
Analyse des protocoles de POCUS thoracique les plus utilisés dans le but d'identifier les éléments à intégrer dans un cursus vétérinaire

Auteur : De Hertogh, Elise

Promoteur(s) : Gommeren, Kris

Faculté : Faculté de Médecine Vétérinaire

Diplôme : Master en médecine vétérinaire

Année académique : 2023-2024

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/20701>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

**ANALYSE DES PROTOCOLES DE POCUS
THORACIQUE LES PLUS UTILISÉS DANS LE BUT
D'IDENTIFIER LES ÉLÉMENTS À INTÉGRER DANS
UN CURSUS VÉTÉRINAIRE**

***ANALYSIS OF THE MOST USED THORACIC POCUS
PROTOCOLS WITH THE AIM OF IDENTIFYING THE
ELEMENTS TO BE INTEGRATED INTO A VETERINARY
CURRICULUM***

Elise DE HERTOGH

Travail de fin d'études

Présenté en vue de l'obtention du grade

de Médecin Vétérinaire

ANNÉE ACADÉMIQUE 2023/2024

Le contenu de ce travail n'engage que son auteur

**ANALYSE DES PROTOCOLES DE POCUS
THORACIQUE LES PLUS UTILISÉS DANS LE BUT
D'IDENTIFIER LES ÉLÉMENTS À INTÉGRER DANS
UN CURSUS VÉTÉRINAIRE**

***ANALYSIS OF THE MOST USED THORACIC POCUS
PROTOCOLS WITH THE AIM OF IDENTIFYING THE
ELEMENTS TO BE INTEGRATED INTO A VETERINARY
CURRICULUM***

Elise DE HERTOGH

Tuteur : Kris Gommeren

Travail de fin d'études

Présenté en vue de l'obtention du grade
de Médecin Vétérinaire

ANNÉE ACADÉMIQUE 2023/2024

Le contenu de ce travail n'engage que son auteur

ANALYSE DES PROTOCOLES DE POCUS THORACIQUE LES PLUS UTILISÉS DANS LE BUT D'IDENTIFIER LES ÉLÉMENTS À INTÉGRER DANS UN CURSUS VÉTÉRIINAIRE

OBJECTIF DU TRAVAIL :

Ce travail a pour objectif de servir de base pour la réalisation d'un cours sur les POCUS thoraciques en comparant les différents protocoles de POCUS thoracique dans leur capacité à répondre aux questions majeures qui se posent en situation d'urgence, puis en identifiant les images à obtenir pour pouvoir répondre à ces questions avec un bon degré de confiance et enfin en décrivant les modalités d'enseignement qui permettraient un apprentissage de qualité.

RÉSUMÉ :

Les POCUS sont de plus en plus répandus dans le monde vétérinaire parce qu'ils permettent d'acquérir des informations essentielles tout en étant peu invasifs, peu stressants et réalisables sur un animal instable. Différents protocoles ont vu le jour et certains se sont plus popularisés que d'autres.

Après avoir passé en revue les bases de l'échographie pulmonaire et les artéfacts visualisables lors de pathologie pulmonaire, d'effusion pleurale et de pneumothorax, ce TFE se penche sur quatre protocoles de POCUS thoracique : TFAST, Vet BLUE, VetFAST-ABCDE et PLUS. Pour chacun d'entre eux, en plus d'une description du protocole, une analyse de la littérature a été effectuée afin d'évaluer leur sensibilité et spécificité pour la détection de pathologie pulmonaire, d'un épanchement pleural ou d'un pneumothorax.

Pour faire face à des défauts de sensibilité observés dans certains de ces protocoles, ce travail recueille ensuite quelles seraient les causes des manques de sensibilité et comment y pallier le mieux possible.

Enfin, dans un monde où l'intérêt pour l'enseignement en ligne est en croissance, ce travail compare les différents types d'apprentissage de POCUS en ligne et suggère l'utilisation de l'échelle OSAUS afin d'évaluer la compétence de la personne réalisant un POCUS.

ANALYSIS OF THE MOST USED THORACIC POCUS PROTOCOLS WITH THE AIM OF IDENTIFYING THE ELEMENTS TO BE INTEGRATED INTO A VETERINARY CURRICULUM

AIM OF THE WORK :

The aim of this work is to serve as a basis for a course on thoracic POCUS by comparing the different thoracic POCUS protocols in terms of their ability to answer the major questions that arise in emergency situations, then identifying the images that need to be obtained in order to be able to answer these questions with a good degree of confidence, and finally describing the teaching methods that would enable quality learning.

SUMMARY :

POCUS is becoming more and more widespread in the veterinary world, because it provides crucial information while being minimally invasive, low-stress and feasible on an unstable animal. Different protocols have emerged, and some have become more popular than others.

After reviewing the basics of lung ultrasound and the artifacts that can be visualized in lung pathology, pleural effusion and pneumothorax, this TFE looks at four thoracic POCUS protocols: TFAST, Vet BLUE, VetFAST-ABCDE and PLUS. For each of them, in addition to a description of the protocol, an analysis of the literature was carried out to assess their sensitivity and specificity for the detection of pulmonary pathology, pleural effusion and pneumothorax.

In the interest of addressing the sensitivity shortcomings observed in some of these protocols, this work gathers some of the possible causes for these shortcomings, and how to best increase this sensitivity.

Finally, in a world where interest for online teaching is increasing, this work compares the different variations of online POCUS teaching in their effect on students and suggests the use of the OSAUS scale to assess the competence of a person performing POCUS.

Remerciements :

Je tiens à exprimer ma sincère et chaleureuse gratitude envers Kris Gommeren, mon promoteur, pour son encadrement et ses précieux conseils. Sa patience, ses remarques constructives et sa confiance ont été primordiales dans l'aboutissement de ce travail. Je lui suis très reconnaissante pour le temps passé à relire et annoter les différentes versions de ce texte en y ajoutant son expertise. Il m'a par ailleurs également été d'une très grande aide en m'offrant le livre co-écrit avec Soren Boysen et Serge Chalhoub, ce qui m'a permis de m'immiscer dans le monde du POCUS avec des bases solides.

Je remercie également particulièrement mes parents, mon frère et mes amis pour leur soutien et leurs encouragements à toute épreuve tout au long de cette année. Je retiendrai particulièrement l'implication dans la relecture orthographique de ce texte par ma maman.

Table des matières

1.	Introduction.....	7
2.	Bases du POCUS thoracique	8
2.1.	Paramètres de l'échographe	8
2.2.	Mouvements de la sonde échographique.....	9
2.3.	Signes que l'on peut identifier sur un poumon/thorax normal	9
2.4.	Zone explorable à l'échographie thoracique et limites de l'échographie.....	11
3.	Questions binaires auxquelles le POCUS thoracique permet de répondre	12
3.1.	Est-ce qu'il y a une pathologie pulmonaire visualisable ?.....	12
3.2.	Est-ce qu'il y a de l'effusion ?	14
3.3.	Est-ce qu'il y a un pneumothorax ?.....	14
4.	Explication des différents protocoles.....	17
4.1.	TFAST = Thoracic focused assessment with sonography for trauma (Lisciandro et al., 2008); (Boysen and Lisciandro, 2013)	17
4.1.1.	Objectif recherché du protocole	17
4.1.2.	Explication du protocole.....	17
4.1.3.	Capacité de réponse aux questions majeures (Walters et al., 2018)	19
4.2.	Vet BLUE (Lisciandro et al., 2014).....	19
4.2.1.	Objectif recherché du protocole	19
4.2.2.	Explication du protocole.....	20
4.2.3.	Capacité de réponse aux questions majeures (Cole et al., 2021).....	21
4.3.	vetFAST-ABCDE (Armenise et al., 2019)	22
4.3.1.	Objectif recherché du protocole	22
4.3.2.	Explication du protocole.....	22
4.3.3.	Capacité de réponse aux questions majeures (Armenise et al., 2019).	23
4.4.	Calgary PLUS (Boysen et al., 2022)	24
4.4.1.	Objectif recherché du protocole	24
4.4.2.	Explication du protocole.....	24
4.4.3.	Capacité de réponse aux questions majeures.....	26
5.	Sites à évaluer afin de répondre aux questions majeures	26
5.1.	Comment améliorer la sensibilité lors de suspicion de pathologie pulmonaire ?	26
5.2.	Comment améliorer la sensibilité lors de suspicion d'effusion pleurale	27
5.3.	Comment améliorer la sensibilité lors de suspicion de pneumothorax.....	28
6.	Comment enseigner le POCUS aux vétérinaires, aux praticiens ?	29
7.	Discussion	32
8.	Conclusion	34

1. Introduction

Le POCUS, ou point-of care-ultrasound, est un examen échographique rapide réalisé au chevet du patient. Ce qui est surtout utile dans un contexte d'urgence où des animaux peuvent être trop cardio-vasculairement instables que pour pouvoir être déplacés, installés sur le dos et gardés immobiles pour des radiographies ou pendant toute la durée d'un examen échographique complet. Le POCUS est peu invasif et peu stressant pour l'animal, il peut se faire en position debout, sternale ou en décubitus latéral (selon son état cardiovasculaire et respiratoire), et est donc particulièrement adapté dans les situations d'urgences (Cole et al., 2021). Il permet de répondre à des questions binaires importantes (est-ce que l'animal présente « x » ? oui ou non), dont le résultat influencera la prise en charge et le pronostic.

Différents protocoles ont décrit plusieurs manières de réaliser un POCUS au niveau thoracique, les plus connus sont : TFAST (Lisciandro et al., 2008; McMurray et al., 2016), Vet BLUE (Lisciandro et al., 2014), VetFAST-ABCDE (Armenise et al., 2019) et Calgary PLUS (Boysen et al., 2022). L'étude « Assessing primary care veterinarians' use of and confidence in performing point-of-care ultrasound » (McDonald et al., 2023), a analysé parmi 201 vétérinaires généralistes réalisant des POCUS (dont la moyenne de l'année d'obtention du diplôme est 2013, et l'écart interquartile 2008-2016) les protocoles les plus répandus. 74.1% de ces vétérinaires utilisent le protocole TFAST, 9.5% utilisent le protocole Vet-BLUE, 3% utilisent le protocole VetFAST-ABCDE et 32,3% utilisent leur propre protocole (les 32,3% concernent tous les POCUS, pas uniquement au niveau thoracique).

L'utilisation d'un protocole reconnu permet à différents membres du personnel de suivre dans le temps un patient de manière cohérente. Les POCUS se popularisant en médecine humaine et vétérinaire, il devient essentiel que les nouvelles générations de praticiens soient armées avec des connaissances adaptées dès la sortie de l'université. Une enquête montre que près de 75% des 1000 vétérinaires américains interrogés pensent qu'intégrer le POCUS des étudiants est extrêmement ou très important (DeFrancesco and Royal, 2018)

Dès lors, se pose la question de savoir si l'utilisation plus répandue de certains protocoles se justifie par une différence de performance et si ces protocoles répondent adéquatement aux questions qui se posent en situation d'urgence. En effet, connaître les limites du protocole utilisé permet d'éviter dans la mesure du possible de sur-interpréter ou sous-interpréter les images obtenues. Si certains de ces protocoles ne répondent pas adéquatement aux questions qui se posent en situation d'urgence, quelles sont les images qu'il faudrait obtenir afin de pouvoir y répondre avec confiance ?

