

Université
de Liège



ACADEMIE UNIVERSITAIRE WALLONIE-EUROPE
UNIVERSITE DE LIEGE
FACULTE DE MEDECINE VETERINAIRE
DEPARTEMENT CLINIQUE DES ANIMAUX DE COMPAGNIE ET DES EQUIDES
SERVICE D'IMAGERIE MEDICALE

**CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'ECHOGRAPHIE
INTERVENTIONNELLE DU RACHIS CHEZ LE CHIEN :
MISE AU POINT DE TECHNIQUES ECHOGUIDEES
POUR LES PONCTIONS SOUS-ARACHNOÏDIENNES
ET ANALYSE DE LEUR APPLICATION**

**CONTRIBUTION TO THE STUDY OF INTERVENTIONAL
SPINE ULTRASOUND IN THE DOG:
ESTABLISHMENT OF ULTRASOUND-GUIDED
TECHNIQUES FOR SUBARACHNOID PUNCTURES
AND ANALYSIS OF THEIR APPLICATION**

Anne-Laure ETIENNE

**THESE PRESENTEE EN VUE DE L'OBTENTION DU GRADE DE DOCTEUR
EN SCIENCES VETERINAIRES**

ANNEE ACADEMIQUE 2015-2016

*A Baptiste et Victoria,
En témoignage de tout mon Amour.*

C'est au moment de la rédaction de ces remerciements que je me retourne en pensant à toutes ces personnes qui m'ont aidée de près ou de loin à concrétiser ce travail. La liste est longue et je ne pourrais donc pas tous les citer mais un grand merci à vous tous qui m'avez permis de réaliser cette thèse...

Je voulais tout d'abord remercier Valeria de m'avoir proposé ce sujet de thèse qui m'a enthousiasmé dès le début. Son dynamisme, ses conseils, ses idées et ses rebondissements d'idées, sa lucidité, son accent et... son sourire m'ont vraiment guidé et stimulé durant toutes ces années passées à ses côtés. J'espère que ces points de repère resteront encore longtemps à mes côtés. Encore Merci pour l'encadrement durant cette thèse et plus généralement en clinique.

J'aimerais également remercier Dominique, mon co-promoteur, pour son apport scientifique. Ses corrections, ses remarques, ses conseils pour ma présentation et ses arguments pour augmenter ma confiance en moi m'ont été également bien précieux...

Je tiens à adresser mes remerciements à tous les membres de mon jury de thèse d'avoir accepté d'en faire partie : Professeur BALLIGAND, Professeur SAUNDERS, Professeur SCHOLTES, Professeur VANDEN BERG, Docteur VAN SOENS et Professeur VIGNOLI. J'aimerais aussi remercier les membres de mon comité de thèse pour leur soutien et conseils durant ce doctorat ainsi que leurs corrections et suggestions pour ce manuscrit. Je remercie également le Docteur GILLET d'avoir accepté de présider ce jury de thèse.

Je remercie tous mes actuels et anciens collègues de la Clinique Vétérinaire Universitaire pour leur collaboration, motivation et enthousiasme sans faille. Vous me permettez d'avoir un travail enrichissant, plaisant et épanouissant au quotidien. Un grand merci aussi à ceux qui ont volontiers et avec enthousiasme participé à mes manipulations sur les ponctions de liquide céphalo-rachidien tout en y apportant des conseils et remarques constructives.

Plus particulièrement, je souhaite vivement remercier mes collègues et aussi ami(e)s du Service d'Imagerie médicale. Ils m'ont témoigné un soutien et des encouragements inconditionnels durant toute la réalisation de cette thèse, un grand Merci ! Ils m'ont également permis de réaliser ce travail en prenant mon relais en clinique sans quoi rien n'aurait été possible. Merci Gégé (notre « booster » de troupes, mon modèle de disponibilité et de polyvalence au travail), Laurence (mon oreille attentive et compréhensive), Annalisa (notre top-chef italien, spécialités lasagnes), Mailis (notre « addict » de desserts et de trachées), Zoë (ma « princesse équine » préférée), Marion (notre adorable interne Française qui ne sait pas dire non), Aurélie (notre stagiaire Ultra Motivée), Adeline, Florent, Chiara, Eugénie... Je les remercie aussi d'avoir joué brillamment le rôle d'opérateurs expérimentés pour mes différentes manipulations.

