ones by being the only one repeating sliding lung sequences and evaluating intra-observer agreement.

Our results show major differences with previous reports. In the first part of our study, when participants were forced to give an answer, mean participant's accuracy was only 67.5%. When they had the possibility to abstain themselves from answering, both mean and median accuracy were higher. Although the participants' training profile differed between the two groups, results were equivalent between subgroups. The level of training does not explain the difference between overall results in the first and second part of our study since every subgroup had better results. The major difference between the two tests was the possibility to abstain oneself from answering in the second part if the answer was not certain. A confident answer would surely be more accurate. Intra-observer agreement was statistically higher in the second part of the study, owing to the same conclusion.

In previous studies using lung sliding to identify the position of the endotracheal tube, sensitivities reported ranged between 95.4% and 100% and specificities around 100%^{23,24}. Sensitivity and specificity were 65.2% and 69.8% respectively in the first part of our study and 60.4% and 85.8% respectively in the second part. The sensitivity increased when all the sequences were analysed as in clinical practice but it became less specific. The heterogeneous ultrasound training is not responsible since results did not differ between the different subgroups. Results between residents and attendings did not differ either. Each one of the 320 sequence was short and presented only once, which is probably the culprit for the poor results in our study. Indeed, although other studies did not report the number of respiratory cycles that were analysed during the thoracic ultrasound, it is probable that it was more than one, allowing the sonographer to give a more confident and precise answer. In the study by Lyon *et al.*²⁵ on prehospital care provider evaluation of lung sliding, no time limit was issued.

Although accuracy, sensitivity and specificity were significantly lower than in other reported studies, identification of presence or absence of lung sliding was more accurate on the right part of the chest. There was the same number of left and right hemithorax ultrasound sequences, thus not biasing the overall accuracy results. The major anatomical difference between the left and right part of the chest is the underlying presence of the heart. As first reported by Lichtenstein *et al.*²⁸, the heartbeat can induce a lung sliding movement synchronized with the heart rhythm. This artefact is known as the lung pulse. Although it has never been reported, it is possible that the lung pulse can impede correct identification of lung sliding. Also, lung ultrasound on the left part of the chest often shows the heart in the ultrasound field. Misinterpreting the heart movement as lung sliding could also be a factor explaining our results. The heart himself can also impede visualisation of the visceral and pleural interface. This finding has not been reported so far.

Adequately confirming the position of the endotracheal tube during an endotracheal intubation is critical to ensure adequate patient management. Methods of verification must be precise and minimize the possibility of either false positive or false negative results. Auscultation has been shown to incorrectly identify right mainstem intubation in up to 70% of cases²⁹ and give the false impression of bilateral breath sounds in cases of oesophageal intubations³⁰. A study by Lichtenstein *et al.*³¹ showed lung ultrasound to be far more precise than auscultation in identifying different lung pathology. ETCO₂, the actual standard of care, also has its pitfalls in cases of cardiac arrests or low cardiac output as well as in cases of airway obstructions. Ultrasound is not dependent on carbon dioxide production. Compared to chest x-ray, chest ultrasound is more rapid, and can be repeated as needed, without having to consider exposure to ionizing radiations. The many different ways ultrasound can confirm the position of the endotracheal tube, either by direct visualisation in the trachea or the oesophagus¹⁵⁻¹⁹, by visualisation of the diaphragmatic movement^{20,21}, or by a combination of these techniques²⁴, makes it an ideal tool. Its many uses in the initial evaluation and stabilisation of critical patients also give to ultrasound a major advantage over other tools.

In a live clinical situation, the identification of lung sliding is usually done observing more than one respiratory cycle at more than one intercostal space of the hemithorax. Lung sliding is confirmed as long as identified on at least one intercostal space of the hemithorax. On the other hand, absent lung sliding is more difficult to confirm since it implies being sure sliding is absent on the entire lung surface. Our exploratory data analysis confirmed this hypothesis and showed our group of participants to be more sensitive to lung sliding identification when considered as in real clinical practice, rather than considering every ultrasound sequence individually. On the other hand, specificity is poorer. This finding supports lung sliding identification as an adequate way to confirm endotracheal intubation, but would not be accurate enough to identify oesophageal intubation.

Our study had several limitations. First of all, the ultrasound sequences were pre-recorded and thus did not permit the participants to adjust as wanted the different image parameters. Ultrasound is operator dependant and although gain and depth were optimized before recording, it is possible that sonographers would adapt these settings to their own liking, and thus improving their accuracy. Sequences were only shown once and included only one respiratory cycle. Also, they did not show different regions of the same hemithorax. Participants complained after the test that the time interval between the different ultrasound sequences was too short, not leaving them time enough to write their answers before the next sequence started. However in emergency airway management, time is critical and confirmation of intubation has to be done rapidly. Also, sequences with absence of lung sliding tended to be shorter and thus might have induced a bias if participants had noticed this trend. It is possible that certain participants were present during the two parts of our study and thus could have had better results in the second test. On the other hand, there was a 6 months period between the 2 tests and participants were unaware of the correct answers. Retention bias is thus improbable.

Conclusion

Correct identification of the presence or absence of lung sliding is lower on the left hemithorax possibly owing to the underlying heart, the smaller size of the left lung as well as the effect of the *Lung pulse* artefact. Accuracy was improved when participants had the possibility to abstain themselves from answering in uncertain cases or use more than one sequence over the same hemithorax. Considering these results, adequacy of intubation should not rely on lung sliding identification using short ultrasound sequence alone, particularly on the left side, although it can still be a useful complement alongside other gold standard already in use. Emphasis should be put on knowledge and identification of the *Lung pulse* artefact when teaching chest ultrasound curriculum.

Table 1: Participants' characteristics

	Group #1			Group #2			
	All	Residents	Physicians	All	Medical Students	Residents	Physicians
	N=42	N=24	N=18	N=33	N=2	N=18	N=13
Previous ultrasound training (%)	40 (95)	22 (92)	18 (100)	29 (88)	0 (100)	16 (89)	13 (100)
Ultrasound training (%)							
None	2(5)	2 (8)	0 (0)	4 (12)	2 (100)	2 (11)	0 (0)
FAST	29 (69)	17 (71)	12 (67)	24 (73)	0 (0)	16 (89)	8 (61)
FAST and FOCUS	10 (24)	4 (17)	6 (33)	4 (12)	0 (0)	0 (0)	4 (31)
Fellowship	1 (2)	1 (4)	0 (0)	1 (3)	0 (0)	0 (0)	1 (8)
Knowledge of lung sliding (%)	41 (98)	24 (100)	17 (94)	29 (88)	0 (0)	16 (89)	13 (100)
Knowledge of lung pulse (%)	9 (21)*	4 (17)	5 (18)	18 (55)*	0 (0)	12 (67)	6 (46)
Use of lung sliding in search of a pneumothorax (%)	32 (76)	20 (83)	12 (67)	22 (67)	0 (0)	13 (72)	9 (69)
Use of lung sliding to confirm endotracheal intubation (%)	5 (12)	2 (8)	3 (17)	3 (9)	0 (0)	1 (6)	2 (15)

*p<0.05 between group #1 and group #2

FAST: Focussed assessment with Sonography in trauma

FOCUS: Focused Cardiac Ultrasound Study

Table 2: Accuracy according to level of training in group #1

	Mean Accuracy (%)	95%CI	P value
Overall	67.5	65.7-69.4	-
Academic training			
Residents	68.4	65.8-71.0	0.302
Physicians	66.4	63.6-69.3	
Ultrasound training			
None	57.0	50.2-63.8	0.044
FAST	67.5	65.3-69.6	
FAST+FOCUS	69.7	65.7-73.6	
Fellowship	67.9	-	
Clinical use of lung sliding			
No	65.3	61.6-69.0	0.176
Yes	68.2	66.1-70.4	

FAST: Focussed assessment with Sonography in trauma

FOCUS: Focused Cardiac Ultrasound Study

Table 3: Accuracy according to thoracic region of recorded sequence and presence or absence of sliding lung in group #1

	Median Accuracy (%)	IQR (25 th -75 th percentiles)	p
All sequences	74.0	48.0-90.0	-
Hemithorax			
Right	80.0	57.0-95.0	<0.001
Left	67.0	43.0-83.0	
Anterior or lateral			
Anterior	72.5	45.8-88.0	0.172
Lateral	76.0	52.0-93.0	
Presence or absence of lung sliding			
Presence	74.0	43.0-90.00	0.710
Absence	75.0	55.0-88.0	

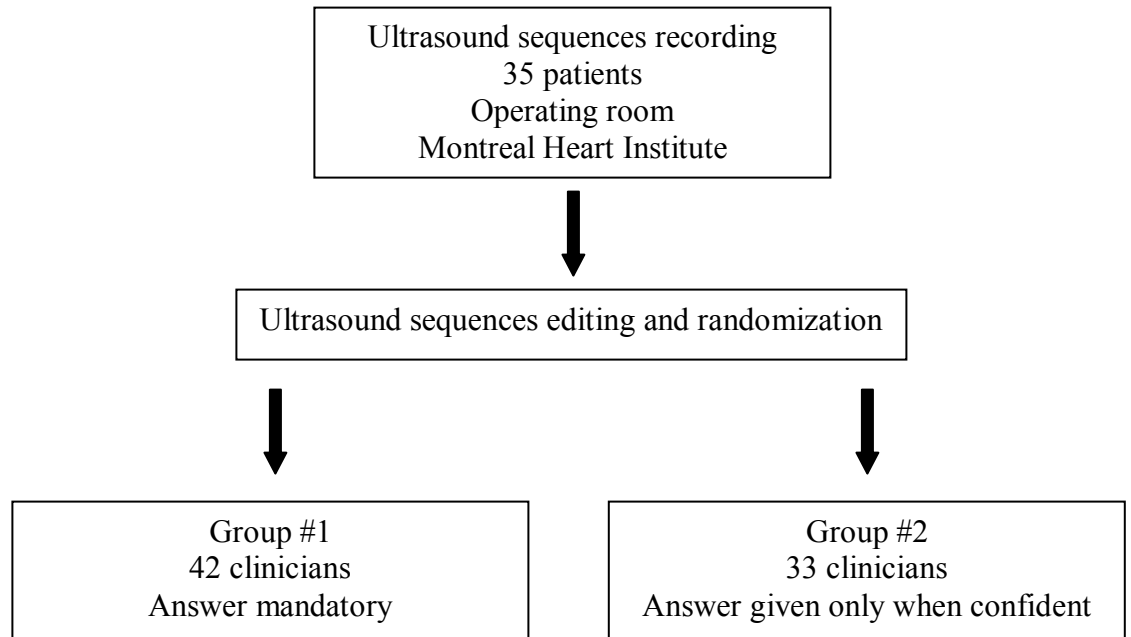
Table 4: Accuracy according to level of training in group #2