Ce TFE a pour objectif de servir de base pour la réalisation d'un cours sur les POCUS thoraciques en comparant les différents protocoles de POCUS thoracique, en identifiant les images à obtenir puis en décrivant les modalités d'enseignement qui permettraient un apprentissage de qualité.

2. Bases du POCUS thoracique

2.1. Paramètres de l'échographe

Une sonde micro convexe de fréquence entre 5 et 8 MHz est le plus souvent utilisée pour l'échographie thoracique. Bien qu'une sonde phased array puisse également être employée, la sonde micro convexe s'impose car elle est plus répandue dans les cliniques et est plus versatile (Ward et al., 2021). En effet, elle peut par exemple également être utilisée pour réaliser un POCUS abdominal à la suite du POCUS thoracique. Plus la fréquence est haute, meilleure est la qualité de l'image, mais moins grande est la profondeur. De manière générale, le gain est inférieur au gain utilisé pour l'échographie abdominale pour mieux voir la ligne pleurale. La ligne pleurale est une ligne hyperéchogène qui représente le contact entre les deux plèvres. On règle la profondeur de manière à avoir la ligne pleurale sur $1/3$ à $1/2$ de la profondeur. Pour obtenir une bonne qualité d'image, il faut voir de manière claire : l'interface poumon-plèvre, l'ombre des côtes et les A-lines. Les A-lines représentent la réverbération de la ligne pleurale (figure 1).

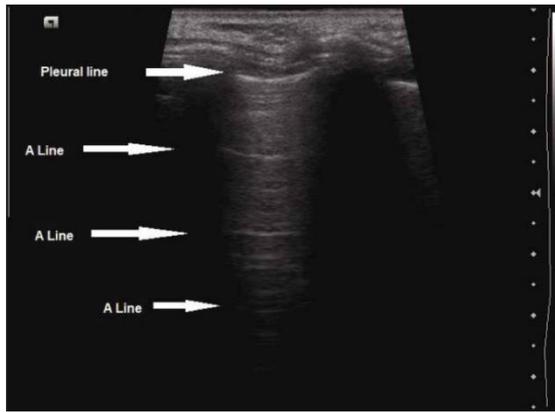
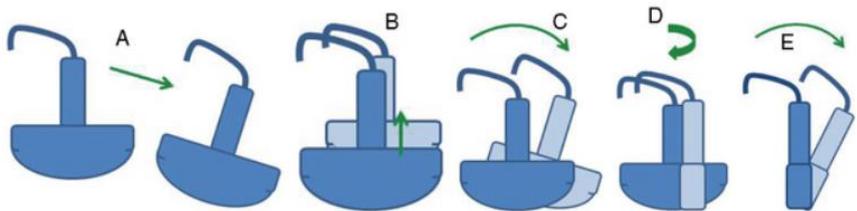


Figure 1 : ligne pleurale et A-lines (Bhoil et al., 2021)

2.2. Mouvements de la sonde échographique

Les mouvements possibles de la sonde sont : glisser ou balayer (déplacer la sonde sans la tourner), rouler (pour une sonde convexe, le mouvement se fait du côté le plus large), tourner (sans déplacer la sonde) et incliner (pour une sonde convexe, le mouvement se fait sur le côté le plus étroit) (figure 2).



Les mouvements de la sonde. A : glisser ; B : décaler ou balayer ; C : rouler ; D : tourner ; E : basculer ou incliner.

Figure 2 : mouvements de la sonde échographique. Medicine Key Fastest Medicine Insight Engine, publié le 23/04/2017. Consulté le 05/02/2024. <https://clemedicine.com/6-deroulement-de-lexamen-echographique/>

2.3. Signes que l'on peut identifier sur un poumon/thorax normal

Le « bat-sign » (Boysen et al., 2022) (Lichtenstein and Mezière, 2008) est une image mentale qui se forme lorsque la sonde est placée perpendiculairement aux côtes, le corps de la chauve-souris se trouve au niveau de la ligne pleurale et ses deux ailes sont formées par les côtes. Le bat-sign permet de différencier les A-lines de la ligne pleurale, la ligne pleurale étant la ligne hyperéchogène la plus proche des côtes. (figure 3)

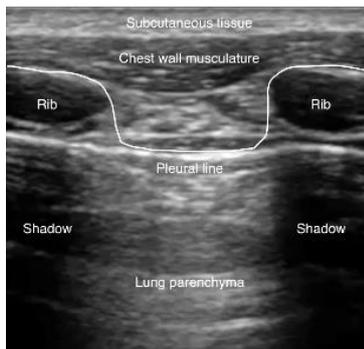


Figure 3 : le bat-sign. Stephen Alerhand et Betul Gulalp, publié le 8 mars 2021. Consulté le 06/06/2024. <https://www.acep.org/sonoguide/basic/lung/>

Les A-lines sont des lignes horizontales et résultent de la réverbération d'une grande partie des ultrasons sur la ligne pleurale en raison d'une interface tissu-air. On observe des lignes horizontales. Les A-lines disparaissent dès qu'il y a autre chose que de l'air en dessous de la ligne pleurale, mais également si la sonde n'est pas placée perpendiculairement à la plèvre (en n'étant plus perpendiculaire, les ondes ne se réfléchissent plus vers la sonde).

Le « glide sign » (figure 4) s'observe au niveau de la ligne pleurale lorsque la plèvre viscérale est en contact avec la plèvre pariétale et que la respiration entraîne un frottement entre les deux plèvres. Il est lié à la fréquence respiratoire. Il s'observe plus facilement lorsque l'animal respire de manière ample.



Figure 4 : le glide sign. Avec autorisation. (Boysen et al., 2022)

Le « curtain sign » représente la limite avec les structures abdominales (Boysen et al., 2022). Lorsque l'animal respire, de l'air (pouvant être dans le poumon ou libre lors de pneumothorax) se retrouve au-dessus de structures abdominales tissulaires. Cela se visualise par des A-lines qui bougent avec les structures abdominales au rythme de la respiration. Un « curtain sign » abdominal normal (figure 5) se déplace caudalement avec l'inspiration, n'est pas interrompu et est visible tout au long de la respiration. Il y a aussi un « curtain sign » au niveau du cœur. Les « curtain sign » anormaux seront détaillés plus loin.



Figure 5 : le curtain sign abdominal. Avec autorisation. (Boysen et al., 2022)

Le « lung pulse » est un petit mouvement de plèvre engendré par les battements cardiaques et n'est donc pas lié à la fréquence respiratoire (Boysen et al., 2022). Il ne peut être observé que dans les environs du cœur. Sa présence permet d'affirmer que les deux plèvres sont en contact à cet endroit, mais ne permet pas d'affirmer que le poumon est ventilé.



Figure 6 : le lung pulse. Avec autorisation. (Boysen et al., 2022)

Certaines lignes verticales peuvent être normales, l'une d'entre elles sera abordée ultérieurement, les autres ne seront pas examinées dans ce travail

[2.4. Zone explorable à l'échographie thoracique et limites de l'échographie](#)

Le POCUS thoracique s'effectue dans les limites du champ pulmonaire, mais celles-ci ne correspondent pas toujours aux repères anatomiques, donc comme repères d'exploration, on utilise : les muscles hypaxiaux, la scapula, les muscles pectoraux et le curtain sign abdominal.

L'échographie ne permettant pas de voir au travers de l'air, on ne peut objectiver que les 3mm les plus superficiels du poumon (Soldati et al., 2011), et cela que sur 2/3 de sa surface (côtes, muscles qui empêchent de tout visualiser). Il n'est donc possible d'identifier que les pathologies qui s'étendent vers la périphérie du poumon. Cependant en médecine humaine et vétérinaire, de nombreuses formes d'œdème interstitiel et de consolidation pulmonaire s'étendent en périphérie et sont donc objectivables avec l'échographie (Lisciandro et al., 2014), (Lichtenstein and Mezière, 2008), (International Liaison Committee on Lung Ultrasound (ILC-LUS) for the International Consensus Conference on Lung Ultrasound (ICCLUS) et al., 2012)

3. Questions binaires auxquelles le POCUS thoracique permet de répondre

3.1. Est-ce qu'il y a une pathologie pulmonaire visualisable ?

Un poumon normal engendre des A-lines en raison de sa forte composition aérienne, mais lorsque la proportion entre l'air et le tissu diminue, soit par suite de l'augmentation de la portion tissulaire (l'interstitium), soit par suite de cause de la diminution de la portion aérée (atélectasie) d'autres artéfacts sont visibles : les B-lines et puis à un stade avancé de la consolidation (Łobaczewski et al., 2021).

Le plus fréquemment, les B-lines sont la conséquence d'une augmentation du liquide extravasculaire (inflammation à cause d'une pneumonie ou de l'œdème pulmonaire par exemple) (Rademacher et al., 2014). Mais d'autres causes doivent être gardées en tête, et l'anamnèse est importante pour leur interprétation. Par exemple, avec des B-lines présents de manière chronique, on peut penser à de la fibrose pulmonaire. (Lisciandro and Lisciandro, 2021; Boysen et al., 2022). Par ailleurs, les pathologies interstitielles débutantes peuvent ne pas s'étendre en périphérie dans un premier temps. (Lichtenstein and Mezière, 2008; Soldati et al., 2011; International Liaison Committee on Lung Ultrasound (ILC-LUS) for the International Consensus Conference on Lung Ultrasound (ICC-LUS) et al., 2012)

Certains auteurs différencient les dry B-lines et wet B-lines. Les wet B-lines sont les B-lines liées à une augmentation de liquide extravasculaire et dont le nombre diminue avec le traitement, alors que les dry B-lines ne diminuent pas. (Lisciandro and Lisciandro, 2021; Boysen et al., 2022)

Les B-lines, aussi appelées « queue de comète » par le passé, sont des faisceaux verticaux hyperéchogènes, qui prennent origine de la plèvre viscérale, masquent les A-lines, bougent avec la respiration et se propagent sur toute la profondeur du champ. Le terme B-lines a été adopté comme terme de référence en médecine humaine (International Liaison Committee on Lung Ultrasound (ILC-LUS) for the International Consensus Conference on Lung Ultrasound (ICC-LUS) et al., 2012). Le nombre de B-lines individualisables dans une image varie entre 1 et 3 ; si plus de 3 B-lines sont présentes, il est plutôt question de B-lines coalescents ou infinies.