Je tiens également adresser un merci chaleureux à Dominique, notre secrétaire et à nos techniciens d'imagerie, Laurie et Philippe, pour leur aide précieuse au quotidien mais aussi lors de mes manipulations pour cette thèse.

Je souhaite également remercier Dr Frédéric Snaps pour ses encouragements et son aide à me procurer des radiographies pour illustrer ce manuscrit.

J'adresse mes remerciements au Professeur Fabrice Audigié pour ses corrections minutieuses à distance, par Skype.

Je remercie également Dr Laurent Massart pour son aide incontournable, efficace et rapide pour les tests statistiques.

Merci Esther pour tes corrections d'anglais transcontinentales...

Je tenais à remercier mes parents de m'avoir toujours soutenue et encouragée à atteindre mes objectifs. Vous avez su, même à distance et depuis de nombreuses années, être à mon écoute et m'attribuer toute votre confiance. Je ne vous remercierai jamais assez pour tout ce que vous avez fait pour moi. Et puis surtout, merci de m'avoir appris à aimer ce métier en toute circonstance...

Merci à toi, Lili, d'être toujours ma complice malgré les kilomètres, par les messages, les pensées, les photos et les notes de musique... *Une sœur est un cadeau pour le cœur, un ami pour l'esprit, un fil d'or au sens de la vie.*

Un grand merci à toute ma famille, belle-famille et mes proches pour leurs présence et pensées à mon égard. Plus particulièrement, je tenais à apporter mes remerciements les plus affectueux à mes chers grands-parents béarnais. Votre amour transfrontière a grandement participé à l'élaboration de cette thèse.

Enfin, Christophe, il me tient à cœur de te remercier d'avoir été mon coéquipier de thèse « caché » durant toutes ces années. Tu m'as permis d'atteindre des objectifs nouveaux et différents indispensables à mon épanouissement professionnel et personnel. La réalisation de longue haleine de cette thèse a pu être menée jusqu'au bout aussi grâce à toi. Et finalement, comment ne pas conclure en adressant mes remerciements les plus tendres et bienveillants à Baptiste et Victoria, pour leur compréhension, à leur façon, de mon travail.

LISTE DES ABREVIATIONS

FRANÇAIS

- ESA : Espace sous-arachnoïdien
- LCR : Liquide céphalo-rachidien
- L5 : Cinquième vertèbre lombaire
- L6 : Sixième vertèbre lombaire
- L7 : Septième vertèbre lombaire
- MBP : Protéine basique myéline, *Myelin Basic Protein*
- MHz : Mégahertz
- PCR : Réaction en Chaîne par Polymérase, *Polymerase Chain Reaction*
- pNF-H : Neurofilaments phosphorilés à chaîne lourde, *phosphorylated neurofilament heavy chain*
- RT-PCR : Réaction en Chaîne par Polymérase après transcription inverse, *Reverse Transcription-Polymerase Chain Reaction*

ENGLISH

- CSF: Cerebrospinal Fluid
- L5: Fifth lumbar vertebra
- L6: Sixth lumbar vertebra
- L7: Seventh lumbar vertebra