	Mean Accuracy (%)	95%CI	p
Overall	73.1	70.7-75.5	-
Academic training			
Medical Students	66.4	41.7-90.9	0.263
Residents	74.4	71.1-77.7	
Physicians	72.4	68.8-76.1	
Ultrasound training			
None	67.4	55.1-79.0	0.236
FAST	73.5	70.6-76.4	
FAST+FOCUS	74.5	68.9-80.0	
Fellowship	80.5	-	
Clinical use of lung sliding			
No	71.5	65.7-77.2	0.325
Yes	74.0	71.4-76.5	

Table 5: Accuracy according to thoracic region of recorded sequence and presence or absence of sliding lung in group #2

	Median Accuracy (%)	IQR (25 th -75 th percentiles)	p
All sequences	83.7	53.5-96.2	-
Hemithorax			
Right	88.7	63.1-96.9	0.001
Left	76.3	42.9-90.9	
Anterior or lateral			
Anterior	83.3	57.1-93.9	0.375
Lateral	84.3	50.7-97.0	
Presence or absence of lung sliding			
Presence	60.6	20.2-90.2	<0.001
Absence	89.6	79.2-100.0	

Figure 1: Study algorithm



Reference list

1. Ma, O.J., et al., *Prospective analysis of a rapid trauma ultrasound examination performed by emergency physicians*. J Trauma, 1995. **38**(6): p. 879-85.
2. Salen, P.N., S.W. Melanson, and M.B. Heller, *The focused abdominal sonography for trauma (FAST) examination: considerations and recommendations for training physicians in the use of a new clinical tool*. Acad Emerg Med, 2000. **7**(2): p. 162-8.
3. Perera, P., et al., *The RUSH exam: Rapid Ultrasound in SHock in the evaluation of the critically ill*. Emerg Med Clin North Am, 2010. **28**(1): p. 29-56, vii.
4. Beaulieu, Y., *Bedside echocardiography in the assessment of the critically ill*. Crit Care Med, 2007. **35**(5 Suppl): p. S235-49.
5. Lichtenstein, D.A. and G.A. Meziere, *Relevance of Lung Ultrasound in the Diagnosis of Acute Respiratory Failure: The BLUE Protocol*. Chest, 2008. **134**(1): p. 117-125.
6. Kirkpatrick, A.W., et al., *Hand-Held Thoracic Sonography for Detecting Post-Traumatic Pneumothoraces: The Extended Focused Assessment With Sonography For Trauma (EFAST)*. The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care, 2004. **57**(2): p. 288-295.
7. Socransky, S., *Emergency department targeted ultrasound: 2006 update*. CJEM, 2006. **8**(3): p. 170-4.
8. *Emergency ultrasound guidelines*. Ann Emerg Med, 2009. **53**(4): p. 550-70.
9. *International expert statement on training standards for critical care ultrasonography*. Intensive Care Med, 2011. **37**(7): p. 1077-83.
10. Canada, R.C.o.P.a.S.o., *Objectives of Training in Emergency Medicine*, 2011.
11. Heller, M.B., et al., *Residency training in emergency ultrasound: fulfilling the mandate*. Acad Emerg Med, 2002. **9**(8): p. 835-9.
12. Thomas, H.A., et al., *The 2005 Model of the Clinical Practice of Emergency Medicine: the 2007 update*. Acad Emerg Med, 2008. **15**(8): p. 776-9.
13. Slovis, T.L. and R.L. Poland, *Endotracheal tubes in neonates: sonographic positioning*. Radiology, 1986. **160**(1): p. 262-263.
14. Lingle, P.A., *Sonographic verification of endotracheal tube position in neonates: a modified technique*. J.Clin.Ultrasound, 1988. **16**(8): p. 605-609.
15. Drescher, M.J., F.U. Conard, and N.E. Schamban, *Identification and description of esophageal intubation using ultrasound*. Acad.Emerg.Med., 2000. **7**(6): p. 722-725.
16. Werner, S.L., et al., *Pilot study to evaluate the accuracy of ultrasonography in confirming endotracheal tube placement*. Ann.Emerg.Med., 2007. **49**(1): p. 75-80.
17. Milling, T.J., et al., *Transtracheal 2-d ultrasound for identification of esophageal intubation*. J.Emerg.Med., 2007. **32**(4): p. 409-414.
18. Ma, G., et al., *The sensitivity and specificity of transcricothyroid ultrasonography to confirm endotracheal tube placement in a cadaver model*. J.Emerg.Med., 2007. **32**(4): p. 405-407.

19. Galicinao, J., A.J. Bush, and S.A. Godambe, *Use of bedside ultrasonography for endotracheal tube placement in pediatric patients: a feasibility study*. *Pediatrics*, 2007. **120**(6): p. 1297-1303.
20. Hsieh, K.S., et al., *Secondary confirmation of endotracheal tube position by ultrasound image*. *Crit Care Med.*, 2004. **32**(9 Suppl): p. S374-S377.
21. Kerrey, B.T., et al., *A prospective comparison of diaphragmatic ultrasound and chest radiography to determine endotracheal tube position in a pediatric emergency department*. *Pediatrics*, 2009. **123**(6): p. e1039-e1044.
22. Chun, R., et al., *Where's the tube? Evaluation of hand-held ultrasound in confirming endotracheal tube placement*. *Prehosp Disaster Med*, 2004. **19**(4): p. 366-9.
23. Weaver, B., M. Lyon, and M. Blaivas, *Confirmation of endotracheal tube placement after intubation using the ultrasound sliding lung sign*. *Acad. Emerg. Med.*, 2006. **13**(3): p. 239-244.
24. Park, S.C., et al., *Confirmation of endotracheal intubation by combined ultrasonographic methods in the Emergency Department*. *Emerg. Med. Australas.*, 2009. **21**(4): p. 293-297.
25. Lyon, M., et al., *Ultrasound detection of the sliding lung sign by prehospital critical care providers*. *The American Journal of Emergency Medicine*, 2011.
26. Ueda, K., W. Ahmed, and A.F. Ross, *Intraoperative pneumothorax identified with transthoracic ultrasound*. *Anesthesiology*, 2011. **115**(3): p. 653-5.
27. Noble, V.E., et al., *Evaluation of a thoracic ultrasound training module for the detection of pneumothorax and pulmonary edema by prehospital physician care providers*. *BMC Medical Education*, 2009. **9**(1): p. 3.
28. Lichtenstein, D.A., et al., *The "Lung pulse": an early ultrasound sign of complete atelectasis*. *Intensive Care Medicine*, 2003. **29**(12): p. 2187-2192.
29. Brunel, W., et al., *Assessment of routine chest roentgenograms and the physical examination to confirm endotracheal tube position*. *Chest*, 1989. **96**(5): p. 1043-5.
30. Birmingham, P.K., F.W. Cheney, and R.J. Ward, *Esophageal intubation: a review of detection techniques*. *Anesth Analg*, 1986. **65**(8): p. 886-91.
31. Lichtenstein, D., et al., *Comparative diagnostic performances of auscultation, chest radiography, and lung ultrasonography in acute respiratory distress syndrome*. *Anesthesiology*, 2004. **100**(1): p. 9-15.

3. Discussion

L'échographie pulmonaire a pris une place prépondérante dans la médecine de soins critiques. Ses multiples applications tendent même à remplacer certaines méthodes diagnostiques traditionnelles. Que ce soit pour l'évaluation des patients en choc, des patients polytraumatisés, ou souffrant de pathologie pulmonaire (ex : le pneumothorax, l'épanchement pleural, la contusion pulmonaire ou l'œdème pulmonaire), l'échographie pulmonaire a démontré sa capacité d'être un outil simple, rapide et précis, mais surtout accessible à la communauté des médecins impliqués en soins critiques. Comme démontré dans les différentes études décrites précédemment, l'échographie pulmonaire s'est aussi trouvé un nouveau créneau, la confirmation de l'intubation endotrachéale.

Comme nous l'avons vu dans la section 2.8.2, plusieurs techniques échographiques permettent de confirmer l'intubation endotrachéale : la visualisation directe du TET dans la trachée ou l'œsophage, l'identification du mouvement diaphragmatique et l'identification du glissement pleural sont les techniques les plus couramment utilisées. La majorité des études effectuées décrivaient des intervenants ayant une expérience préalable en échographie pulmonaire. Advenant l'utilisation plus répandue de l'échographie pulmonaire en soins critiques, il est probable que tous les intervenants n'aient pas le même niveau d'expérience en échographie. Les curriculums varient énormément et peu d'associations ont statué quant au type de formation requis afin de se servir de l'échographie dans l'évaluation des patients instables. De plus, il est possible que plusieurs cliniciens utilisent déjà l'échographie sans avoir eu une formation formelle approuvée. Confirmer la position du TET lors d'une intubation endotrachéale est primordial quant à la survie du patient. L'évaluation à grande échelle de la visualisation du glissement pleural comme méthode de confirmation de la position du TET n'a pas encore été faite. La performance des cliniciens quant à leur capacité à identifier correctement la présence ou l'absence d'un glissement

pleural se doit d'être évaluée avant de répandre l'utilisation de cette technique de confirmation de la position du TET.