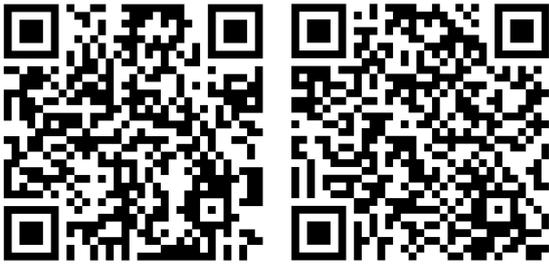
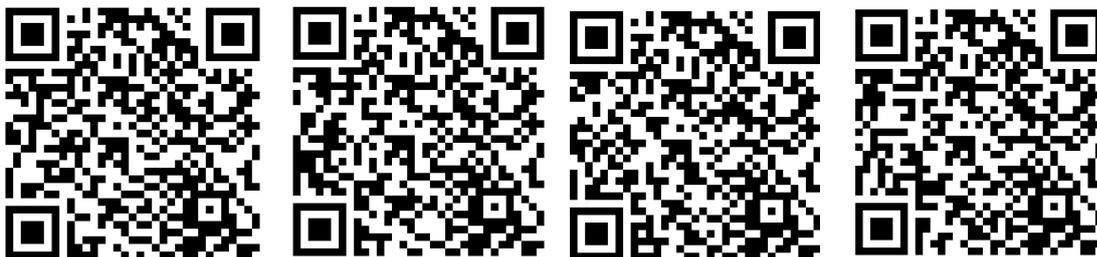


Figure 7 et 8 : une seule B-line et plusieurs B-lines. Avec autorisation. (Boysen et al., 2022)

Ces B-lines peuvent également survenir chez des animaux sains, entre 1 et 3 par hémithorax, mais observer plus de 3 B-lines dans une fenêtre acoustique est pathologique (International Liaison Committee on Lung Ultrasound (ILC-LUS) for the International Consensus Conference on Lung Ultrasound (ICC-LUS) et al., 2012).

La consolidation correspond à un stade plus avancé de pathologie pulmonaire, le tissu pulmonaire peut alors être visualisé avec l'échographie et apparaît hypoéchogène par rapport aux artéfacts en profondeur. Si le poumon est consolidé sur toute la profondeur, on peut parler de « tissue sign » ou d'« hépatisation du poumon » (figure 9) en raison de la similitude avec l'image du foie à l'échographie (Łobaczewski et al., 2021). Si uniquement la partie superficielle est consolidée, des lignes verticales sont observés distalement à la consolidation, ces artéfacts ne sont pas des B-lines parce qu'ils ne proviennent pas de la ligne pleurale, l'artéfact est parfois appelé « ring down artifact » (figure 10). Le « shred sign » (figure 11) représente la limite distale irrégulière observable lors de consolidation superficielle non organisée en nodule, à l'inverse du « nodule sign » (figure 12). (Lisciandro and Lisciandro, 2021; Boysen et al., 2022)



Figures 9,10,11 et 12 : tissue sign, ring down artifact, shred sign et nodule sign. Avec autorisation. (Boysen et al., 2022)

Contrairement à de l'effusion pleurale et un pneumothorax, une pathologie pulmonaire n'est pas dépendante de la gravité et peut donc être observée sur toute l'étendue du champ d'observation pulmonaire. Des patterns existent cependant, et correspondent aux patterns pulmonaires en radiologie. Ainsi une pneumonie par aspiration sera plutôt localisée cranio-ventralement, mais cette distribution n'est pas systématique (Kogan et al., 2008).

3.2. Est-ce qu'il y a de l'effusion ?

À l'échographie, le liquide apparaît hypoéchogène avec un renforcement postérieur.

L'effusion pleurale ne permet pas le contact des deux plèvres ce qui fait disparaître le glide sign et les A-lines aux endroits où le liquide s'est accumulé. Le liquide est soumis à la gravité et sera donc présent dans les parties déclives du thorax, variable selon la position de l'animal.

Ainsi à l'endroit de collection du liquide, on observera une ligne hyperéchogène (la plèvre pleurale) puis le liquide hypoéchogène. En profondeur, si la quantité d'effusion est particulièrement importante, il est possible de voir du poumon qui « flotte » dans le liquide.

L'origine et la cause d'apparition du liquide sera identifiable une fois le liquide ponctionné selon qu'il s'agisse de transsudat pur, transsudat modifié, exsudat stérile, exsudat septique, chyle ou pseudo-chyle ou encore un liquide hémorragique.

3.3. Est-ce qu'il y a un pneumothorax ?

À l'échographie, l'air engendre des artéfacts de réverbération, appelés A-lines dans le cadre du POCUS. Les A-lines sont donc présentes sur un poumon sain mais aussi sur un pneumothorax. On ne peut donc pas se baser sur la présence d'A-lines pour affirmer qu'un poumon est normal.

L'absence de glide sign (figure 13) en « région non gravité-dépendante » est en faveur d'un pneumothorax puisque son absence signifie que les plèvres ne sont pas en contact ou qu'il n'y a pas de mouvement des plèvres (Boysen, 2021).



Figure 13 : absence de glide sign lors de pneumothorax. Avec autorisation. (Boysen et al., 2022)

L'absence d'un lung pulse est également en faveur d'un pneumothorax (Boysen, 2021)(Boysen, 2021). Le lung pulse (figure 14) représente le mouvement des plèvres secondairement au battement cardiaque. Il est possible d'avoir un lung pulse sans glide sign si le poumon n'est pas ventilé mais que les plèvres sont en contact, par exemple lors d'intubation d'un seul poumon.



Figure 14 : lung pulse. Avec autorisation. (Boysen et al., 2022)

D'autres éléments permettent d'exclure un pneumothorax à l'endroit de la sonde s'ils sont présents parce que ces éléments ne peuvent apparaître que si les deux plèvres sont en contact : présence d'un glide sign, présence d'un lung pulse, présence de B-lines ou de consolidations (Boysen et al., 2022). En effet, les B-lines proviennent de la plèvre viscérale, donc si elles sont visualisées, cela signifie que les deux plèvres sont en contact.

On peut éventuellement utiliser le mode M pour mieux visualiser s'il y a ou non glissement des deux plèvres. Les structures extra thoraciques sont immobiles et engendreront de lignes horizontales. Lors d'un pneumothorax, l'air sera également statique et on obtiendra également des lignes horizontales, ce qui donnera une image avec un aspect de code barre (figure 15). Si les deux plèvres sont en contact et le poumon normal, le mouvement des structures intrathoraciques prendra un aspect de sable (figure 16), ce qui peut être imaginé comme étant un rivage (le sable pour le poumon et des vagues horizontales pour les structures extrathoraciques).

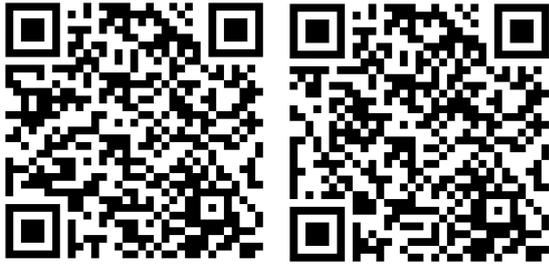


Figure 15 et 16 : mode M : code barre et rivage. Avec autorisation. (Boysen et al., 2022)

Plus récemment, des anomalies au niveau du curtain sign ont été identifiées lors de pneumothorax chez l'homme (Lee, 2017) et puis également chez des animaux (Boysen et al., 2019). Deux types d'anomalies de curtain sign sont décrits : le curtain sign asynchrone et le curtain sign double. Ces curtain sign surviennent lorsque de l'air libre est bloqué au niveau ou crânial au récessus costophrénique et sont donc surtout observés en région dorsale pour un animal en décubitus sternal (zone d'accumulation de l'air libre).

Le curtain sign asynchrone (figure 17) est un mouvement opposé du curtain sign par rapport au mouvement des organes abdominaux. Deux hypothèses de causes ont été relevées (Boysen et al., 2019). La première serait qu'à l'inspiration, la pression négative attire le diaphragme contre la cage thoracique ce qui expulse l'air libre bloqué crânialement en même temps que la contraction du diaphragme repousse les organes abdominaux caudalement. La deuxième serait la présence d'air immobile dans le récessus costophrénique alors que le contenu abdominal est déplacé caudalement.



Figure 17 : curtain sign asynchrone. Avec autorisation. (Boysen et al., 2022)

Le curtain sign double (figure 18) aurait également deux origines possibles. La première serait lors d'hernie diaphragmatique, à l'échographie, les organes seraient bordés de part et d'autre par des A-lines en mouvement avec la respiration. La deuxième cause serait lors de pneumothorax où le diaphragme est en contact avec la cage thoracique en emprisonnant une bulle d'air caudalement ; alors du contenu abdominal serait également bordé par des A-lines.



Figure 18 : curtain sign double. Avec autorisation. (Boysen et al., 2022)

Cependant, il n'y a pas systématiquement une anomalie au niveau du curtain sign lors de pneumothorax, le terme « pseudo-curtain sign » décrit cette impression de curtain sign normal alors qu'il y a en fait un pneumothorax, en général important, à l'origine.

4. Explication des différents protocoles

4.1. TFAST = Thoracic focused assessment with sonography for trauma (Lisciandro et al., 2008); (Boysen and Lisciandro, 2013)

4.1.1. Objectif recherché du protocole

Le protocole TFAST est le premier protocole paru en médecine vétérinaire en 2008 ayant comme objectif d'être utilisé dans un contexte de traumatisme

En 2016, le protocole TFAST a été modifié, par McMurray et al. (McMurray et al., 2016) pour rajouter le site diaphragmatico-hépatique (DH) faisant alors également partie du protocole AFAST (Abdominal Focussed Assessment with Sonography for Trauma) (Lisciandro et al., 2009) afin de permettre de visualiser la veine cave, le foie, la vésicule biliaire et de différencier l'effusion pleurale de l'effusion péricardique.

4.1.2. Explication du protocole

Ce protocole propose l'investigation du thorax sur base de 4 sites (figure 19) : le chest tube site (CTS) (à droite et gauche) qui est le point le plus haut du thorax directement dorsalement à l'appendice xyphoïde localisé, ce qui correspond au 7e-9e EIC et le pericardial site (PCS) (à droite et à gauche) qui est localisé entre le 5e et le 6e EIC ventro-latéralement.