TABLE DES MATIERES

RESUME	1
SUMMARY	5
INTRODUCTION	9
I. Guidage échographique	9
I.1. Guidage "dans le plan" ou "hors du plan"	10
I.2. Intérêts et limites.....	12
I.3. Equipement et préparation du patient.....	13
II. Les procédures de ponctions de l'espace sous-arachnoïdien (intrathécales ou spinales)	14
II.1. Ponction dans la cisterna magna (voie haute)	15
<i>II.1.a. Structures osseuses et articulaires.....</i>	15
<i>II.1.b. Structures nerveuses : encéphale, méninges et espace sous-arachnoïdien</i>	15
<i>II.1.c. Technique de ponction</i>	17
II.2. Ponction spinale lombaire (voie basse)	19
<i>II.2.a. Structures osseuses et articulaires.....</i>	19
<i>II.2.b. Structures nerveuses : moelle épinière, méninges et espace sous-arachnoïdien.....</i>	19
<i>II.2.c. Technique de ponction</i>	22
III. Aspects cliniques des ponctions de l'espace sous-arachnoïdien chez le chien.....	24
III.1. Nature, sécrétion et fonctions du liquide céphalo-rachidien	24
III.2. Récolte de liquide céphalo-rachidien.....	26
<i>III.2.a. Indications</i>	26
<i>III.2.b. Liquide céphalo-rachidien.....</i>	22
<i>III.2.c. Choix du site de ponction.....</i>	28
<i>III.2.d. Analyse du liquide céphalo-rachidien</i>	28
<i>III.2.e. Contre-indications et complications</i>	31
III.3. Myélographie – Myéloscanner	33
<i>III.3.a. Définition et objectifs de l'examen</i>	33
<i>III.3.b. Complications possibles</i>	38
III.4. Anesthésie spinale	41
<i>III.4.a. Historique et définition</i>	41
<i>III.4.b. Avantages et complications</i>	42
CONTEXTE ET OBJECTIFS.....	44

ETUDES	46
I. Etude I. Echoanatomie percutanée de la région lombaire caudale et ponction lombaire échoguidée chez le chien	46
II. Etude II. Echoanatomie percutanée de la région atlanto-occipitale et ponction cisternale échoguidée indirecte chez le chien et le chat	55
III. Etude III. Comparaison du guidage échographique et de la technique standard par palpation pour l’entraînement des opérateurs novices dans le placement des aiguilles dans l’espace sous-arachnoïdien lombaire sur cadavres de chiens	65
IV. Etude IV. Comparaison de l’effet du guidage échographique sur les ponctions de liquide céphalo-rachidien entre les localisations cisternale et lombaire chez le chien : une étude <i>ex-vivo</i>	77
DISCUSSION, CONCLUSIONS GENERALES ET PERSPECTIVES.....	90
I. Discussion.....	88
II. Conclusions générales.....	103
III. Perspectives	104
LISTE DES ARTICLES ORIGINAUX	106
BIBLIOGRAPHIE GENERALE	107

RESUME

Le guidage échographique percutané est devenu une procédure routinière en médecine vétérinaire chez nos animaux domestiques. Il permet le placement précis de l'aiguille dans la cible souhaitée. Les ponctions de l'espace sous-arachnoïdien chez le chien sont des actes fréquemment réalisés en pratique vétérinaire à des fins diagnostiques. Dans ces procédures, le placement de l'aiguille dans l'espace sous-arachnoïdien (atlanto-occipital ou lombaire) se réalise couramment à l'« aveugle » en palpant les repères anatomiques osseux mais cela peut être laborieux voire impossible chez certains patients comme également rapporté en médecine humaine. Cette thèse traite du guidage échographique pour le placement de l'aiguille lors des ponctions de l'espace sous-arachnoïdien.

Le placement de l'aiguille peut être fait sous contrôle échographique de deux façons différentes. Le « guidage indirect » est une méthode de guidage échographique différé. Le « guidage direct » est en temps réel, l'opérateur tenant dans une main l'aiguille ou l'aiguille montée sur une seringue et dans l'autre la sonde échographique. Il permet la visualisation directe de l'aiguille (si guidance directe), de la structure cible, des tissus adjacents (dont les structures vasculaires) et de la potentielle substance injectée tout en minimisant les risques de complications.