Vu ce contexte de formation en échographie très hétérogène dans le monde des intervenants en soins critiques, nous voulions évaluer un groupe d'intervenants ayant plusieurs niveaux de formation en échographie, afin d'assurer une validité externe de notre étude. Notre projet avait pour but d'évaluer la capacité d'intervenants en soins critiques d'identifier la présence ou l'absence du glissement pleural sur de courtes séquences (durée plus réaliste en situation de soins critiques) d'échographies pulmonaires enregistrées au préalable. L'étude a été approuvée par le comité d'éthique et de recherche de l'Institut de Cardiologie de Montréal. La demande de consentement au patient a pu être annulée en vertu d'une entente préalable concernant l'utilisation de séquences échographiques anonymisées dans un but d'enseignement ou de recherche. De plus, l'enregistrement des images échographiques n'empiétait pas sur le déroulement de la chirurgie et n'avait aucun impact clinique sur le bien-être des patients. Une fois les patients intubés, les séquences échographiques étaient enregistrées.

La plus grande étude sur l'évaluation des performances échographiques de cliniciens rapportée précédemment dans la littérature est celle de Noble *et al.*⁴⁸. Cette étude évaluait un module de formation en échographie thoracique ayant pour objet la reconnaissance de l'œdème pulmonaire et du pneumothorax. Vingt-sept cliniciens étaient évalués à travers le visionnement de 50 séquences échographiques. La majorité de ces cliniciens avait une expérience préalable en échographie. L'étude de Lyon *et al.*, quant à elle, est la seule rapportée à ce jour qui a évalué des intervenants en soins critiques n'ayant aucune formation en échographie⁴⁹. Huit infirmières et paramédics, travaillant en préhospitalier, étaient évalués selon leur capacité à identifier la présence ou l'absence de glissement pleural chez 6 cadavres intubés. D'autres études ont évalué un ou deux cliniciens bien formés en échographie pulmonaire dans la reconnaissance du glissement

pleural en utilisant un nombre d'intubations variant entre 13 et 68^{66,67,69}. Notre étude est la plus grande effectuée à ce jour, en ce qui a trait à l'évaluation d'intervenants en soins critiques. En effet, 75 personnes ont participé au projet, 42 dans le premier groupe et 33 dans le deuxième. Chacune des personnes évaluait 320 séquences, pour un nombre total de 24000 séquences échographiques analysées, le plus grand échantillon présenté à ce jour.

Une autre particularité de notre étude par rapport à toutes les autres publiées sur le sujet est la durée de nos séquences échographiques. En effet, la durée de celles-ci variait entre 4 et 7 secondes. Le but de ceci était de simuler la prise en charge des voies aériennes telle qu'elle le serait en cas d'insuffisance respiratoire. La confirmation rapide de la position adéquate du TET est d'une importance majeure dans ces cas et donc un test de confirmation rapide doit être utilisé. La courte durée de nos séquences échographiques provient du fait qu'elle ne représente qu'un seul cycle respiratoire. Ainsi, si après une seule ventilation à travers le TET la position ne semble pas adéquate, une intervention de repositionnement est nécessaire. Nos séquences échographiques étaient de courte durée afin de tester la reconnaissance du glissement pleural dans un contexte de soins critiques.

La grande majorité des études sur la confirmation de l'intubation endotrachéale à l'aide de l'utilisation de l'échographie pulmonaire observait les performances de cliniciens chevronnés en échographie de soins critiques. En recrutant un groupe hétérogène de participants lors de nos deux présentations des séquences échographiques, nous avons pour but de quantifier la performance d'une population hétérogène, tant au niveau de la formation académique, mais aussi de la formation échographique, dans l'identification de la présence ou l'absence d'un glissement pleural sur une séquence échographique ne représentant qu'un seul cycle respiratoire. En faisant ainsi, nous espérons obtenir une meilleure validité externe, assumant que l'échographie serait ultimement utilisée à grande échelle comme méthode de vérification de la position du TET dans l'intubation endotrachéale. Nos deux groupes étaient très hétérogènes, formés d'externes en médecine,

de résidents en médecine familiale, de résidents en médecine d'urgence et de patrons en médecine d'urgence. Les formations préalables étaient aussi très variées, allant d'aucune formation à une formation complémentaire de 6 mois en échographie ciblée. Les caractéristiques des participants des deux groupes, de même que leurs connaissances préalables du glissement pleural, du pouls pulmonaire, et leur utilisation clinique de la visualisation du glissement pleural, que ce soit pour l'identification d'un pneumothorax ou la vérification de la position du TET variaient aussi énormément (tableau 1 de l'annexe 1). Une fois les caractéristiques descriptives recueillies, les participants ont visualisé, avant le début du test, une séquence vidéo démontrant un exemple de glissement pleural présent, un exemple de glissement pleural absent de même qu'un exemple de pouls pulmonaire. Les questions concernant cette séquence vidéo ont été adressées avant de procéder au test. Ces séquences n'étaient pas présentes dans le test.

De façon surprenante, nos résultats ont démontré que les niveaux de formation académique et échographique n'avaient aucun impact sur l'identification adéquate de la présence ou l'absence du glissement pleural. Ainsi, dans le premier groupe, les participants identifiaient de façon adéquate la présence ou l'absence d'un glissement pleural dans seulement 67,5% des cas. Ces résultats sont bien en deçà de ceux publiés sur le sujet jusqu'à ce jour. Dans le deuxième groupe, la moyenne de bonne réponse était légèrement supérieure. Nous avons été étonnés de l'absence de différence d'interprétation adéquate entre les différents niveaux de formation académique et échographique. Le glissement pleural n'est pas un élément difficile à identifier. Il faut cependant bien visualiser la ligne pleurale en premier lieu et donc obtenir une image échographique de qualité suffisante. Si les participants avaient généré eux-mêmes les images échographiques, une différence dans la précision des résultats auraient peut-être été mise en évidence. A ce moment, les participants ayant une formation échographique plus avancée auraient probablement généré des images de qualité supérieure, accroissant leur précision. Puisque tous les participants visualisaient les mêmes images, préalablement enregistrées, ils ne pouvaient ajuster les

différents paramètres échographiques ou profiter des informations spatiales conférées par le maniement et le positionnement sur le corps du patient de la sonde échographique. Ces éléments sont mieux assimilés chez les gens ayant un niveau plus élevé de formation échographique accroissant probablement leur précision.

Bien que les deux groupes aient été hétérogènes, les différents sous-groupes étaient plutôt déséquilibrés. Le plus grand sous-groupe comprenait les participants ayant été formés en FAST (n=29 groupe 1 et n=24 groupe 2). Le deuxième sous-groupe en importance comprenait les participants ayant une formation en FAST avec en plus une formation FOCUS (n=10 groupe 1 et n=4 groupe 2). Les autres sous-groupes étaient beaucoup plus petit en comparaison, avec moins de 5 participants. L'interprétation de l'absence de différence entre les différents sous-groupes doit donc se faire à la lumière du déséquilibre de la taille d'échantillon de ceux-ci. L'absence de différence relève probablement du manque de puissance de notre étude. Refaire un test avec des sous-groupes plus grands et plus équilibrés démontrerait probablement une différence dans la précision d'interprétation.

La différence entre les deux groupes est certainement attribuable à une différence dans la méthode d'interprétation des images entre les deux sessions. En effet, lors de la deuxième représentation, les participants avaient comme consigne de ne fournir une réponse que s'ils étaient certains de leur interprétation. Ainsi, un plus petit nombre de réponses a été analysé pour le deuxième groupe. Il est certain qu'un biais est présent quant au meilleur résultat du deuxième groupe. En effet, avoir le choix de s'abstenir de répondre offre une bien meilleure chance d'avoir une réponse adéquate en fin de compte. D'un autre côté, dans la réalité de la pratique et de la vérification de la position d'un TET lors d'une intubation endotrachéale, une réponse incertaine serait inadéquate et non éthique. Comme il en va de toutes les autres méthodes de vérification de la position d'un TET, une incertitude quant au résultat oblige l'utilisation d'une méthode alternative.

Après avoir analysé les performances individuelles de chaque participant des deux groupes, nous avons analysé le nombre de réponses adéquates pour chacune des séquences échographiques, afin de déterminer s'il existait une différence dans la facilité d'interprétation selon la position sur le thorax des séquences enregistrées. Le résultat le plus intéressant de ces analyses est un élément qui n'a pas été décrit dans la littérature jusqu'à ce jour. En effet, nous avons démontré que le taux de bonnes réponses sur l'identification de la présence ou l'absence du glissement pleural, était nettement supérieur pour l'hémithorax droit et ce, tant pour le premier que le deuxième groupe.

Plusieurs hypothèses pourraient expliquer cet écart. Tout d'abord le facteur anatomique. L'hémithorax gauche contient le cœur qui occupe un certain volume. Selon la grosseur de celui-ci, il est possible que le glissement pleural soit masqué par l'image échographique du cœur. N'ayant pas les données sur la taille cardiaque ou la présence de cardiomégalie chez les patients ayant fourni les images échographiques, nous n'avons pas été en mesure d'effectuer une corrélation statistique. Cependant, cela pourrait être effectué dans des travaux futurs. Le poumon gauche est aussi de taille inférieure au droit, justement à cause de la présence du cœur. Ces facteurs anatomiques rendent plus difficile la mise en évidence de la ligne pleurale et le possible glissement de celle-ci. Aucune étude publiée à ce jour n'a mis en évidence cette possible difficulté. Il faut tout de même garder en tête que toutes les séquences échographiques ont été enregistrées par la même personne (EP). Si plusieurs personnes avaient participé à l'enregistrement, cette différence serait-elle disparue ou aurait-elle été atténuée? Qu'en aurait-il été si tous les participants avaient généré eux-mêmes les images? La différence aurait peut-être été plus marquée entre les différents sous-groupes de formation échographique. Il est difficile de prédire ces effets, mais il est clair qu'une étude prospective sur le sujet est de mise.

Mis à part le facteur anatomique, la présence du pouls pulmonaire a certainement pu engendrer un nombre d'erreurs plus grand parmi les séquences enregistrées sur l'hémithorax gauche. En effet, de par la présence du cœur dans l'hémithorax gauche, le pouls pulmonaire y est donc beaucoup plus intense et visible. Bien que parfois visible sur des séquences échographiques ayant été enregistrées sur l'hémithorax droit, il est probable que son intensité soit moindre et donc influence moins l'observateur dans son interprétation. Somme toute, dans le doute, l'utilisation du Mode M et du Doppler couleur, combinés à l'électrocardiogramme en continue permet de faire la part des choses.