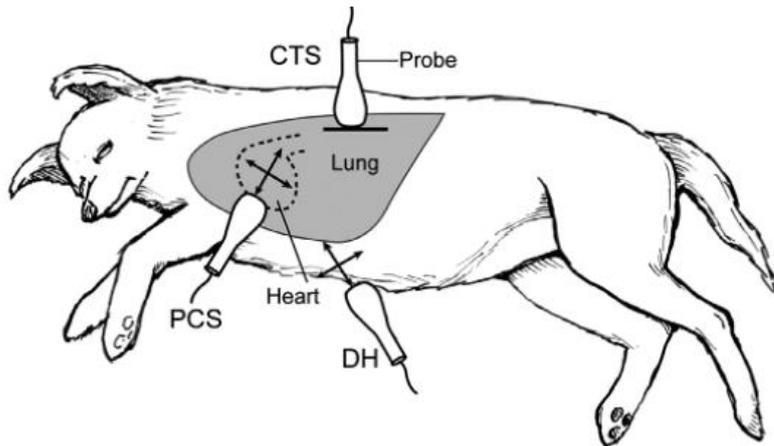


Figure 19 : le chest tube site (CTS) et le pericardial site (PCS). Lisciandro GR. Abdominal and thoracic focused assessment with sonography for trauma, triage and monitoring in small animals. J Vet Emerg Crit Care 2011;21(2):113)

Le CTS est considéré comme l'endroit où l'air libre s'accumulerait sur un animal en décubitus latéral et est évalué en plaçant la sonde dans l'axe du chien (longitudinalement). Le CTS sert donc de site pour évaluer la présence de pneumothorax (sur base de la perte du glide sign)

Le PCS est proposé comme endroit pour évaluer la présence ou l'absence de liquide pleural et péricardique. Le PCS de droite permet de visualiser le cœur dans son axe long et court et permet ainsi d'évaluer le ratio entre l'oreillette gauche et l'aorte (La/Ao) permettant d'évaluer la congestion et d'évaluer subjectivement le volume du ventricule gauche afin d'estimer la volémie.

L'animal n'est pas tondu et de l'alcool est utilisé comme milieu de contact. L'animal est placé latéralement pour réaliser l'échographie d'un CTS et des deux PCS puis il est déplacé en décubitus sternal pour évaluer le deuxième CTS. Cependant, si l'animal est en détresse respiratoire, l'examen est réalisé totalement en position sternale.

Le site diaphragmatico-hépatique (DH) rajouté en 2016 se situe au niveau de l'appendice xyphoïde en orientant la sonde en direction du thorax. Il permet de visualiser la veine cave, le foie, les veines hépatiques, la vésicule biliaire et le poumon. Il offre également la possibilité de différencier effusion péricardique et pleurale.

4.1.3. Capacité de réponse aux questions majeures (Walters et al., 2018)

Une étude de médecine vétérinaire a comparé les résultats obtenus avec le TFAST et le scanner (Walters et al., 2018). En médecine humaine, le scanner est en effet utilisé comme moyen de référence pour le diagnostic de pathologies traumatiques. (Hyacinthe et al., 2012)

TFAST n'a pas pour objectif d'identifier les pathologies pulmonaires, de plus il n'évalue le poumon que sur deux sites : le CTS bilatéralement.

Quant à l'observation d'effusion : sur les 6 patients avec effusion pleurale, seuls 3 ont été identifiés avec le TFAST et il n'y a pas eu de faux positifs (50% de sensibilité et 100% de spécificité). La sensibilité et spécificité de l'identification d'effusion péricardique n'a pas été évaluée dans cette étude parce qu'aucun patient ne présentait d'effusion péricardique.

Pour ce qui est de l'air libre, la corrélation entre le TFAST et le CT était mauvaise. En effet, sur les 6 pneumothorax confirmés au scanner, seul 1 a été identifié avec le TFAST (16% de sensibilité) et le TFAST a en plus identifié 2 faux positifs parmi les 15 animaux étudiés (77% de spécificité).

Le faible nombre de patients et la principale limitation de cette étude : sur 15 évalués, 6 avaient un pneumothorax et 6 de l'effusion pleurale.

4.2. Vet BLUE (Lisciandro et al., 2014)

4.2.1. Objectif recherché du protocole

Vet BLUE (veterinary bedside lung ultrasound exam), dont l'acronyme est inspiré du protocole BLUE de médecine humaine (Lichtenstein and Mezière, 2008).

Vet BLUE a été développé afin d'évaluer la présence de B-lines sur un nombre plus important de sites que le TFAST (seul protocole décrit au moment de la parution du protocole Vet BLUE) qui n'évalue le poumon que sur 2 sites (le CTS évalué bilatéralement), alors que Vet BLUE évalue le poumon sur 8 sites (4 sur chaque hémithorax). Vet BLUE se concentre également plus sur l'identification de syndrome alvéolo-interstitiel dont les effets sont objectivables diffusément. Vet BLUE n'a pas été développé dans le but de détecter des masses pulmonaires focales.

4.2.2. Explication du protocole

Le protocole Vet Blue se compose de 9 sites (figure 20) : caudal gauche et droite, périhilaire gauche et droite, médial gauche et droite, crânial gauche et droite et la vue diaphragmatico-hépatique. Ce protocole s'effectue sur des animaux en décubitus sternal ou debout, la sonde est perpendiculaire au thorax pendant tout l'examen.

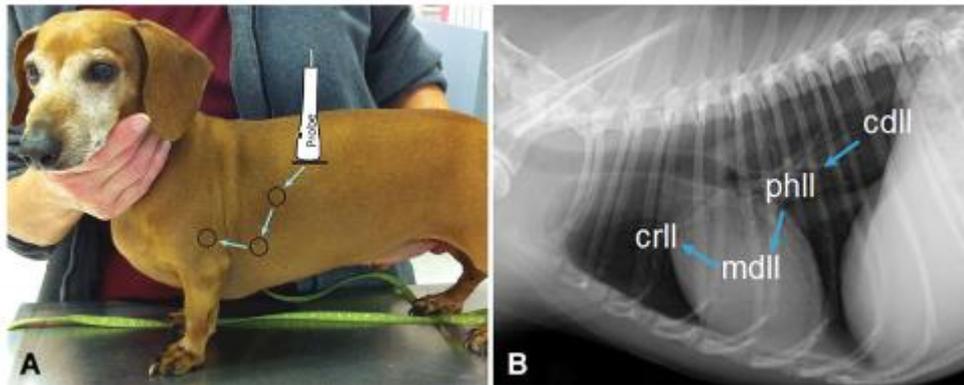


Figure 20 : sites de Vet BLUE : caudodorsal lung lobe (cdll) aussi appelé CdTZ (caudo-dorsal transition zone) , perihilar lung lobe (phll), middle lung lobe (mdll), cranial lung lobe (crlI) aussi appelé (=CrTZ = cranial transition zone) (Lisciandro et al., 2014)

Le protocole Vet BLUE commence à gauche au niveau du site caudo-dorsal (9-10^e EIC dans le tiers supérieur du thorax, ce qui correspond au chest tube site du TFAST), ensuite l'exploration continue caudalement jusqu'à l'apparition du curtain sign. Ce point caudal s'appelle CdTZ (= caudo-dorsal transition zone). À cet endroit, la sonde est déplacée de manière à scanner 3 EIC : le premier caudalement au CdTZ, le deuxième sur le CdTZ et le dernier crânialement au CdTZ.

On trace ensuite une ligne imaginaire qui va du CdTZ au coude (=vetblue line), au milieu de cette ligne se trouve le site périhilaire (entre le 6^e et 7^e EIC). À cet endroit, la sonde est à nouveau déplacée de manière à scanner 3 EIC.

Cette ligne imaginaire est suivie jusqu'au 4^e-5^e EIC (se déplacer dorsalement au cœur s'il est visualisé à cet endroit) afin d'atteindre le site médial et y scanner à nouveau 3 EIC.

Ensuite, le membre antérieur est déplacé crânialement afin d'identifier la limite crâniale du poumon (correspond au CrTZ = cranial transition zone), c'est le site crânial. On scanne 3 EIC à cet endroit, crânialement au cœur.

Enfin, se placer au site diaphragmatico-hépatique du protocole qui se situe caudalement au processus xyphoïde et qui permet de la même manière que pour TFAST d'évaluer la veine cave, le foie, les veines hépatiques, la vésicule biliaire et le poumon. Il offre également la possibilité de différencier effusion péricardique et pleurale

Le même chemin est parcouru sur l'autre hémithorax.

4.2.3. Capacité de réponse aux questions majeures (Cole et al., 2021)

Pour les pathologies pulmonaires :

Vet BLUE ne passe pas en revue tout le thorax, uniquement 4 sites pour chaque hémithorax.

Vet BLUE a permis d'identifier la consolidation chez tous les animaux qui avaient de la consolidation diffusément mais sur les quatre animaux qui avaient une masse intrathoracique focale, seule une a été identifiée avec Vet BLUE. Pour l'identification de syndrome alvéolo-interstitiel, la sensibilité de Vet BLUE était moins bonne que celle de la radiographie par rapport au standard du scanner (Dancer et al., 2019; Cole et al., 2021)

Pour l'effusion pleurale :

Cette étude relève d'une part que vet BLUE identifiait l'effusion pleurale présente au niveau du site crânial pour deux animaux sur trois (66%). Dans les cas où Vet BLUE ne l'identifiait pas, l'effusion était identifiée au scanner comme étant en petite quantité et présente uniquement au site crânial. D'autre part, Vet BLUE ne permettait pas l'identification d'effusion pleurale au niveau des sites périhilaires même si l'effusion était identifiée sur le même animal au niveau du site crânial. La sensibilité de vet BLUE dans l'identification de l'effusion pleurale au niveau de sites non déclives semble donc être moins bonne. Il n'y a pas toutefois pas eu de faux positifs.

Pour le pneumothorax :

Vet BLUE n'a pas su identifier le pneumothorax pour deux animaux sur trois. Sa sensibilité pour la détection de pneumothorax est donc mauvaise (comme celle du TFAST).

Contrairement au TFAST, la spécificité de Vet BLUE était meilleure puisqu'il y avait moins de faux positifs.

Cette étude montre donc que Vet BLUE est utile pour identifier un pneumothorax et de l'effusion pleurale (bonne spécificité) mais qu'il ne devrait pas être utilisé pour exclure ces pathologies (mauvaise sensibilité)

Cette étude a plusieurs limitations :

- le faible nombre d'animaux étudiés (31 animaux ont eu un Vet BLUE et un scanner, parmi ceux-là 16 avaient un syndrome alvéolo-interstitiel, 7 de la consolidation, 3 un pneumothorax et 3 de l'effusion pleurale) et parmi ceux-là, peu avaient une pathologie extrapulmonaire.
- Le fait que Vet BLUE ait été réalisé par des débutants alors que le scanner a été lu par un spécialiste.

Le scanner n'a pas été réalisé immédiatement après le Vet BLUE (moyenne de 19h), des différences peuvent survenir à la suite du temps écoulé, mais une étude en médecine humaine a montré que le temps écoulé (maximum 24h) entre l'échographie et le scanner n'impactait pas la concordance entre ces deux méthodes de diagnostic. (Tierney et al., 2020)

4.3. vetFAST-ABCDE (Armenise et al., 2019)

4.3.1. Objectif recherché du protocole

Ce protocole s'inscrit dans la même logique que le protocole ABCDE pour l'évaluation de patients (Airway-Breathing-Circulation-Disability-Exposure) et a surtout été développé pour les animaux traumatisés. En effet, le protocole vetFAST-ABCDE évalue : la trachée (airway), le poumon (breathing), le cœur et la veine cave caudale (circulation), la gaine du nerf optique et ainsi l'augmentation de pression intracrânienne (disability) et propose des réévaluations fréquentes (exposure).