Les ponctions de l'espace sous-arachnoïdien se réalisent en plaçant l'aiguille soit dans la *cisterna magna* (voie haute) soit dans l'espace sous-arachnoïdien lombaire caudal (entre la cinquième et sixième vertèbres lombaires). Le placement cisternal est le plus fréquemment utilisé en pratique mais présente davantage de risques de lésions iatrogènes du tronc cérébral. La ponction par voie lombaire est techniquement plus difficile et est plus fréquemment contaminée de manière iatrogène par du sang. Les ponctions de l'espace sous-arachnoïdien ont plusieurs applications cliniques. Elles permettent de récolter du liquide céphalo-rachidien afin de l'analyser, de réaliser des myélographies ou myéloscanners en injectant du produit de contraste et aussi de procéder à des analgésies ou anesthésies spinales en injectant une/des substance(s) bloquant la conduction des nerfs spinaux.

La première étude établit l'échoanatomie percutanée de la région lombaire du chien grâce à des manipulations *ex-vivo* puis *in-vivo* et à la comparaison entre images échographiques et

coupes anatomiques. Puis, les images échographiques obtenues *ex-vivo* et *in-vivo* ont été utilisées pour identifier les repères pour une technique échoguidée d'introduction de l'aiguille spinale dans l'espace sous-arachnoïdien lombaire. L'échoanatomie de la région lombaire a été établie au moyen d'images transversales et longitudinales (sagittales et parasagittales) mettant en évidence des structures osseuses dont les processus épineux, le plancher du canal vertébral et les processus articulaires. La technique échoguidée a été mise au point en prenant comme repères les processus articulaires adjacents des cinquième et sixième vertèbres lombaires sur une image parasagittale oblique. Elle consiste à diriger l'aiguille spinale sous guidage échographique direct dans l'espace triangulaire entre les processus articulaires contigus des cinquième et sixième vertèbres lombaires, puis d'avancer pour entrer dans le canal vertébral. En utilisant ces repères précis d'anatomie, une technique échoguidée de ponction lombaire est applicable chez le chien.

La deuxième étude décrit l'anatomie échographique percutanée canine et féline de la région cisternale et une technique échoguidée indirecte pour la ponction cisternale. Les images obtenues *ex-vivo* et *in-vivo* ont été comparées avec les coupes anatomiques et utilisées pour identifier les repères de la ponction cisternale échoguidée. La procédure échoguidée a été établie sur des cadavres puis, appliquée *in-vivo* sur sept chiens et deux chats. Les repères anatomiques pour la ponction échoguidée sont la *cisterna magna*, la moelle épinière, les deux condyles occipitaux sur les images transverses, la crête occipitale externe et l'arc dorsal de la première vertèbre cervicale sur les images longitudinales. En utilisant ces repères anatomiques, une technique échoguidée indirecte pour les ponctions cisternales est applicable chez le chien et le chat.

La troisième étude a pour objectif de comparer l'utilité par des opérateurs novices des deux techniques, échoguidée et standard par palpation à l'« aveugle », pour accomplir un placement d'aiguille dans l'espace sous-arachnoïdien lombaire sur des cadavres de chiens. Avec leur consentement éclairé, soixante-sept étudiants vétérinaires de dernière année, sans aucune expérience en ponction lombaire ni en échographie/échoguidage, ont reçu une formation théorique courte sur chacune des deux techniques avant la manipulation et puis ont tenté de réaliser les techniques à l'« aveugle » et échoguidée sur des cadavres de chiens randomisés. Après la réalisation des deux procédures, les opérateurs ont rempli un questionnaire d'auto-évaluation à propos de leur performance et de leur confiance en soi. Huit opérateurs expérimentés ont validé le modèle « cadavre de chien » comme utilisable

pour l'entraînement au placement d'aiguille échoguidé et à l'« aveugle » dans l'espace sous-arachnoïdien lombaire basé sur une anatomie et une consistance réaliste des tissus. Le taux de réussite global pour les étudiants de dernière année sur le modèle cadavre était de 48% pour la méthode à l'« aveugle » et 77% pour celle échoguidée. Le guidage échographique augmente significativement le taux de réussite, diminue significativement le nombre de tentatives et augmente la confiance en soi en comparaison avec la technique à l'« aveugle ». La durée de la procédure de placement de l'aiguille n'est pas significativement modifiée avec la méthode échoguidée. Cette étude suggère que les cadavres de chiens sont des modèles valides pour le placement d'aiguille dans l'espace sous-arachnoïdien lombaire. Elle démontre que le guidage échographique est facilement et avantageusement applicable par des opérateurs inexpérimentés pour l'entraînement au placement d'aiguille dans l'espace sous-arachnoïdien lombaire sur des cadavres de chiens et ceci après une courte formation théorique.