Malgré le fait que toutes les séquences aient été enregistrées par le même chercheur (EP), il reste néanmoins que la différence d'interprétation entre l'hémithorax droit et l'hémithorax gauche est restée significativement différente au travers des 75 participants répartis dans les deux groupes. La puissance de cette valeur statistique n'a pas été calculée, mais avec 75 participants évaluant 160 séquences de l'hémithorax droit et 160 de l'hémithorax gauche, l'observation nous paraît solide. Tel que mentionné plus haut, notre étude est la plus grande exécuté à ce jour en ce qui a trait au nombre d'image échographique interprétées sur le glissement pleural.

Cette différence que nous avons mise en évidence ne peut être négligée, tant dans un contexte de d'exclusion de pneumothorax ou de confirmation de l'intubation endotrachéale. La majorité des études sur l'intubation ont démontré la capacité de l'échographie d'identifier une intubation endobronchique, mais celles-ci étaient la plupart du temps dans la bronche souche droite. Est-ce qu'une intubation endobronchique gauche serait plus difficile à prouver? La même question peut se poser en ce qui a trait aux études sur le pneumothorax ou une comparaison entre l'hémithorax droit et l'hémithorax gauche n'a pas été effectuée. Bref, plusieurs questions demeurent sur cette différence entre l'interprétation adéquate de la présence ou l'absence de glissement pleural entre l'hémithorax droit et

l'hémithorax gauche. Jusqu'à ce que ces précisions soient apportées, la prudence est de mise si le glissement pleural semble absent à l'hémithorax gauche.

Notre étude bénéficiait d'une autre particularité distincte des travaux exécutés à ce jour. Parmi les 320 séquences échographiques présentées, 40 étaient en fait des séquences répétées. Ce devis nous a permis d'évaluer l'accord intra-observateur de l'identification de la présence ou de l'absence de glissement pleural, ce qui n'a pas encore été décrit dans la littérature. Ces 40 séquences comprenaient 20 séquences de glissement pleural présent et 20 séquences de glissement pleural absent. À l'image de la différence de performance entre les deux groupes, le score kappa de l'accord intra-observateur était de 0,51 dans le premier groupe et 0,74 dans le deuxième ($p < 0,001$). S'abstenir en cas d'incertitude, comme un clinicien fait en situation réelle, augmente la précision des observations répétées qu'il fait et accroît donc le niveau de sécurité du patient.

Afin d'effectuer une comparaison avec les autres méthodes de vérification de la position d'un TET lors d'une intubation endotrachéale, nous avons calculé la sensibilité et la spécificité de chacun des groupes à identifier la présence ou l'absence de glissement pleural. Les résultats sont bien en deçà de ce qui serait attendu d'une méthode de vérification de la position d'un TET. De façon exploratoire, nous avons analysé les données de manière à reproduire la réalité clinique. Afin de prouver la ventilation des poumons et donc une position endotrachéale du TET, la visualisation d'un glissement pleural au niveau d'un seul espace intercostal peut être suffisante. Si la plèvre glisse, et ce en l'absence d'une respiration spontanée de la part du patient, il y a donc ventilation à travers la trachée. D'un autre côté, prouver l'absence de ventilation est plus ardu, un peu comme il peut être ardu d'identifier le point de transition pulmonaire afin de prouver un pneumothorax. Il faut démontrer l'absence de glissement pleural sur tout le thorax, et non pas seulement au niveau d'un seul espace intercostal. Nous avons donc analysé les données regroupées par patient. Chaque patient avait fourni 4 séquences de glissement pleural

présent et 4 séquences de glissement pleural absent. Prouver la position endotrachéale ou endobronchique du TET ne requerrait que l'identification adéquate d'un seul glissement pleural présent parmi les 4 séquences disponibles. À l'inverse, prouver la présence oesophagienne du TET requerrait l'identification adéquate de l'absence de glissement pleural pour chacune des 4 séquences disponibles. Calculée ainsi, la sensibilité de la visualisation d'un glissement pleural afin de déterminer la position endotrachéale ou endobronchique d'un TET serait de 76,9%. La spécificité serait alors de 50,3%. Cette découverte démontre que l'utilisation de la visualisation du glissement pleural permettrait de confirmer la position endotrachéale d'un TET, mais serait définitivement inadéquate afin de prouver une position oesophagienne. Cependant, cette sensibilité serait inacceptable en clinique et se doit d'être accompagnée d'un autre test de vérification de la position du TET.

Limitations

Notre étude comporte certaines limitations. Une de celles-ci est le fait que les séquences échographiques présentées avaient été enregistrées au préalable. Si les participants avaient pu manipuler la sonde échographique afin de générer les images eux-mêmes, les résultats auraient peut-être été meilleurs. En générant les images, ils auraient pu ajuster les différents paramètres tels le gain et la profondeur afin d'obtenir une image ajustée à leur préférence. Mais cet avantage n'aurait été probablement présent que pour les intervenants ayant déjà une expérience préalable en échographie.

La courte durée des séquences échographiques a aussi constitué un problème pour plusieurs participants. En effet, les séquences ne durent qu'entre 4 et 7 secondes, le temps d'un cycle respiratoire, certains participants peinaient à s'ajuster rapidement à la nouvelle image présentée et donc leur interprétation s'en est probablement ressentie. Le but d'utiliser des séquences de courte durée cependant était de reproduire une situation clinique d'intubation d'urgence. En effet, lors de ces situations, la méthode de vérification de la

position du TET doit être rapide et sensible. Pouvoir prendre une décision rapide suite à l'identification de la présence ou de l'absence du glissement pleural constituait l'élément principal de l'utilisation de séquences échographiques représentant un seul cycle respiratoire, cependant pour utiliser des méthodes comme la détection de la présence de CO₂ on suggère un minimum de 6 ventilations. Observer quelques cycles respiratoires supplémentaires augmenterait très probablement la sensibilité et la spécificité de nos résultats. Le tout pourrait être évalué dans une étude subséquente, de même que l'utilisation du Mode M, qui selon l'utilisation personnelle d'un des auteurs (AD) améliore de façon importante la facilité d'identification du glissement pleural. Le Mode M, de même que l'ajout de l'électrocardiogramme en continu permettrait probablement aussi de diminuer les erreurs d'interprétation liées au pouls pulmonaire. En effet, l'électrocardiogramme en continu sur l'écran de l'appareil d'échographie permet de savoir précisément à quel moment ont lieu les battements cardiaques, permettant au clinicien d'évaluer l'effet de celui-ci sur le glissement pleural. Si le glissement pleural est très petit et toujours concordant avec un battement cardiaque, le clinicien saura qu'il est possible qu'il n'y ait pas de glissement pleural normal.

Il est possible que certains participants aient participé aux deux séances. En effet, un numéro d'identification avait été remis aux participants lors de la première séance afin de comparer les résultats advenant une participation à la deuxième séance. Aucun des participants de la deuxième séance n'a inscrit de numéro d'identification malgré qu'il semble que certaines personnes aient assisté aux deux séances. Un biais d'amélioration à la deuxième séance pourrait être présent. Cependant, les participants ont visionné 320 séquences échographiques de courte durée et les deux séances étaient séparées de plus de 6 mois. Un souvenir des séquences échographiques est très peu probable. De plus, le dévoilement des séquences avec présence ou absence de glissement pleural n'a pas été fait en présence des participants, l'apprentissage demeurant ainsi impossible.

4. Conclusion

L'échographie pulmonaire a démontré son utilité dans le diagnostic de plusieurs pathologies pulmonaires dans le cadre de soins critiques. Que ce soient pour identifier la présence d'un pneumothorax ou l'étendue de celui-ci, pour différencier les multiples causes possibles de détresse respiratoire, ou pour confirmer la position d'un TET lors d'une intubation endotrachéale. Sa rapidité d'exécution, sa supériorité diagnostique et son absence de radiation lorsque comparée à la radiographie pulmonaire en font un outil des plus intéressants dans la pratique de la médecine d'urgence et de soins critiques. En se basant sur les observations de Zanobetti *et al.* qui avaient démontré que près de 90% des radiographies pulmonaires étaient normales si l'échographie pulmonaire était normale, il ne serait pas étonnant de voir diminuer de façon drastique le nombre de radiographies pulmonaires prescrites dans les prochaines années⁴⁷.

De par sa capacité de visualiser le glissement pleural, le mouvement diaphragmatique ou le TET lui-même, l'échographie pulmonaire a aussi démontré son utilité dans la vérification de l'intubation endotrachéale. Cependant, la majorité des études sur le sujet évaluaient des intervenants avec une formation avancée en échographie pulmonaire. Notre étude a démontré que la majorité des intervenants, peu importe leur niveau de formation académique, sont capables d'identifier de façon similaire la présence ou l'absence d'un glissement pleural sur de courtes séquences vidéo chez des patients intubés, mais leurs taux de réussite ne permettent pas d'utiliser cette méthode seule afin de confirmer une intubation endotrachéale. Il est probable qu'une séquence plus longue et la possibilité de manipuler eux-mêmes la sonde échographique pourrait améliorer la performance. Un autre de ses avantages qui n'a pas été évalué lors de notre étude, est la capacité d'identifier les intubations endobronchiques et ainsi permettre un repositionnement rapide du TET, afin d'assurer une ventilation mécanique optimale.

Notre projet a aussi permis de démontrer une différence importante dans la précision de l'identification du glissement pleural entre l'hémithorax droit et l'hémithorax gauche. Cette différence est très probablement attribuable à la position du cœur dans l'hémithorax gauche, la plus petite taille du poumon gauche et la présence du pouls pulmonaire. L'effet du pouls pulmonaire quant à lui peut être diminué par l'utilisation de l'électrocardiogramme en continu intégré à l'examen échographique de même que l'utilisation du Mode M. Malgré toutes ces précautions, il n'en demeure pas moins que les images d'échographie pulmonaire de l'hémithorax gauche doivent être interprétées avec précaution en gardant en tête toutes les limitations susmentionnées. L'évaluation de l'hémithorax droit devrait être privilégiée lorsque l'on essaie de confirmer l'intubation endotrachéale. Le clinicien ainsi que les différents curriculums de formation devraient intégrer ces notions dans l'interprétation des images d'échographie pulmonaire particulièrement lorsque celles-ci sont de courte durée.