4.3.2. Explication du protocole

Le milieu de contact proposé est l'alcool, sauf s'il y a des plaies, alors du NaCl 0,9% est utilisé. Pour évaluer le diamètre du nerf optique, du gel échographique est utilisé

L'animal est tondu pour l'abdomen (10x10cm autour de l'ombilic), le thorax (le tiers moyen du thorax : du 4^e au 7^e EIC) et le cou. La peau est étirée pour accéder aux endroits qui n'ont pas été tondu.

Les sondes utilisées sont une sonde micro-convexe de 5,6 – 8 MHz pour le thorax et l'abdomen, une sonde phased array de 2,5-3,5 MHz pour le cœur et une sonde linéaire 12 MHz pour mesurer le diamètre de la gaine du nerf optique et évaluer les voies aériennes.

La position que l'animal présente à son arrivée définit la manière dont le vetFAST-ABCDE se réalise, puisqu'il est évalué dans la position dans laquelle il est présenté :

- Si l'animal est présenté en décubitus latéral, l'hémithorax accessible est évalué en premier suivi de toutes les vues de l'abdomen, puis le cœur (via l'hémithorax accessible), puis l'animal est mis en décubitus sternal (ou dans l'autre décubitus) pour réaliser le reste des vues thoraciques et cardiaques.
- Si l'animal est présenté en décubitus latéral droit, la veine cave est évaluée en mettant l'animal en décubitus latéral gauche
- Si l'animal est présenté en décubitus latéral gauche, la veine cave est évaluée en même temps que l'abdomen. Finalement la trachée et l'œil gauche sont évalués.

Le thorax est ici évalué presque dans son entièreté avec une sonde orientée perpendiculairement aux côtes, en suivant un « S » (figure 21): le scan commence en partie dorsale du 9^e EIC, puis la sonde est déplacée en évaluant chaque EIC jusqu'au 4^e EIC, elle est ensuite descendue jusqu'à mi-hauteur du thorax et l'évaluateur examinera le 4^e jusqu'au 9^e EIC. Ensuite, la partie ventrale du thorax est évaluée en déplaçant la sonde dans le tiers ventral du thorax puis crânialement jusqu'au 4^e EIC. Cette procédure est effectuée de la même manière sur l'autre hémithorax.



Figure 21 : chemin parcouru par la sonde sur un hémithorax pour la partie pulmonaire de vetFAST-ABCDE (Armenise et al., 2019)

4.3.3. Capacité de réponse aux questions majeures (Armenise et al., 2019).

Aucune étude ne compare la justesse de ce protocole en comparaison avec le scanner, mais lors de la publication du protocole, une comparaison avec les radiographies a été réalisée (Armenise et al., 2019).

Pour l'identification de pathologie pulmonaire, l'échographie a identifié plus de syndrome alvéolo-interstitiel (AIS) que la radiographie. Les éléments comptabilisés comme syndrome alvéolo-interstitiel ici étaient la présence de plus de 3 B-lines dans une fenêtre ou la

présence de consolidation. Ainsi l'échographie a identifié 11 AIS de plus que la radiographie, mais afin d'interpréter la justesse de ces diagnostics d'AIS, il aurait fallu les comparer au scanner.

L'effusion thoracique avérée par thoracocentèse chez 29 animaux a été identifiée dans 94% des cas (sensibilité 94%) à l'échographie alors que seulement 31% des cas ont été identifiés avec la radiographie (sensibilité 31%). Il n'y a pas eu de faux positifs (spécificité 100%).

Le pneumothorax avéré par thoracocentèse chez 16 animaux a été détecté dans 93% des cas (sensibilité 93%) par vetFAST-ABCDE contre 90% de sensibilité pour la radiographie. Il n'y a pas eu de faux positifs (spécificité 100%).

Pour l'effusion thoracique et le pneumothorax, cette étude compare donc le résultat de deux techniques par rapport à la thoracocentèse alors que le gold standard est le scanner. Il est donc possible que la sensibilité réelle soit inférieure aux chiffres rapportés. Mais la comparaison aux radiographies est tout de même sensée parce qu'il s'agit de l'autre alternative couramment utilisée pour les animaux traumatisés. Une limitation pour la détection de pathologie pulmonaire est le fait qu'une partie seulement du thorax est sondée et qu'ainsi seule une partie du thorax est passée en revue.

4.4. Calgary PLUS (Boysen et al., 2022)

4.4.1. Objectif recherché du protocole

Ce protocole se veut plus flexible que les précédents, et propose aux cliniciens d'adapter leur manière de scanner le thorax en fonction de leur suspicion clinique. Ces suspicions cliniques sont les questions binaires majeures : il y a-t-il une pathologie pulmonaire visualisable ? il y a-t-il de l'effusion pleurale ? il y a-t-il un pneumothorax ?

4.4.2. Explication du protocole

Ce protocole se réalise sur un animal debout ou en décubitus sternal. La sonde est orientée perpendiculairement aux côtes et est placée derrière le membre thoracique, ce qui correspond à peu près au 6^e EIC. À cet endroit, l'évaluateur identifie ou non le glide sign et une éventuelle pathologie pulmonaire (ex : consolidation). Si un lung slide est présent, la sonde est déplacée caudalement jusqu'à l'identification de la limite caudale du champ explorable (curtain sign). La particularité de ce protocole est qu'il propose une séquence différente selon la suspicion clinique (figure 22) :

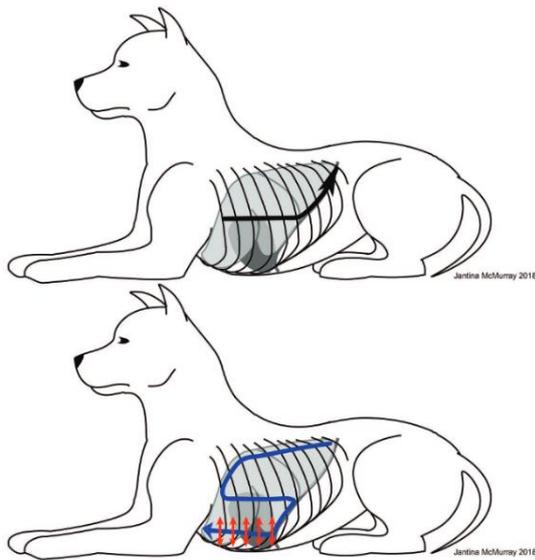


Figure 22 : le protocole PLUS, qui est une modification du “VetFAST-ABCDE”. En haut le mouvement de la sonde si un pneumothorax est suspecté ; en bas, le mouvement de la sonde si une pathologie pulmonaire ou de l’effusion pleurale est suspectée. Jantina McMurray 2018

Si un pneumothorax est suspecté, la sonde est déplacée caudo-dorsalement où l’air s’accumulerait préférentiellement et le curtain sign est évalué. Si le glide sign n’est plus identifié, la sonde est déplacée ventralement jusqu’à l’obtention du lung point. Les auteurs notent qu’il faut éviter d’évaluer le glide slide sur un site où on voit aussi un curtain sign puisqu’il pourrait induire l’examineur en erreur en raison du mouvement visualisé.

Si de l’effusion pleurale ou péricardique est suspectée, la sonde est déplacée ventralement jusqu’au site péricardio-diaphragmatique (où l’on peut voir le cœur et le diaphragme sur la même image, ce qui est possible chez la majorité des chiens) puis la sonde est tournée afin d’être parallèle aux côtes. Chaque EIC est évalué en déplaçant la sonde crânialement et en roulant la sonde de manière à identifier des petites quantités de liquide. Les auteurs qualifient l’image obtenue en cas d’effusion pleurale de « sail sign » (figure 23) alors que l’image obtenue sur un poumon normal est qualifiée de « ski jump sign » (figure 24)

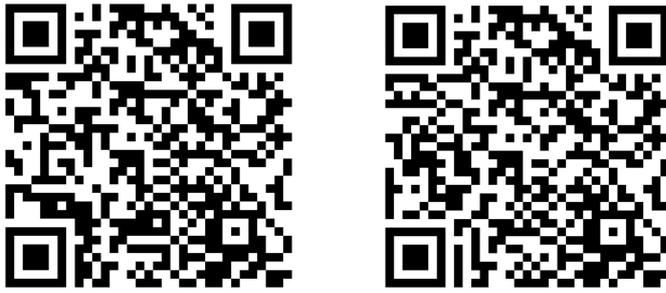


Figure 23 et 24 : Sail sign et Ski jump sign. Avec autorisation (Boysen et al., 2022)

Si une pathologie pulmonaire est suspectée, la sonde parcourt le thorax en traçant un « S » de la même manière que pour le protocole vetFAST-ABCDE : la sonde est glissée crânialement, puis descendue jusqu'en milieu de thorax, ensuite caudalement jusqu'au curtain sign, à nouveau descendue jusqu'au cœur et enfin glissée crânialement.

Cela est effectué sur les deux hémithorax. Le site subxyphoïde est évaluée à la fin ; la sonde est inclinée sur 45° de part et d'autre de la ligne médiale.

4.4.3. Capacité de réponse aux questions majeures

Ce protocole étant le plus récent, il n'a pas encore été comparé par rapport à d'autres méthodes de diagnostic tel que le scanner.

5. Sites à évaluer afin de répondre aux questions majeures

Il y a une discordance entre les protocoles dans la nécessité de tondre ou non et dans le milieu de contact utilisé. Tondre prend du temps et est moins esthétique. Diverses études montrent que réaliser des images sans tondre est possible et permet de bons résultats (Lisciandro et al., 2014; Dicker et al., 2020). Mais il est préférable d'utiliser du gel échographique plutôt que de l'alcool si l'animal risque d'être défibrillé dans un futur proche.

5.1. Comment améliorer la sensibilité lors de suspicion de pathologie pulmonaire ?

Afin d'évaluer les pathologies pulmonaires, la portion du thorax explorée est déterminante dans la sensibilité du protocole, plus la zone explorée est importante, meilleure est la sensibilité. En effet, la sensibilité du VetFAST-ABCDE était meilleure que celle de Vet-BLUE dans la détection de pathologies pulmonaire. Cette différence est atténuée lorsque la pathologie sous-jacente est diffuse.

Idéalement la localisation des consolidations et des B-lines (et leur nombre : 1,2,3 ou coalescents) doit être notées afin de permettre un suivi dans le temps du patient, et d'évaluer l'efficacité du traitement mis en place.

5.2. Comment améliorer la sensibilité lors de suspicion d'effusion pleurale

L'effusion pleurale se cherche en région déclive puisque les liquides sont soumis à la gravité. Ainsi, Les protocoles utilisant des sites fixes quelle que soit la position de l'animal ont une moins bonne sensibilité (TFAST 50%, Vet BLUE 66%) que le protocole vetFAST-ABCDE (sensibilité de 94%) qui évalue les deux hémithorax presque dans leur entièreté, et l'animal est évalué dans les trois décubitus.