La quatrième étude a pour objectif de comparer l'effet du guidage échographique pour le placement d'aiguille dans l'espace sous-arachnoïdien entre les localisations cisternale et lombaire. Avec leur consentement éclairé, 83 opérateurs ont participé à l'étude. Ils étaient divisés en quatre groupes selon leur expérience. Après une formation théorique courte, chaque opérateur a réalisé une ponction cisternale et lombaire avec la méthode à l'« aveugle » et sous contrôle échographique sur des cadavres tirés au sort. L'échoguidage lombaire était direct alors que celui cisternal était indirect. Après chaque procédure, les opérateurs ont rempli un questionnaire sur leur expérience, leur performance et leur confiance en soi. L'échoguidage augmente significativement le taux de réussite global de la ponction (comparée à la méthode en « aveugle ») pour l'ensemble du groupe d'opérateurs et ceci de manière plus significative pour la localisation lombaire. Le taux de réussite est amélioré chez les opérateurs inexpérimentés et expérimentés avec la localisation lombaire alors qu'avec celle cisternale il est amélioré que chez les opérateurs expérimentés. Le guidage échographique cisternal améliore significativement le nombre de tentatives, le temps et la confiance en soi chez les opérateurs inexpérimentés et expérimentés. Le guidage échographique lombaire augmente la confiance en soi chez les opérateurs inexpérimentés et expérimentés et améliore le nombre de tentatives chez les opérateurs inexpérimentés. La première cause d'échec citée était différente selon la localisation de la ponction et était liée à la nature de l'échoguidage. Les résultats de ce travail démontrent que l'application du guidage

différents paramètres selon la localisation de la ponction, que l'opérateur soit expérimenté ou pas. Ils indiquent aussi que les opérateurs inexpérimentés sont capables de réaliser des ponctions échoguidées après une formation théorique courte dans un contexte *ex-vivo*, justifiant l'utilité du guidage échographique à des fins pédagogiques.

L'étude de l'impact de l'échoguidage pour les procédures de placement d'aiguilles décrites dans cette thèse pourrait être développée et étudiée pour d'autres procédures techniquement difficiles ou à risques pour nos patients. Si les bénéfices de l'échoguidage mis en évidence *ex-vivo* dans ce travail s'avèrent transposables dans les conditions cliniques, les ponctions et injections sous-arachnoïdiennes seraient moins « effrayantes » pour les opérateurs novices et deviendraient des actes routiniers applicables par un grand nombre de vétérinaires.

SUMMARY

Percutaneous ultrasound guidance has become a routine procedure in veterinary medicine in domestic animals. It allows precise placement of the needle in the desired target. Punctures of the subarachnoid space in dogs are frequently carried out in veterinary practice for diagnostic purposes. In these procedures, the placement of the needle into the subarachnoid space (atlanto-occipital or lumbar) is commonly performed blindly by feeling the bony anatomical landmarks but this can be laborious or even impossible in some patients as reported in human medicine. The topic of this study is ultrasound guidance for the placement of the needle during puncture of the subarachnoid space.

The needle placement can be done under ultrasound guidance according to two methods. The "indirect guidance" is a method of deferred ultrasound guidance. The "direct guidance" is a real time procedure in which the operator holds the needle in one hand and the ultrasound probe in the other. It allows direct visualization of the needle (if direct guidance), the target structure, adjacent tissues (including vascular structures) and potential injectate while minimizing the risk of complications.