Bibliographie

1. Ma, O.J., et al., *Prospective analysis of a rapid trauma ultrasound examination performed by emergency physicians*. J Trauma, 1995. **38**(6): p. 879-85.
2. Salen, P.N., S.W. Melanson, and M.B. Heller, *The focused abdominal sonography for trauma (FAST) examination: considerations and recommendations for training physicians in the use of a new clinical tool*. Acad Emerg Med, 2000. **7**(2): p. 162-8.
3. Socransky, S., *Emergency department targeted ultrasound: 2006 update*. CJEM, 2006. **8**(3): p. 170-4.
4. Hamel, P., et al., *L'échographie ciblée en médecine d'urgence : pour y voir clair*, AMUQ et ASMUQ, Québec, 2006.
5. *Emergency ultrasound guidelines*. Ann Emerg Med, 2009. **53**(4): p. 550-70.
6. *International expert statement on training standards for critical care ultrasonography*. Intensive Care Med, 2011. **37**(7): p. 1077-83.
7. Støylen, A. *Basic ultrasound, echocardiography and Doppler for clinicians* 2010; Available from: <http://folk.ntnu.no/stoylen/strainrate/Ultrasound>.
8. Ziskin, M.C., et al., *The comet tail artifact*. J Ultrasound Med, 1982. **1**(1): p. 1-7.
9. Cunningham, J., et al., *Enhanced recognition of "lung sliding" with power color Doppler imaging in the diagnosis of pneumothorax*. J Trauma, 2002. **52**(4): p. 769-71.
10. Lichtenstein, D.A., et al., *The "lung pulse": an early ultrasound sign of complete atelectasis*. Intensive Care Medicine, 2003. **29**(12): p. 2187-2192.
11. Denault, A., *Transesophageal Echocardiography Multimedia Manual*. Second ed2011: Informa Healthcare.
12. Rantanen, N.W., *Diseases of the thorax*. Vet Clin North Am Equine Pract, 1986. **2**(1): p. 49-66.
13. Wernecke, K., et al., *Pneumothorax: evaluation by ultrasound--preliminary results*. J Thorac Imaging, 1987. **2**(2): p. 76-8.
14. Targhetta, R., et al., *Diagnosis of pneumothorax by ultrasound immediately after ultrasonically guided aspiration biopsy*. Chest, 1992. **101**(3): p. 855-856.

15. Targhetta, R., et al., *Ultrasonic signs of pneumothorax: preliminary work*. J Clin Ultrasound, 1993. **21**(4): p. 245-50.
16. Lichtenstein, D., et al., *The "lung point": an ultrasound sign specific to pneumothorax*. Intensive Care Med, 2000. **26**(10): p. 1434-40.
17. Siström, C.L., et al., *Detection and estimation of the volume of pneumothorax using real-time sonography: efficacy determined by receiver operating characteristic analysis*. AJR Am J Roentgenol, 1996. **166**(2): p. 317-21.
18. Goodman, T.R., et al., *Ultrasound detection of pneumothorax*. Clin Radiol, 1999. **54**(11): p. 736-9.
19. Chung, M.J., et al., *Value of high-resolution ultrasound in detecting a pneumothorax*. Eur Radiol, 2005. **15**(5): p. 930-5.
20. Lichtenstein, D.A. and Y. Menu, *A Bedside Ultrasound Sign Ruling Out Pneumothorax in the Critically III: Lung Sliding*. Chest, 1995. **108**(5): p. 1345-1348.
21. Lichtenstein, D., et al., *The comet-tail artifact: an ultrasound sign ruling out pneumothorax*. Intensive Care Med, 1999. **25**(4): p. 383-8.
22. Lichtenstein, D., et al., *The comet-tail artifact. An ultrasound sign of alveolar-interstitial syndrome*. Am J Respir Crit Care Med, 1997. **156**(5): p. 1640-6.
23. Dulchavsky, S.A., et al., *Thoracic ultrasound diagnosis of pneumothorax*. J Trauma, 1999. **47**(5): p. 970-1.
24. Kirkpatrick, A.W., et al., *Sonographic diagnosis of a pneumothorax inapparent on plain radiography: confirmation by computed tomography*. J Trauma, 2001. **50**(4): p. 750-2.
25. Dulchavsky, S.A., et al., *Prospective evaluation of thoracic ultrasound in the detection of pneumothorax*. J Trauma, 2001. **50**(2): p. 201-5.
26. Rowan, K.R., et al., *Traumatic pneumothorax detection with thoracic US: correlation with chest radiography and CT--initial experience*. Radiology, 2002. **225**(1): p. 210-4.

27. Blaivas, M., M. Lyon, and S. Duggal, *A Prospective Comparison of Supine Chest Radiography and Bedside Ultrasound for the Diagnosis of Traumatic Pneumothorax*. *Academic Emergency Medicine*, 2005. **12**(9): p. 844-849.
28. Soldati, G., et al., *The ultrasonographic deep sulcus sign in traumatic pneumothorax*. *Ultrasound in Medicine & Biology*, 2006. **32**(8): p. 1157-1163.
29. Gordon, R., *The deep sulcus sign*. *Radiology*, 1980. **136**(1): p. 25-7.
30. Soldati, G., et al., *Occult Traumatic Pneumothorax: Diagnostic Accuracy of Lung Ultrasonography in the Emergency Department*. *Chest*, 2008. **133**(1): p. 204-211.
31. Kirkpatrick, A.W., et al., *Hand-Held Thoracic Sonography for Detecting Post-Traumatic Pneumothoraces: The Extended Focused Assessment With Sonography For Trauma (EFAST)*. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*, 2004. **57**(2): p. 288-295.
32. Zhang, M., et al., *Rapid detection of pneumothorax by ultrasonography in patients with multiple trauma*. *Crit Care*, 2006. **10**(4): p. R112.
33. Monti, J.D., B. Younggren, and R. Blankenship, *Ultrasound detection of pneumothorax with minimally trained sonographers: a preliminary study*. *J Spec Oper Med*, 2009. **9**(1): p. 43-6.
34. Madill, J.J., *In-flight thoracic ultrasound detection of pneumothorax in combat*. *J Emerg Med*, 2010. **39**(2): p. 194-7.
35. Blaivas, M., *Inadequate needle thoracostomy rate in the prehospital setting for presumed pneumothorax: an ultrasound study*. *J Ultrasound Med*, 2010. **29**(9): p. 1285-9.
36. Gentry Wilkerson, R. and M.B. Stone, *Sensitivity of Bedside Ultrasound and Supine Anteroposterior Chest Radiographs for the Identification of Pneumothorax After Blunt Trauma*. *Academic Emergency Medicine*, 2010. **17**(1): p. 11-17.
37. Ball, C.G., A.W. Kirkpatrick, and D.V. Feliciano, *The occult pneumothorax: what have we learned?* *Can J Surg*, 2009. **52**(5): p. E173-9.
38. Remerand, F., et al., *Incidence of chest tube malposition in the critically ill: a prospective computed tomography study*. *Anesthesiology*, 2007. **106**(6): p. 1112-9.

39. Sargsyan, A.E., et al., *Ultrasound evaluation of the magnitude of pneumothorax: a new concept*. Am Surg, 2001. **67**(3): p. 232-5; discussion 235-6.
40. Wolfman, N.T., et al., *Occult pneumothorax in patients with abdominal trauma: CT studies*. J Comput Assist Tomogr, 1993. **17**(1): p. 56-9.
41. Lichtenstein, D.A. and G.A. Meziere, *Relevance of Lung Ultrasound in the Diagnosis of Acute Respiratory Failure: The BLUE Protocol*. Chest, 2008. **134**(1): p. 117-125.
42. Lichtenstein, D.A., et al., *Ultrasound diagnosis of occult pneumothorax**. Critical Care Medicine, 2005. **33**(6): p. 1231-1238.
43. Yu, C.J., et al., *Diagnostic and therapeutic use of chest sonography: value in critically ill patients*. AJR Am J Roentgenol, 1992. **159**(4): p. 695-701.
44. Lichtenstein, D., et al., *Comparative diagnostic performances of auscultation, chest radiography, and lung ultrasonography in acute respiratory distress syndrome*. Anesthesiology, 2004. **100**(1): p. 9-15.
45. Lichtenstein, D.A., et al., *Ultrasound diagnosis of alveolar consolidation in the critically ill*. Intensive Care Med, 2004. **30**(2): p. 276-81.
46. Soldati, G., *Chest Ultrasonography in Lung Contusion*. Chest, 2006. **130**(2): p. 533-538.
47. Zanobetti, M., C. Poggioni, and R. Pini, *Can chest ultrasonography replace standard chest radiography for evaluation of acute dyspnea in the ED?* Chest, 2011. **139**(5): p. 1140-7.
48. Noble, V.E., et al., *Evaluation of a thoracic ultrasound training module for the detection of pneumothorax and pulmonary edema by prehospital physician care providers*. BMC Medical Education, 2009. **9**(1): p. 3.
49. Lyon, M., et al., *Ultrasound detection of the sliding lung sign by prehospital critical care providers*. The American Journal of Emergency Medicine, 2011.
50. Walls, R., et al., *Manual of Emergency Airway Management second edition* 2004, Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins 347.
51. Lederman, D., *Endotracheal intubation confirmation - a review*, 2010: Pittsburgh.