Différents auteurs (Cole et al., 2021), (Boysen et al., 2019) (Milliner and Tsung, 2017) suggèrent de placer la sonde perpendiculairement mais surtout également parallèlement aux côtes afin d'identifier de plus petits volumes d'effusion pleurale. En effet, l'étude pilote réalisée par S.boysen, S.Chalhoub et A.Romero «Veterinary point-of-care ultrasound probe orientation for detection of pleural effusion in dog cadavers by novice sonographers: a pilot study» («Abstracts from the Veterinary Emergency and Critical Care Ultrasound Society,» 2020) semble montrer qu'il y a plus de probabilité à détecter un faible volume d'effusion pleurale lorsque la sonde est placée parallèlement aux côtes.

Selon les auteurs du Calgary PLUS (Boysen et al., 2022), il faut combiner la présence d'éléments en faveur et l'absence d'éléments d'exclusion pour conclure sur la présence d'effusion pleurale. Les éléments en faveur de l'effusion pleurale à l'endroit de la sonde sont : l'absence de glide sign et la présence d'un liquide hypoéchogène formant des angles aigus et des bords irréguliers qui suit la courbure du diaphragme. Les éléments qui excluent la présence d'effusion pleurale à l'endroit de la sonde sont : la présence de glide sign, de B-lines, de consolidation, d'un lung pulse ou d'un artéfact de réverbération.

Il est important de différencier l'effusion pleurale de l'effusion péricardique. Une fenêtre importante à évaluer est la fenêtre péricardio-diaphragmatique (Boysen et al., 2022) (qui est la même chose que la fenêtre diaphragmatico-hépatique) chez les animaux où le cœur est en contact avec le diaphragme : si l'effusion est péricardique, ventralement il restera un petit triangle médiastinal entre le péricarde et le diaphragme où il n'y a pas d'effusion (figure 25). Il est également possible de différencier effusion pleurale et péricardique dans les vues cardiaques (que l'abord soit parasternal droit ou gauche). En cas d'effusion péricardique on verra du fluide s'incurvant autour du cœur (figure 26). Il est parfois nécessaire de modifier la profondeur dans les paramètres de l'échographe afin de voir le fluide s'incurver.

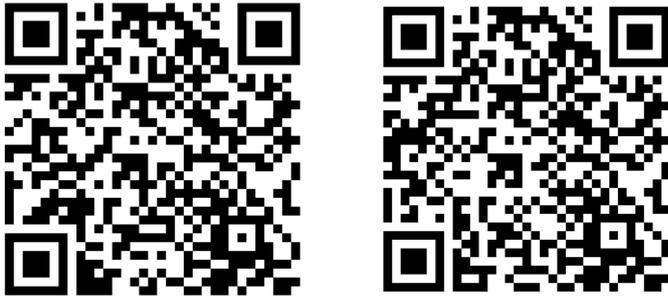


Figure 25 et 26 : effusion péricardique visualisée dans la fenêtre péricardio-diaphragmatique avec visualisation d'un triangle médiastinal et effusion péricardique visualisée dans l'axe court du cœur en abord parasternal droit. Avec autorisation (Boysen et al., 2022)

5.3. Comment améliorer la sensibilité lors de suspicion de pneumothorax

L'air libre se cherche en région haute puisque l'air est moins dense que le liquide. Les protocoles utilisant des sites fixes quelle que soit la position de l'animal ont une moins bonne sensibilité (TFAST 50%, Vet BLUE 66%) que le protocole vetFAST-ABCDE (sensibilité de 94%) qui évalue les deux hémithorax presque dans leur entièreté, et l'animal est évalué dans les trois décubitus.

Walters et al. (Walters et al., 2018) signalent qu'utiliser uniquement l'absence de glide sign pour le diagnostic d'un pneumothorax (comme dans TFAST et Vet BLUE) n'est pas assez sensible. De plus, ils suggèrent qu'il est important d'évaluer la partie caudo-dorsale du thorax parce qu'il s'agit de l'endroit où l'air s'accumulerait si l'animal est en décubitus sternal. D'autres changements sont suggérés par rapport aux protocoles TFAST et Vet BLUE, notamment de changer la position de la sonde, identifier le lung point et évaluer le curtain sign. Ces changements augmenteraient la sensibilité pour la détection de pneumothorax.

(Boysen et al., 2022) distinguent d'une part l'élément en faveur d'un pneumothorax à l'endroit de la sonde qui est l'absence de glide sign, et les éléments diagnostics d'un pneumothorax : la présence d'un lung point ou d'un curtain sign anormal. D'autre part il y a des éléments qui excluent un pneumothorax à l'endroit de la sonde : la présence d'un glide sign, la présence d'un lung pulse et la présence de B-lines ou de consolidation.

6. Comment enseigner le POCUS aux vétérinaires, aux praticiens ?

Une revue systématique de médecine humaine (Birrane et al., 2018) a regroupé les études où l'apprentissage de l'échographie a été intégrée dans le cursus des étudiants, que cela soit dans un but d'apprentissage de l'anatomie, de la physiologie, de comparer différentes méthodes d'apprentissage ou autres.

Cette revue a conclu que 6 points sont importants pour l'intégration de l'échographie (et donc ne concerne pas uniquement le POCUS) dans le cursus :

- Intégrer l'échographie le plus possible dans le cursus
- Évaluer la réussite ou non du programme de manière objective. Et il est important d'avoir un système de gestion d'images
- Impliquer des membres du personnel de différents services mais qui utilisent l'échographie tous les jours
- Les simulateurs sont des aides utiles pour l'enseignement en absence de patient,
- Enseigner en petits groupes semble plus adapté
- Il est important de susciter l'enthousiasme des étudiants

À la suite du Covid-19, il y a eu une forte croissance de l'intérêt pour l'apprentissage à distance du POCUS, en témoignent le nombre de publications évaluant l'apprentissage en ligne pour le POCUS incluses dans la revue systématique de Harel-Sterling en médecine humaine sur les méthodes d'apprentissages de POCUS (figure 27) (Harel-Sterling, 2023).

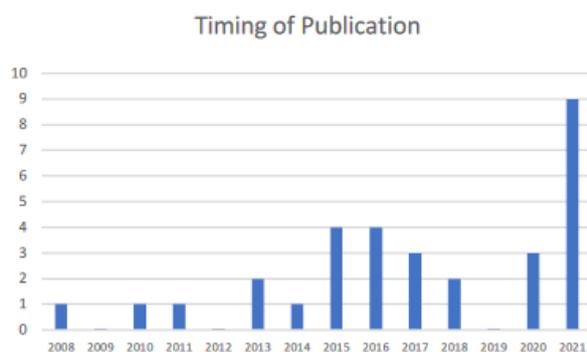


Figure 27 : nombre de publications évaluant l'apprentissage en ligne pour le POCUS incluses dans l'étude (Harel-Sterling, 2023).

Cette revue se penche sur 31 articles dont les méthodes d'apprentissages étudiées sont au moins en partie réalisées à distance et évalue les avantages et limites de ces méthodes. Ces méthodes d'apprentissages sont ici regroupées en trois groupes : l'apprentissage mixte (e-learning puis pratique avec la sonde), uniquement en ligne et l'utilisation d'appareils portatifs/télésonographie. L'auteure compare les styles d'apprentissage sur base des niveaux de Kirkpatrick atteints. Ces niveaux allant de K1 à K4 sont : K1 : réaction du participant à la formation K2 : l'apprentissage du participant à la suite de la formation, K3 : un changement du comportement du participant à la suite de la formation, K4 : l'impact de la formation sur l'organisation à la suite du changement de comportement du participant (Falletta, 1998).

Les apprentissages en ligne uniquement semblent plus bénéfiques pour les novices que pour les personnes ayant déjà une certaine connaissance du sujet (Platz et al., 2011; Ray et al., 2017), qui elles avaient des résultats significativement moins bons que celles ayant appris en présentiel (Ienghong et al., 2021). L'apprentissage en ligne permet une bonne progression dans l'interprétation des images mais pas dans l'acquisition des images. Le niveau acquis variait selon les études entre K1 et K2.

L'apprentissage mixte permettrait aux étudiants d'avoir des bonnes bases avant l'exercice pratique et ainsi d'en tirer le maximum. Avec la télésonographie, l'instructeur qui peut être connecté ailleurs que ce soit en temps réel ou en différé sait donner un feedback. Il en ressort une bonne capacité d'acquisition d'images par les étudiants. Que ce soit pour l'enseignement mixte ou la télésonographie, toutes les études montrent l'acquisition du niveau K2, et une étude l'acquisition du niveau K3.

Cette review souligne que les niveaux K3 et K4 étaient très peu mesurés et qu'il était donc difficile d'estimer l'effet de ces formations sur la gestion des patients, et que des études futures devraient inclure ces aspects.

La méthode idéale à mettre en place semble fort dépendante des moyens mis à disposition de l'université ainsi que du temps que l'étudiant peut passer en présentiel. L'apprentissage mixte et la télésonographie semblent être les meilleures options et permettraient l'apprentissage de l'acquisition des images ainsi que l'interprétation des images. La télésonographie et l'enseignement entièrement en ligne permettant l'apprentissage sans

que l'étudiant ne doit être présent. L'inconvénient majeur de la télésonographie est le coût important du dispositif.

Enfin, afin d'évaluer la compétence de manière objective, différents papiers ont vu le jour en médecine humaine (Tolsgaard et al., 2013, 2014; Todsén et al., 2015).

Un consensus d'experts de différentes spécialités (Tolsgaard et al., 2013) a été obtenu via la méthode Delphi et a permis la mise en place d'une échelle OSAUS (Objective Structured Assessment of Ultrasound Skills) (figure 28) qui sur base de 7 paramètres, avec des scores allant de 1 à 5 permet d'estimer la compétence d'une personne réalisant des échographies. Ces 7 paramètres sont : la connaissance de l'indication de l'examen, connaissance appliquée de l'équipement échographique, optimisation de l'image, protocole systématique, interprétation des images, documentation de l'examen effectué avec la prise d'images et décision médicale.

	1	2	3	4	5
1. Indication for the examination					
If applicable. Reviewing patient history and knowing why the examination is indicated.	Displays poor knowledge of the indication for the examination		Displays some knowledge of the indication for the examination		Displays ample knowledge of the indication for the examination
2. Applied knowledge of ultrasound equipment					
Familiarity with the equipment and its functions, i.e. selecting probe, using buttons and application of gel.	Unable to operate equipment		Operates the equipment with some experience		Familiar with operating the equipment
3. Image optimization					
Consistently ensuring optimal image quality by adjusting gain, depth, focus, frequency etc.	Fails to optimize images		Competent image optimization but not done consistently		Consistent optimization of images
4. Systematic examination					
Consistently displaying systematic approach to the examination and presentation of relevant structures according to guidelines.	Unsystematic approach		Displays some systematic approach		Consistently displays systematic approach
5. Interpretation of images					
Recognition of image pattern and interpretation of findings.	Unable to interpret any findings		Does not consistently interpret findings correctly		Consistently interprets findings correctly
6. Documentation of examination					
Image recording and focused verbal/written documentation.	Does not document any images		Documents most relevant images		Consistently documents relevant images
7. Medical decision making					
If applicable. Ability to integrate scan results into the care of the patient and medical decision making.	Unable to integrate findings into medical decision making		Able to integrate findings into a clinical context		Consistent integration of findings into medical decision making

doi:10.1371/journal.pone.0057687.t003

Figure 28 : les 7 paramètres de l'échelle OSAUS (Tolsgaard et al., 2013)

Cette échelle a ensuite été testée en obstétrique (Tolsgaard et al., 2014) puis dans le cadre de POCUS (Todsén et al., 2015) et sa capacité d'estimer la compétence a été confirmée.