52. Salem, M.R., *Verification of endotracheal tube position*. Anesthesiol Clin North America, 2001. **19**(4): p. 813-39.
53. Lang, D.J., et al., *Efficacy of the self-inflating bulb in confirming tracheal intubation in the morbidly obese*. Anesthesiology, 1996. **85**(2): p. 246-53.
54. Tanigawa, K., et al., *The efficacy of esophageal detector devices in verifying tracheal tube placement: a randomized cross-over study of out-of-hospital cardiac arrest patients*. Anesth Analg, 2001. **92**(2): p. 375-8.
55. Brunel, W., et al., *Assessment of routine chest roentgenograms and the physical examination to confirm endotracheal tube position*. Chest, 1989. **96**(5): p. 1043-5.
56. Slovis, T.L. and R.L. Poland, *Endotracheal tubes in neonates: sonographic positioning*. Radiology, 1986. **160**(1): p. 262-263.
57. Lingle, P.A., *Sonographic verification of endotracheal tube position in neonates: a modified technique*. J.Clin.Ultrasound, 1988. **16**(8): p. 605-609.
58. Galicinao, J., A.J. Bush, and S.A. Godambe, *Use of bedside ultrasonography for endotracheal tube placement in pediatric patients: a feasibility study*. Pediatrics, 2007. **120**(6): p. 1297-1303.
59. Hsieh, K.S., et al., *Secondary confirmation of endotracheal tube position by ultrasound image*. Crit Care Med., 2004. **32**(9 Suppl): p. S374-S377.
60. Kerrey, B.T., et al., *A prospective comparison of diaphragmatic ultrasound and chest radiography to determine endotracheal tube position in a pediatric emergency department*. Pediatrics, 2009. **123**(6): p. e1039-e1044.
61. Raphael, D.T. and F.U. Conard, III, *Ultrasound confirmation of endotracheal tube placement*. J.Clin.Ultrasound, 1987. **15**(7): p. 459-462.
62. Drescher, M.J., F.U. Conard, and N.E. Schamban, *Identification and description of esophageal intubation using ultrasound*. Acad.Emerg.Med., 2000. **7**(6): p. 722-725.
63. Werner, S.L., et al., *Pilot study to evaluate the accuracy of ultrasonography in confirming endotracheal tube placement*. Ann.Emerg.Med., 2007. **49**(1): p. 75-80.
64. Milling, T.J., et al., *Transtacheal 2-d ultrasound for identification of esophageal intubation*. J.Emerg.Med., 2007. **32**(4): p. 409-414.

65. Ma, G., et al., *The sensitivity and specificity of transcricothyroid ultrasonography to confirm endotracheal tube placement in a cadaver model*. J.Emerg.Med., 2007. **32**(4): p. 405-407.
66. Chun, R., et al., *Where's the tube? Evaluation of hand-held ultrasound in confirming endotracheal tube placement*. Prehosp Disaster Med, 2004. **19**(4): p. 366-9.
67. Weaver, B., M. Lyon, and M. Blaivas, *Confirmation of endotracheal tube placement after intubation using the ultrasound sliding lung sign*. Acad.Emerg.Med., 2006. **13**(3): p. 239-244.
68. Blaivas, M. and J.W. Tsung, *Point-of-care sonographic detection of left endobronchial main stem intubation and obstruction versus endotracheal intubation*. J.Ultrasound Med., 2008. **27**(5): p. 785-789.
69. Park, S.C., et al., *Confirmation of endotracheal intubation by combined ultrasonographic methods in the Emergency Department*. Emerg.Med.Australas., 2009. **21**(4): p. 293-297.

Annexe 1

Tableau 1: caractéristiques des participants

	Groupe #1			Groupe #2			
	Tous	Résidents	Patrons	Tous	Externes	Résidents	Patrons
	N=42	N=24	N=18	N=33	N=2	N=18	N=13
Formation préalable en échographie (%)	40 (95)	22 (92)	18 (100)	29 (88)	0 (100)	16 (89)	13 (100)
Type de formation en échographie (%)							
Aucune	2 (5)	2 (8)	0 (0)	4 (12)	2 (100)	2 (11)	0 (0)
FAST	29 (69)	17 (71)	12 (67)	24 (73)	0 (0)	16 (89)	8 (61)
FAST et FOCUS	10 (24)	4 (17)	6 (33)	4 (12)	0 (0)	0 (0)	4 (31)
Fellowship	1 (2)	1 (4)	0 (0)	1 (3)	0 (0)	0 (0)	1 (8)
Connaissance du glissement pleural (%)	41 (98)	24 (100)	17 (94)	29 (88)	0 (0)	16 (89)	13 (100)
Connaissance du pouls pulmonaire (%)	9 (21)*	4 (17)	5 (18)	18 (55)*	0 (0)	12 (67)	6 (46)
Utilisation du glissement pleural à la recherche d'un pneumothorax (%)	32 (76)	20 (83)	12 (67)	22 (67)	0 (0)	13 (72)	9 (69)
Utilisation du glissement pleural pour identifier la position du TET (%)	5 (12)	2 (8)	3 (17)	3 (9)	0 (0)	1 (6)	2 (15)

* $p < 0.05$ entre le groupe #1 et le groupe #2, FAST: Focussed assessment with Sonography in trauma, FOCUS: Focused Cardiac Ultrasound Study

Tableau 2 : taux d'identification adéquate du glissement pleural des participants du groupe #1

	Moyenne de bonnes réponses (%)	IC 95%	p
Tous	67,5	65,7-69,4	-
Formation académique			
Résidents	68,4	65,8-71,0	0,302
Patrons	66,4	63,6-69,3	
Formation en échographie			
Aucune	57,0	50,2-63,8	0,044
FAST	67,5	65,3-69,6	
FAST+FOCUS	69,7	65,7-73,6	
Fellowship	67,9	-	
Utilisation en clinique du glissement pleural			
Non	65,3	61,6-69,0	0,176
Oui	68,2	66,1-70,4	

FAST: Focussed assessment with Sonography in trauma

FOCUS: Focused Cardiac Ultrasound Study

Tableau 3: taux d'identification adéquate du glissement pleural des participants du groupe #2

	Moyenne de bonnes réponses (%)	IC 95%	p
Tous	73,1	70,7-75,5	-
Formation académique			
Externes	66,4	41,7-90,9	0,263
Résidents	74,4	71,1-77,7	
Patrons	72,4	68,8-76,1	
Formation en échographie			
Aucune	67,4	55,1-79,0	0,236
FAST	73,5	70,6-76,4	
FAST+FOCUS	74,5	68,9-80,0	
Fellowship	80,5	-	
Utilisation en clinique du glissement pleural			
Non	71,5	65,7-77,2	0,325
Oui	74,0	71,4-76,5	

FAST: Focussed assessment with Sonography in trauma

FOCUS: Focused Cardiac Ultrasound Study

Tableau 4 : test de Kolmogorov-Smirnov à un échantillon sur le taux de bonnes réponses des participants du groupe #1

		Taux de bonnes réponses de chaque participant
N		42
Paramètres normaux ^{a,,b}	Moyenne	,67551
	Ecart-type	,059273
Différences les plus extrêmes	Absolue	,099
	Positive	,099
	Négative	-,066
Z de Kolmogorov-Smirnov		,641
Signification asymptotique (bilatérale)		,806

a. La distribution à tester est gaussienne.

b. Calculée à partir des données.

Tableau 5 : test de Kolmogorov-Smirnov à un échantillon sur le taux de bonnes réponses de participants du groupe #2

		Taux de bonnes réponses de chaque participant
N		33
Paramètres normaux ^{a,,b}	Moyenne	,73123
	Ecart-type	,067786
Différences les plus extrêmes	Absolue	,115
	Positive	,060
	Négative	-,115
Z de Kolmogorov-Smirnov		,661
Signification asymptotique (bilatérale)		,775

a. La distribution à tester est gaussienne.

b. Calculée à partir des données.

Tableau 6 : test de Kolmogorov-Smirnov à un échantillon sur le taux de bonne réponse pour chaque séquence échographique dans le groupe #1

		Taux de bonne réponse par séquence
N		280
Paramètres normaux ^{a,,b}	Moyenne	,6839
	Ecart-type	,24807
Différences les plus extrêmes	Absolue	,126
	Positive	,101
	Négative	-,126
Z de Kolmogorov-Smirnov		2,114
Signification asymptotique (bilatérale)		,000

a. La distribution à tester est gaussienne.

b. Calculée à partir des données.

Tableau 7 : test de Kolmogorov-Smirnov à un échantillon sur le taux de bonne réponse pour chaque séquence échographique dans le groupe #2

		Taux de bonne réponse par séquence
N		280
Paramètres normaux ^{a,,b}	Moyenne	,7081
	Ecart-type	,30799
Différences les plus extrêmes	Absolue	,186
	Positive	,172
	Négative	-,186
Z de Kolmogorov-Smirnov		3,105
Signification asymptotique (bilatérale)		,000

a. La distribution à tester est gaussienne.

b. Calculée à partir des données.

Tableau 8 : taux d'identification adéquate du glissement pleural pour chacune des séquences dans le groupe #1

	Médiane de bonne réponse (%)	EIQ (25 ^e -75 ^e percentiles)	p
Toutes les séquences	74,0	48,0-90,0	-
Hémithorax			
Droit	80,0	57,0-95,0	<0,001
Gauche	67,0	43,0-83,0	
Antérieur ou latéral			
Antérieur	72,5	45,8-88,0	0,172
Latéral	76,0	52,0-93,0	
Présence ou absence du glissement pleural			
Présence	74,0	43,0-90,00	0,710
Absence	75,0	55,0-88,0	

Tableau 9 : taux d'identification adéquate du glissement pleural pour chacune des séquences dans le groupe #2

	Médiane de bonne réponse (%)	EIQ (25 ^e -75 ^e percentiles)	p
Toutes les séquences	83,7	53,5-96,2	-
Hémithorax			
Droit	88,7	63,1-96,9	0,001
Gauche	76,3	42,9-90,9	
Antérieur ou latéral			
Antérieur	83,3	57,1-93,9	0,375
Latéral	84,3	50,7-97,0	
Présence ou absence du glissement pleural	60,6	20,2-90,2	<0,001
Présence	89,6	79,2-100,0	
Absence			

Annexe 2

Cette annexe contient les deux abstracts qui ont été soumis et acceptés sous forme de présentation posters à des congrès internationaux.