Ces études sont manquantes en médecine vétérinaire, mais nous pouvons supposer que les résultats seraient relativement similaires.

7. Discussion

TFAST (Boysen and Lisciandro, 2013) était le protocole le plus répandu dans l'étude de McDonald et al (McDonald et al., 2023). Toutefois, il n'est pas le protocole le plus sensible ni le plus spécifique dans l'identification d'effusion pleurale ou de pneumothorax, mais il est le protocole le plus rapide puisqu'il n'évalue que 5 points. TFAST ne doit pas être utilisé pour évaluer la présence de pathologie pulmonaire puisqu'il n'a pas été pensé dans ce but (Lisciandro et al., 2008). Il est important de garder à l'esprit que l'endroit de collection du liquide d'effusion ou de l'air libre est lié à l'effet de la gravité, ainsi l'évaluation du CTS lors de recherche de pneumothorax a surtout du sens pour un animal en décubitus latéral mais pas pour un animal en décubitus sternal. Une spécificité de 77% pour la détection de pneumothorax (Walters et al., 2018) est problématique puisque cela entraîne un risque de ponctionner du tissu pulmonaire plutôt que de l'air libre. Il semble alors judicieux d'évaluer d'autres éléments tels que l'identification du lung point ou l'observation du curtain sign avant de ponctionner. La spécificité pour la détection d'effusion pleurale était de 100%, mais la sensibilité que de 50% (Walters et al., 2018). En raison de cette faible sensibilité, l'absence d'observation de signes de pneumothorax ou d'effusion pleurale n'est donc pas suffisante pour exclure la présence de ces pathologies, mais TFAST permet de confirmer la présence d'effusion pleurale le cas échéant (Walters et al., 2018).

Vet BLUE (Lisciandro et al., 2014) présente une meilleure sensibilité et spécificité que TFAST (Cole et al., 2021), mais sa sensibilité n'est pas suffisante pour pouvoir exclure une pathologie lorsque les signes échographiques ne sont pas visualisés. Cependant, l'observation de signes de pneumothorax ou d'effusion pleurale permet d'en affirmer la présence (bonne spécificité). Vet BLUE présente l'avantage de n'évaluer qu'un nombre limité de points et donc d'être rapide. De la même manière que TFAST, lors de la réalisation d'un Vet BLUE, il faut tenir compte de l'endroit où s'accumule préférentiellement l'air ou les liquides.

Les protocoles VetFAST-ABCDE (Armenise et al., 2019) et PLUS (Boysen et al., 2022) semblent plus adaptés pour la détection de pathologie pulmonaire, d'effusion plurale et de pneumothorax parce qu'ils suivent les recommandations qui permettraient une meilleure sensibilité, notamment la recherche du curtain sign et du lung point en cas de pneumothorax. Ces deux protocoles sont similaires dans leur manière d'évaluer le thorax,

passant en revue une grande partie de celui-ci et ont donc par la même occasion une durée de réalisation plus longue. La plus grande flexibilité de PLUS permet de supposer une obtention de réponses aux questions plus rapide que VetFAST-ABCDE. De plus, VetFAST-ABCDE recommande de tondre un carré sur le thorax ce qui demande également du temps, alors que tondre ne semble pas nécessaire (Lisciandro et al., 2014; Dicker et al., 2020). Ce dernier a une meilleure sensibilité et spécificité que la radiographie dans l'identification de pathologie pulmonaire, d'effusion pleurale et de pneumothorax, mais afin de mieux comparer ce protocole aux deux précédents, une comparaison avec le scanner serait plus adaptée. PLUS devrait probablement avoir une sensibilité et spécificité similaire à VetFAST-ABCDE mais des publications supplémentaires sont nécessaires pour affirmer cette similarité.

Les différents niveaux de Kirkpatrick atteints pour l'enseignement mixte, la télésonographie et l'enseignement uniquement en ligne ont été relevés parmi 31 articles comparés (Harel-Sterling, 2023). Cependant seules deux études évaluaient si le niveau K3 était atteint et aucune le niveau K4. De nouvelles études recherchant ces niveaux pour l'enseignement mixte et la télésonographie permettraient de peut-être de dégager une différence de résultat entre ces modalités. Des études évaluant le temps nécessaire lors des parties pratiques seraient également intéressantes pour l'organisation du cours.

L'échelle OSAUS (Tolsgaard et al., 2013) permet d'évaluer la compétence en POCUS et donc pourrait être utilisé dans le suivi des étudiants mais pourrait être également utilisé comme objectifs à atteindre au long terme dans la carrière professionnelle des participants s'ils sont motivés à s'améliorer à la suite de la formation.

Pour finir, le POCUS thoracique possède un rôle complémentaire à la radiologie et au scanner dans l'identification de pathologies thoraciques. Le choix de l'examen complémentaire dépend de la confiance du praticien en ses compétences, du matériel à sa disposition et de l'état critique du patient. Le scanner est le gold standard en médecine humaine pour l'identification de pathologies thoraciques mais la nécessité de sédaté des animaux instables afin de les garder immobiles rend cet examen moins adapté à l'urgence vétérinaire, bien que certaines études semblent montrer que le scanner produit des images de bonne qualité chez des patients éveillés ou légèrement sédatés avec un artefact de mouvement limité (Oliveira et al., 2011a, 2011b; Shanaman et al., 2012)

8. Conclusion

Après analyse des quatre protocoles dans ce travail, il apparaît que la fréquence de leur utilisation n'est pas en lien avec une meilleure performance de réponse aux questions qui se posent en situation d'urgence. Il est alors important de savoir qu'au-delà de l'intérêt potentiel de chaque protocole, il faut garder en mémoire leurs limites de sensibilité et de spécificité, surtout pour TFAST et Vet BLUE qui ont une plus faible sensibilité dans la détection d'effusion pleurale et de pneumothorax.

Pour évaluer la présence ou non d'une pathologie pulmonaire via le POCUS, le protocole utilisé doit impérativement passer en revue la plus grande partie du thorax. Pour juger de la présence éventuelle d'effusion pleurale, la recherche doit se focaliser sur les régions déclives et la sonde doit idéalement être placée parallèlement aux côtes pour détecter des faibles volumes d'effusion. La différence entre effusion pleurale et péricardique se détermine surtout au niveau de la fenêtre péricardio-diaphragmatique et dans les vues cardiaques. Enfin, pour apprécier la présence éventuelle de pneumothorax, l'absence de glide sign seul n'est pas suffisant pour le diagnostic d'un pneumothorax, le lung point doit être recherché et le curtain sign évalué en région moyenne et dorsale. En plus de penser aux éléments en faveur des différentes pathologies suspectées, le praticien devrait également chercher d'éventuels signes qui excluent la pathologie afin de limiter le biais de confirmation.

Quant à l'organisation du cours, il faut prendre en compte les points abordés dans la revue systématique de Birrane et al. 2018 et également inclure du temps pour pratiquer la théorie apprise même si une partie de l'enseignement est donné en ligne. L'échelle OSAUS devrait être appliquée pour évaluer les étudiants mais pourrait également leur être enseignée afin de leur présenter les différents paramètres de progression au long terme.

Ce travail devrait également être effectué pour le POCUS abdominal et cardiaque dans le futur.

Bibliographie

- Abstracts from the Veterinary Emergency and Critical Care Ultrasound Society, 2020. . *Ultrasound J.* 12, 45, s13089-020-00191-6. doi:10.1186/s13089-020-00191-6
- Armenise, A., Boysen, R.S., Rudloff, E., Neri, L., Spattini, G., Storti, E., 2019. Veterinary-focused assessment with sonography for trauma-airway, breathing, circulation, disability and exposure: a prospective observational study in 64 canine trauma patients. *J. Small Anim. Pract.* 60, 173–182. doi:10.1111/jsap.12968
- Bhoil, R., Ahluwalia, A., Chopra, R., Surya, M., Bhoil, S., 2021. Signs and lines in lung ultrasound. *J. Ultrason.* 21, e225–e233. doi:10.15557/JoU.2021.0036
- Birrane, J., Misran, H., Creaney, M., Shorten, G., Nix, C.M., 2018. A Scoping Review of Ultrasound Teaching in Undergraduate Medical Education. *Med. Sci. Educ.* 28, 45–56. doi:10.1007/s40670-017-0491-4
- Boysen, S., Gommerson, K., Chalhoub, S., 2022. The essentials of veterinary point of care ultrasound: pleural space and lung. Edra, an imprint of Grupo Asis, Zaragoza, Spain.
- Boysen, S., McMurray, J., Gommeren, K., 2019. Abnormal Curtain Signs Identified With a Novel Lung Ultrasound Protocol in Six Dogs With Pneumothorax. *Front. Vet. Sci.* 6, 291. doi:10.3389/fvets.2019.00291
- Boysen, S.R., 2021. Lung Ultrasonography for Pneumothorax in Dogs and Cats. *Vet. Clin. North Am. Small Anim. Pract.* 51, 1153–1167. doi:10.1016/j.cvsm.2021.07.003
- Boysen, S.R., Lisciandro, G.R., 2013. The Use of Ultrasound for Dogs and Cats in the Emergency Room. *Vet. Clin. North Am. Small Anim. Pract.* 43, 773–797. doi:10.1016/j.cvsm.2013.03.011
- Cole, L., Pivetta, M., Humm, K., 2021. Diagnostic accuracy of a lung ultrasound protocol (Vet BLUE) for detection of pleural fluid, pneumothorax and lung pathology in dogs and cats. *J. Small Anim. Pract.* 62, 178–186. doi:10.1111/jsap.13271
- Dancer, S.C., Le Roux, C., Fosgate, G.T., Kirberger, R.M., 2019. Radiography is less sensitive relative to CT for detecting thoracic radiographic changes in dogs affected by blunt trauma secondary to a motor vehicle accident. *Vet. Radiol. Ultrasound* 60, 648–658. doi:10.1111/vru.12795
- DeFrancesco, T., Royal, K., 2018. A survey of point-of-care ultrasound use in veterinary general practice. *Educ. Health Prof.* 1, 50. doi:10.4103/EHP.EHP_21_18
- Dicker, S.A., Lisciandro, G.R., Newell, S.M., Johnson, J.A., 2020. Diagnosis of pulmonary contusions with point-of-care lung ultrasonography and thoracic radiography compared to thoracic computed tomography in dogs with motor vehicle trauma: 29 cases (2017-2018). *J. Vet. Emerg. Crit. Care* 30, 638–646. doi:10.1111/vec.13021
- Falletta, S., 1998. *Evaluating Training Programs: The Four Levels* Donald L. Kirkpatrick, Berrett-Koehler Publishers, San Francisco, CA, 1996, 229 pp. *Am. J. Eval.* 19, 259–261. doi:10.1016/S1098-2140(99)80206-9
- Harel-Sterling, M., 2023. Can you teach a hands-on skill online? A scoping review of e-learning for point-of-care ultrasound in medical education. *Can. Med. Educ. J.* doi:10.36834/cmej.75272
- Hyacinthe, A.-C., Broux, C., Francony, G., Genty, C., Bouzat, P., Jacquot, C., Albaladejo, P., Ferretti, G.R., Bosson, J.-L., Payen, J.-F., 2012. Diagnostic Accuracy of Ultrasonography in the Acute Assessment of Common Thoracic Lesions After Trauma. *Chest* 141, 1177–1183. doi:10.1378/chest.11-0208
- Ienghong, K., Suzuki, T., Tiamkao, S., Bhudhisawasdi, V., Gaysonsiri, D., Apiratwarakul, K., 2021. Point of Care Ultrasound Training during the Coronavirus Disease 2019 Pandemic. *Open Access Maced. J. Med. Sci.* 9, 443–446. doi:10.3889/oamjms.2021.6197
- International Liaison Committee on Lung Ultrasound (ILC-LUS) for the International Consensus Conference on Lung Ultrasound (ICC-LUS), Volpicelli, G., Elbarbary, M., Blaivas, M., Lichtenstein, D.A., Mathis, G., Kirkpatrick, A.W., Melniker, L., Gargani, L., Noble, V.E., Via, G., Dean, A., Tsung, J.W., Soldati, G., Copetti, R., Bouhemad, B., Reissig, A., Agricola, E., Rouby, J.-J., Arbelot, C., Liteplo, A., Sargsyan, A., Silva, F., Hoppmann, R., Breikreutz, R., Seibel, A., Neri, L., Storti, E., Petrovic, T., 2012. International evidence-based recommendations for

- point-of-care lung ultrasound. *Intensive Care Med.* 38, 577–591. doi:10.1007/s00134-012-2513-4
- Kogan, D.A., Johnson, L.R., Jandrey, K.E., Pollard, R.E., 2008. Clinical, clinicopathologic, and radiographic findings in dogs with aspiration pneumonia: 88 cases (2004–2006). *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 233, 1742–1747. doi:10.2460/javma.233.11.1742
- Lee, F.C.Y., 2017. The Curtain Sign in Lung Ultrasound. *J. Med. Ultrasound* 25, 101–104. doi:10.1016/j.jmu.2017.04.005
- Lichtenstein, D.A., Mezière, G.A., 2008. Relevance of lung ultrasound in the diagnosis of acute respiratory failure: the BLUE protocol. *Chest* 134, 117–125. doi:10.1378/chest.07-2800
- Lisciandro, G.R., Fosgate, G.T., Fulton, R.M., 2014. FREQUENCY AND NUMBER OF ULTRASOUND LUNG ROCKETS (B-LINES) USING A REGIONALLY BASED LUNG ULTRASOUND EXAMINATION NAMED VET BLUE (VETERINARY BEDSIDE LUNG ULTRASOUND EXAM) IN DOGS WITH RADIOGRAPHICALLY NORMAL LUNG FINDINGS. *Vet. Radiol. Ultrasound* 55, 315–322. doi:10.1111/vru.12122
- Lisciandro, G.R., Lagutchik, M.S., Mann, K.A., Fosgate, G.T., Tiller, E.G., Cabano, N.R., Bauer, L.D., Book, B.P., Howard, P.K., 2009. Evaluation of an abdominal fluid scoring system determined using abdominal focused assessment with sonography for trauma in 101 dogs with motor vehicle trauma. *J. Vet. Emerg. Crit. Care* 19, 426–437. doi:10.1111/j.1476-4431.2009.00459.x
- Lisciandro, G.R., Lagutchik, M.S., Mann, K.A., Voges, A.K., Fosgate, G.T., Tiller, E.G., Cabano, N.R., Bauer, L.D., Book, B.P., 2008. Evaluation of a thoracic focused assessment with sonography for trauma (TFAST) protocol to detect pneumothorax and concurrent thoracic injury in 145 traumatized dogs. *J. Vet. Emerg. Crit. Care* 18, 258–269. doi:10.1111/j.1476-4431.2008.00312.x
- Lisciandro, G.R., Lisciandro, S.C., 2021. Lung Ultrasound Fundamentals, “Wet Versus Dry” Lung, Signs of Consolidation in Dogs and Cats. *Vet. Clin. North Am. Small Anim. Pract.* 51, 1125–1140. doi:10.1016/j.cvsm.2021.07.012
- Łobaczewski, A., Czopowicz, M., Moroz, A., Mickiewicz, M., Stabińska, M., Petelicka, H., Frymus, T., Szaluś-Jordanow, O., 2021. Lung Ultrasound for Imaging of B-Lines in Dogs and Cats-A Prospective Study Investigating Agreement between Three Types of Transducers and the Accuracy in Diagnosing Cardiogenic Pulmonary Edema, Pneumonia and Lung Neoplasia. *Anim. Open Access J. MDPI* 11, 3279. doi:10.3390/ani11113279
- McDonald, C., Barfield, D., Cole, L., 2023. Assessing primary care veterinarians’ use of and confidence in performing point-of-care ultrasound. *Vet. Rec.* 193, e3174. doi:10.1002/vetr.3174
- McMurray, J., Boysen, S., Chalhoub, S., 2016. Focused assessment with sonography in nontraumatized dogs and cats in the emergency and critical care setting. *J. Vet. Emerg. Crit. Care* 26, 64–73. doi:10.1111/vec.12376
- Milliner, B.H.A., Tsung, J.W., 2017. Lung Consolidation Locations for Optimal Lung Ultrasound Scanning in Diagnosing Pediatric Pneumonia. *J. Ultrasound Med.* 36, 2325–2328. doi:10.1002/jum.14272
- Oliveira, C.R., Mitchell, M.A., O’Brien, R.T., 2011a. THORACIC COMPUTED TOMOGRAPHY IN FELINE PATIENTS WITHOUT USE OF CHEMICAL RESTRAINT. *Vet. Radiol. Ultrasound* 52, 368–376. doi:10.1111/j.1740-8261.2011.01814.x
- Oliveira, C.R., Ranallo, F.N., Pijanowski, G.J., Mitchell, M.A., O’Brien, M.A., McMichael, M., Hartman, S.K., Matheson, J.S., O’Brien, R.T., 2011b. The VetMousetrap: a device for computed tomographic imaging of the thorax of awake cats. *Vet. Radiol. Ultrasound Off. J. Am. Coll. Vet. Radiol. Int. Vet. Radiol. Assoc.* 52, 41–52.
- Platz, E., Liteplo, A., Hurwitz, S., Hwang, J., 2011. Are Live Instructors Replaceable? Computer vs. Classroom Lectures for EFAST Training. *J. Emerg. Med.* 40, 534–538. doi:10.1016/j.jemermed.2009.08.030
- Rademacher, N., Pariaut, R., Pate, J., Saelinger, C., Kearney, M.T., Gaschen, L., 2014. TRANSTHORACIC LUNG ULTRASOUND IN NORMAL DOGS AND DOGS WITH CARDIOGENIC PULMONARY EDEMA: A PILOT STUDY. *Vet. Radiol. Ultrasound* 55, 447–452. doi:10.1111/vru.12151

- Ray, J.J., Meizoso, J.P., Hart, V., Horkan, D., Behrens, V., Rao, K.A., Karcutskie, C.A., Lenchus, J., Schulman, C.I., Dudaryk, R., 2017. Effectiveness of a Perioperative Transthoracic Ultrasound Training Program for Students and Residents. *J. Surg. Educ.* 74, 805–810. doi:10.1016/j.jsurg.2017.02.005
- Shanaman, M.M., Hartman, S.K., O'Brien, R.T., 2012. FEASIBILITY FOR USING DUAL-PHASE CONTRAST-ENHANCED MULTI-DETECTOR HELICAL COMPUTED TOMOGRAPHY TO EVALUATE AWAKE AND SEDATED DOGS WITH ACUTE ABDOMINAL SIGNS. *Vet. Radiol. Ultrasound* 53, 605–612. doi:10.1111/j.1740-8261.2012.01973.x
- Soldati, G., Sher, S., Testa, A., 2011. Lung and ultrasound: time to “reflect.” *Eur. Rev. Med. Pharmacol. Sci.* 15, 223–227.
- Tierney, D.M., Huelster, J.S., Overgaard, J.D., Plunkett, M.B., Boland, L.L., St. Hill, C.A., Agboto, V.K., Smith, C.S., Mikel, B.F., Weise, B.E., Madigan, K.E., Doshi, A.P., Melamed, R.R., 2020. Comparative Performance of Pulmonary Ultrasound, Chest Radiograph, and CT Among Patients With Acute Respiratory Failure*. *Crit. Care Med.* 48, 151–157. doi:10.1097/CCM.0000000000004124
- Todsen, T., Tolsgaard, M.G., Olsen, B.H., Henriksen, B.M., Hillingsø, J.G., Konge, L., Jensen, M.L., Ringsted, C., 2015. Reliable and Valid Assessment of Point-of-care Ultrasonography. *Ann. Surg.* 261, 309–315. doi:10.1097/SLA.0000000000000552
- Tolsgaard, M.G., Ringsted, C., Dreisler, E., Klemmensen, A., Loft, A., Sorensen, J.L., Ottesen, B., Tabor, A., 2014. Reliable and valid assessment of ultrasound operator competence in obstetrics and gynecology. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 43, 437–443. doi:10.1002/uog.13198
- Tolsgaard, M.G., Todsen, T., Sorensen, J.L., Ringsted, C., Lorentzen, T., Ottesen, B., Tabor, A., 2013. International Multispecialty Consensus on How to Evaluate Ultrasound Competence: A Delphi Consensus Survey. *PLoS ONE* 8, e57687. doi:10.1371/journal.pone.0057687
- Walters, A.M., O'Brien, M.A., Selmic, L.E., Hartman, S., McMichael, M., O'Brien, R.T., 2018. Evaluation of the agreement between focused assessment with sonography for trauma (AFAST/TFAST) and computed tomography in dogs and cats with recent trauma. *J. Vet. Emerg. Crit. Care* 28, 429–435. doi:10.1111/vec.12732
- Ward, J.L., Murphy, S.D., Lisciandro, G.R., Tropf, M.A., Viall, A.K., DeFrancesco, T.C., 2021. Comparison of curvilinear-array (microconvex) and phased-array transducers for ultrasonography of the lungs in dogs. *Am. J. Vet. Res.* 82, 619–628. doi:10.2460/ajvr.82.8.619