Title: DIFFERENCE IN ACCURACY OF LUNG SLIDING IDENTIFICATION BETWEEN THE RIGHT AND LEFT HEMITHORAX.

Authors: Eric Piette¹, Raoul Daoust², Jean Lambert³, André Denault⁴

1 Department of Emergency Medicine, Hôpital du Sacré-Coeur de Montréal, Université de Montréal.

2 Professor, Department of family and emergency medicine, Université de Montréal.

3 Professor, Department of Preventive and Social Medicine, Université de Montréal.

4 Associate professor Department of Anaesthesiology, Montreal Heart Institute, Université de Montréal

Author's contribution:

Eric Piette: Designed research, performed research, analysed data and wrote the paper.

Raoul Daoust: Designed research, supervised research and corrected the paper.

Jean Lambert: Supervised the statistical analyses.

André Denault: Designed research, supervised research and corrected the paper.

Main research center: Montreal Heart Institute, Université de Montréal

Corresponding author and reprints:

Dr Eric Piette, MD, FRCPC

No conflict of interest to declare, no funding.

Accepted as poster presentation at the 32nd International Symposium on Intensive Care and Emergency Medicine, March 20-23 2012, Brussels, Belgium (poster # P087).

Accepted as poster presentation at the 2012 Canadian Anesthesiologists' Society Annual Meeting, June 15-18 2012, Québec City, Canada (abstract #1343764).

Abstract

Background: The field of lung ultrasound (US) in critical care is in rapid expansion. Lung sliding (LS) identification has been used in anaesthesiology, critical care and emergency medicine (EM) to diagnose pneumothorax as well as to evaluate the adequacy of endotracheal intubation in and out of the operating room. Presence of the *Lung Pulse* artefact (back and forth pleural motion induced by the heartbeat) as well as the underlying heart may affect correct identification of LS in the left hemithorax, but this has never been studied.

Objective: Our main objective was to evaluate the rate of correct identification (accuracy) of the presence or absence of LS in the right and left hemithorax.

Methods: The institutional Research Ethics Board approved this study. 280 short lung US sequences (one respiratory cycle), recorded in the operating room, of presence and absence of LS in intubated patients were randomly presented to 2 groups of physicians (in total: 2 medical students, 42 EM residents and 31 EM attendings). Sequences were divided equally between the right and left hemithorax. Each participant's knowledge of the *Lung Pulse* artefact was noted. Only the second group was instructed not to answer in case of uncertainty. A Kolmogorov-Smirnov test showed the rate of correct LS identification did not follow a normal distribution. Median rates are reported with interquartile range (IQR) and compared using a Mann-Whitney test.

Results: Knowledge of lung pulse was higher in the second group (55% vs 21%, $p < 0.05$). Globally, median accuracy of identification of LS presence or absence was 74.0% (IQR: 48.0-90.0) in the first group and 83.7% (IQR: 53.3-96.2) in the second ($p = 0.006$). For the first group, median accuracy was 80.0% (IQR: 57.0-95.0) in the right hemithorax and 67.0% (IQR: 43.0-83.0) in the left ($p < 0.001$). For the second group, median accuracy was

88.7% (IQR: 63.1-96.9) in the right hemithorax and 76.3% (IQR: 42.9-90.9) in the left (p<0.001).

Conclusion: Accuracy of identification of LS presence or absence is higher in the right hemithorax. Our study is the first to report this finding. Presence of the *Lung Pulse* artefact, as well as the underlying heart, probably explains the worse accuracy found in the left hemithorax. Caution should be taken in using LS identification as a diagnostic tool in the left hemithorax and knowledge of the *Lung Pulse* artefact should be emphasized in chest US curriculum.

Title: ADEQUATE LUNG SLIDING IDENTIFICATION IS NOT INFLUENCED BY THE LEVEL OF ACADEMIC OR ULTRASOUND TRAINING.

Authors: Eric Piette¹, Raoul Daoust², Jean Lambert³, André Denault⁴

1 Department of Emergency Medicine, Hôpital du Sacré-Coeur de Montréal, Université de Montréal.

2 Professor, Department of family and emergency medicine, Université de Montréal.

3 Professor, Department of Preventive and Social Medicine, Université de Montréal.

4 Associate professor Department of Anaesthesiology, Montreal Heart Institute, Université de Montréal

Author's contribution:

Eric Piette: Designed research, performed research, analysed data and wrote the paper.

Raoul Daoust: Designed research, supervised research and corrected the paper.

Jean Lambert: Supervised the statistical analyses.

André Denault: Designed research, supervised research and corrected the paper.

Main research center: Montreal Heart Institute, Université de Montréal

Corresponding author and reprints:

Dr Eric Piette, MD, FRCPC

No conflict of interest to declare, no funding.

Accepted as poster presentation at the 32nd International Symposium on Intensive Care and Emergency Medicine, March 20-23 2012, Brussels, Belgium (poster # P085).

Accepted as poster presentation at the 2012 Canadian Anesthesiologists' Society Annual Meeting, June 15-18 2012, Québec City, Canada (abstract #1343775).

Abstract

Background: Rapid confirmation of the adequacy of endotracheal intubation is critical in the field of anaesthesiology and emergency medicine (EM). Methods confirming endotracheal tube (ET) position should have accuracy near 100%. Studies confirming ET position using lung sliding (LS) identification were done by physicians with extensive ultrasound (US) training using sometimes lengthy exam. Time is of the essence in critical airway situations either in the operating room or the emergency department and confirmation of the adequacy of the ET tube position should not be verified using lengthy techniques.

Objectives: Our primary objective was to compare the accuracy of EM physicians with different levels of academic and US training to correctly identify presence or absence of LS on random short sequences of lung US. Our secondary objective was to determine if results were better when participants had the choice to abstain themselves in uncertain cases.

Methods: The institutional Research Ethics Board approved this study. We recorded in the operating room 280 short lung US sequences (one respiratory cycle), of present and absent LS of intubated patients and randomly presented them to 2 groups of EM physicians. Accuracy was calculated for different academic and US training: none, basic Focused Assessment with Sonography in Trauma (FAST), FAST and advanced cardiac US, fellowship in EM US. We compared them using an ANOVA test. Only participants in the second group were instructed to abstain from answering in uncertain cases and accuracy was compared to the first group using a Student's *t* test.

Results: 2 medical students, 42 EM residents and 31 EM attendings participated. No difference in accuracy was shown between the subgroups of academic training with mean accuracies of 66.3% (med students), 70.9% (residents) and 69.0% (attendings) ($p=0.361$). No difference was shown between the subgroups of US training with means of 63.9% (no

formation), 70.2% (FAST), 70.9% (FAST + advanced cardiac US), 74.2% (fellowship) (p=0.119). Accuracy was significantly better when participants could abstain from answering in uncertain cases with means of 67.5% (95% CI: 65.7-69.4) in the first group and 73.1% (95% CI: 70.7-75.5) in the second (p<0.001).

Conclusion: Correct LS identification on short lung US sequences is not influenced by the level of academic or US training. Accuracy is better when the possibility to abstain oneself from answering is given. LS identification using only one respiratory US sequences should be used with caution to confirm adequacy of endotracheal intubation.

1. Ma OJ, Mateer JR, Ogata M, Kefer MP, Wittmann D, Aprahamian C. Prospective analysis of a rapid trauma ultrasound examination performed by emergency physicians. *J Trauma* 1995;38:879-85.
2. Salen PN, Melanson SW, Heller MB. The focused abdominal sonography for trauma (FAST) examination: considerations and recommendations for training physicians in the use of a new clinical tool. *Acad Emerg Med* 2000;7:162-8.
3. Socransky S. Emergency department targeted ultrasound: 2006 update. *CJEM* 2006;8:170-4.
4. Hamel P, Garner M, Vadeboncoeur A, Vanier L. L'échographie ciblée en médecine d'urgence : pour y voir clair. In: Québec Admdud, Québec Adsemdud, eds.; 2006.
5. Emergency ultrasound guidelines. *Ann Emerg Med* 2009;53:550-70.
6. International expert statement on training standards for critical care ultrasonography. *Intensive Care Med* 2011;37:1077-83.
7. Basic ultrasound, echocardiography and Doppler for clinicians 2010. (Accessed at <http://folk.ntnu.no/stoylen/strainrate/Ultrasound/>.)
8. Ziskin MC, Thickman DI, Goldenberg NJ, Lapayowker MS, Becker JM. The comet tail artifact. *J Ultrasound Med* 1982;1:1-7.
9. Cunningham J, Kirkpatrick AW, Nicolaou S, et al. Enhanced recognition of "lung sliding" with power color Doppler imaging in the diagnosis of pneumothorax. *J Trauma* 2002;52:769-71.
10. Lichtenstein DA, Lascols N, Prin Sb, Meziere G. The "lung pulse": an early ultrasound sign of complete atelectasis. *Intensive Care Medicine* 2003;29:2187-92.
11. Denault A. *Transesophageal Echocardiography Multimedia Manual*. Second ed: Informa Healthcare; 2011.
12. Rantanen NW. Diseases of the thorax. *Vet Clin North Am Equine Pract* 1986;2:49-66.
13. Wernecke K, Galanski M, Peters PE, Hansen J. Pneumothorax: evaluation by ultrasound--preliminary results. *J Thorac Imaging* 1987;2:76-8.
14. Targhetta R, Bourgeois J, Chavagneux R, Balmes P. Diagnosis of pneumothorax by ultrasound immediately after ultrasonically guided aspiration biopsy. *Chest* 1992;101:855-6.
15. Targhetta R, Bourgeois JM, Chavagneux R, et al. Ultrasonic signs of pneumothorax: preliminary work. *J Clin Ultrasound* 1993;21:245-50.
16. Lichtenstein D, Meziere G, Biderman P, Gepner A. The "lung point": an ultrasound sign specific to pneumothorax. *Intensive Care Med* 2000;26:1434-40.
17. Sistrom CL, Reiheld CT, Gay SB, Wallace KK. Detection and estimation of the volume of pneumothorax using real-time sonography: efficacy determined by receiver operating characteristic analysis. *AJR Am J Roentgenol* 1996;166:317-21.
18. Goodman TR, Traill ZC, Phillips AJ, Berger J, Gleeson FV. Ultrasound detection of pneumothorax. *Clin Radiol* 1999;54:736-9.
19. Chung MJ, Goo JM, Im JG, Cho JM, Cho SB, Kim SJ. Value of high-resolution ultrasound in detecting a pneumothorax. *Eur Radiol* 2005;15:930-5.
20. Lichtenstein DA, Menu Y. A Bedside Ultrasound Sign Ruling Out Pneumothorax in the Critically III: Lung Sliding. *Chest* 1995;108:1345-8.

21. Lichtenstein D, Meziere G, Biderman P, Gepner A. The comet-tail artifact: an ultrasound sign ruling out pneumothorax. *Intensive Care Med* 1999;25:383-8.
22. Lichtenstein D, Meziere G, Biderman P, Gepner A, Barre O. The comet-tail artifact. An ultrasound sign of alveolar-interstitial syndrome. *Am J Respir Crit Care Med* 1997;156:1640-6.
23. Dulchavsky SA, Hamilton DR, Diebel LN, Sargsyan AE, Billica RD, Williams DR. Thoracic ultrasound diagnosis of pneumothorax. *J Trauma* 1999;47:970-1.
24. Kirkpatrick AW, Ng AK, Dulchavsky SA, et al. Sonographic diagnosis of a pneumothorax inapparent on plain radiography: confirmation by computed tomography. *J Trauma* 2001;50:750-2.
25. Dulchavsky SA, Schwarz KL, Kirkpatrick AW, et al. Prospective evaluation of thoracic ultrasound in the detection of pneumothorax. *J Trauma* 2001;50:201-5.
26. Rowan KR, Kirkpatrick AW, Liu D, Forkheim KE, Mayo JR, Nicolaou S. Traumatic pneumothorax detection with thoracic US: correlation with chest radiography and CT--initial experience. *Radiology* 2002;225:210-4.
27. Blaivas M, Lyon M, Duggal S. A Prospective Comparison of Supine Chest Radiography and Bedside Ultrasound for the Diagnosis of Traumatic Pneumothorax. *Academic Emergency Medicine* 2005;12:844-9.
28. Soldati G, Testa A, Pignataro G, et al. The ultrasonographic deep sulcus sign in traumatic pneumothorax. *Ultrasound in Medicine & Biology* 2006;32:1157-63.
29. Gordon R. The deep sulcus sign. *Radiology* 1980;136:25-7.
30. Soldati G, Testa A, Sher S, Pignataro G, La Sala M, Silveri NG. Occult Traumatic Pneumothorax: Diagnostic Accuracy of Lung Ultrasonography in the Emergency Department. *Chest* 2008;133:204-11.
31. Kirkpatrick AW, Sirois M, Laupland KB, et al. Hand-Held Thoracic Sonography for Detecting Post-Traumatic Pneumothoraces: The Extended Focused Assessment With Sonography For Trauma (EFAST). *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care* 2004;57:288-95.
32. Zhang M, Liu ZH, Yang JX, et al. Rapid detection of pneumothorax by ultrasonography in patients with multiple trauma. *Crit Care* 2006;10:R112.
33. Monti JD, Younggren B, Blankenship R. Ultrasound detection of pneumothorax with minimally trained sonographers: a preliminary study. *J Spec Oper Med* 2009;9:43-6.
34. Madill JJ. In-flight thoracic ultrasound detection of pneumothorax in combat. *J Emerg Med* 2010;39:194-7.
35. Blaivas M. Inadequate needle thoracostomy rate in the prehospital setting for presumed pneumothorax: an ultrasound study. *J Ultrasound Med* 2010;29:1285-9.
36. Gentry Wilkerson R, Stone MB. Sensitivity of Bedside Ultrasound and Supine Anteroposterior Chest Radiographs for the Identification of Pneumothorax After Blunt Trauma. *Academic Emergency Medicine* 2010;17:11-7.
37. Ball CG, Kirkpatrick AW, Feliciano DV. The occult pneumothorax: what have we learned? *Can J Surg* 2009;52:E173-9.
38. Remerand F, Luce V, Badachi Y, Lu Q, Bouhemad B, Rouby JJ. Incidence of chest tube malposition in the critically ill: a prospective computed tomography study. *Anesthesiology* 2007;106:1112-9.

39. Sargsyan AE, Hamilton DR, Nicolaou S, et al. Ultrasound evaluation of the magnitude of pneumothorax: a new concept. *Am Surg* 2001;67:232-5; discussion 5-6.
40. Wolfman NT, Gilpin JW, Bechtold RE, Meredith JW, Ditesheim JA. Occult pneumothorax in patients with abdominal trauma: CT studies. *J Comput Assist Tomogr* 1993;17:56-9.
41. Lichtenstein DA, Meziere GA. Relevance of Lung Ultrasound in the Diagnosis of Acute Respiratory Failure: The BLUE Protocol. *Chest* 2008;134:117-25.
42. Lichtenstein DA, Meziere G, Lascols N, et al. Ultrasound diagnosis of occult pneumothorax*. *Critical Care Medicine* 2005;33:1231-8.
43. Yu CJ, Yang PC, Chang DB, Luh KT. Diagnostic and therapeutic use of chest sonography: value in critically ill patients. *AJR Am J Roentgenol* 1992;159:695-701.
44. Lichtenstein D, Goldstein I, Mourgeon E, Cluzel P, Grenier P, Rouby JJ. Comparative diagnostic performances of auscultation, chest radiography, and lung ultrasonography in acute respiratory distress syndrome. *Anesthesiology* 2004;100:9-15.
45. Lichtenstein DA, Lascols N, Meziere G, Gepner A. Ultrasound diagnosis of alveolar consolidation in the critically ill. *Intensive Care Med* 2004;30:276-81.
46. Soldati G. Chest Ultrasonography in Lung Contusion. *Chest* 2006;130:533-8.
47. Zanobetti M, Poggioni C, Pini R. Can chest ultrasonography replace standard chest radiography for evaluation of acute dyspnea in the ED? *Chest* 2011;139:1140-7.
48. Noble VE, Lamhaut L, Capp R, et al. Evaluation of a thoracic ultrasound training module for the detection of pneumothorax and pulmonary edema by prehospital physician care providers. *BMC Medical Education* 2009;9:3.
49. Lyon M, Walton P, Bhalla V, Shiver SA. Ultrasound detection of the sliding lung sign by prehospital critical care providers. *The American Journal of Emergency Medicine* 2011.
50. Walls R, Murphy M, Luten R, Schneider R. *Manual of Emergency Airway Management* second edition. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins 2004.
51. Lederman D. Endotracheal intubation confirmation - a review. In: *Pittsburgh*; 2010.
52. Salem MR. Verification of endotracheal tube position. *Anesthesiol Clin North America* 2001;19:813-39.
53. Lang DJ, Wafai Y, Salem MR, Czinn EA, Halim AA, Baraka A. Efficacy of the self-inflating bulb in confirming tracheal intubation in the morbidly obese. *Anesthesiology* 1996;85:246-53.
54. Tanigawa K, Takeda T, Goto E, Tanaka K. The efficacy of esophageal detector devices in verifying tracheal tube placement: a randomized cross-over study of out-of-hospital cardiac arrest patients. *Anesth Analg* 2001;92:375-8.
55. Brunel W, Coleman DL, Schwartz DE, Peper E, Cohen NH. Assessment of routine chest roentgenograms and the physical examination to confirm endotracheal tube position. *Chest* 1989;96:1043-5.
56. Slovis TL, Poland RL. Endotracheal tubes in neonates: sonographic positioning. *Radiology* 1986;160:262-3.
57. Lingle PA. Sonographic verification of endotracheal tube position in neonates: a modified technique. *J Clin Ultrasound* 1988;16:605-9.

58. Galicinao J, Bush AJ, Godambe SA. Use of bedside ultrasonography for endotracheal tube placement in pediatric patients: a feasibility study. *Pediatrics* 2007;120:1297-303.
59. Hsieh KS, Lee CL, Lin CC, Huang TC, Weng KP, Lu WH. Secondary confirmation of endotracheal tube position by ultrasound image. *Crit Care Med* 2004;32:S374-S7.
60. Kerrey BT, Geis GL, Quinn AM, Hornung RW, Ruddy RM. A prospective comparison of diaphragmatic ultrasound and chest radiography to determine endotracheal tube position in a pediatric emergency department. *Pediatrics* 2009;123:e1039-e44.
61. Raphael DT, Conard FU, III. Ultrasound confirmation of endotracheal tube placement. *JClinUltrasound* 1987;15:459-62.
62. Drescher MJ, Conard FU, Schamban NE. Identification and description of esophageal intubation using ultrasound. *AcadEmergMed* 2000;7:722-5.
63. Werner SL, Smith CE, Goldstein JR, Jones RA, Cydulka RK. Pilot study to evaluate the accuracy of ultrasonography in confirming endotracheal tube placement. *AnnEmergMed* 2007;49:75-80.
64. Milling TJ, Jones M, Khan T, et al. Transtracheal 2-d ultrasound for identification of esophageal intubation. *JEmergMed* 2007;32:409-14.
65. 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. *JEmergMed* 2007;32:405-7.
66. Chun R, Kirkpatrick AW, Sirois M, et al. Where's the tube? Evaluation of hand-held ultrasound in confirming endotracheal tube placement. *Prehosp Disaster Med* 2004;19:366-9.
67. Weaver B, Lyon M, Blaivas M. Confirmation of endotracheal tube placement after intubation using the ultrasound sliding lung sign. *AcadEmergMed* 2006;13:239-44.
68. Blaivas M, Tsung JW. Point-of-care sonographic detection of left endobronchial main stem intubation and obstruction versus endotracheal intubation. *JUltrasound Med* 2008;27:785-9.
69. Park SC, Ryu JH, Yeom SR, Jeong JW, Cho SJ. Confirmation of endotracheal intubation by combined ultrasonographic methods in the Emergency Department. *EmergMedAustralas* 2009;21:293-7.