Punctures of the subarachnoid space are carried out by placing the needle in the *cisterna magna* or in the caudal lumbar subarachnoid space (between the fifth and sixth lumbar vertebrae). The cisternal puncture is most frequently used in practice but presents greater risk of iatrogenic lesions of the brain stem. The lumbar puncture is technically more difficult and is frequently contaminated by iatrogenic blood. Cerebrospinal fluid punctures have several clinical applications. They allow to collect cerebrospinal fluid for diagnostic testing, to realize myelograms or myeloscanners by injecting contrast medium and to perform spinal anesthesia or analgesia by injecting one or more substance(s) blocking the conduction of the spinal nerves.

Subarachnoid lumbar puncture is used commonly in the dog for cerebrospinal fluid collection and/or myelography. Percutaneous ultrasound anatomy of the lumbar region in the dog and a technique for ultrasound-guided lumbar puncture were described in the first study. Ultrasound images obtained *ex-vivo* and *in-vivo* were compared with anatomic sections and

used to identify the landmarks for ultrasound-guided lumbar puncture. The ultrasound-guided procedure was established on cadavers and then applied *in-vivo* on eight dogs. The anatomic landmarks for the ultrasound-guided puncture, which should be identified using the parasagittal oblique ultrasound image, were the articular processes of the fifth and sixth lumbar vertebrae and the interarcuate space. The spinal needle was directed under direct ultrasound-guidance toward the triangular space located between the contiguous articular processes of the fifth and sixth lumbar vertebrae and then advanced to enter the vertebral canal. Using these precise ultrasound anatomic landmarks, an ultrasound-guided technique for lumbar puncture is applicable to dogs.

Cisternal puncture in dogs and cats is commonly carried out. Percutaneous ultrasound anatomy of the cisternal region in the dog and the cat and an indirect technique for ultrasound-guided cisternal puncture were described in the second study. Ultrasound images obtained *ex-vivo* and *in-vivo* were compared with anatomic sections and used to identify the landmarks for ultrasound-guided cisternal puncture. The ultrasound-guided procedure was established in cadavers and then applied *in-vivo* in seven dogs and two cats. The anatomic landmarks for the ultrasound-guided puncture were the *cisterna magna*, the spinal cord, the two occipital condyles on transverse images, the external occipital crest and the dorsal arch of the first cervical vertebra on longitudinal images. Using these ultrasound anatomic landmarks, an indirect ultrasound-guided technique for cisternal puncture is applicable to dogs and cats.

The standard technique for placing a needle into the canine lumbar subarachnoid space is primarily based on the palpation of anatomic landmarks and the use of probing movements of the needle. However, this technique can be challenging for novice operators. The aim of the third observational, prospective, *ex vivo*, feasibility study was to compare ultrasound-guided versus standard anatomic landmark approaches for novices performing needle placement into the lumbar subarachnoid space using dog cadavers. Eight experienced operators validated the canine cadaver model as usable for training landmark and ultrasound-guided needle placement into the lumbar subarachnoid space based on realistic anatomy and tissue consistency. With informed consent, 67 final year veterinary students were prospectively enrolled in the study. Students had no prior experience in needle placement into the lumbar subarachnoid space nor use of ultrasound. Each student received a short theoretical training about each technique before the trial and then attempted blind landmark-

guided and ultrasound-guided techniques on randomized canine cadavers. After having performed both procedures, the operators completed a self-evaluation questionnaire about their performance and self-confidence. Total success rates for students were 48% and 77% for the landmark- and ultrasound-guided technique, respectively. Ultrasound guidance significantly increased total success rate when compared to the landmark-guided technique and significantly reduced the number of attempts. With ultrasound guidance self-confidence was improved, without bringing any significant change in duration of the needle placement procedure. Findings indicated that the use of ultrasound guidance and cadavers is a feasible method for training novice operators in needle placement into the canine lumbar subarachnoid space after short theoretical training.

Ultrasound-guided techniques for needle placement in the *cisterna magna* and in the lumbar subarachnoid space were described in the dog. The aim of the fourth observational, prospective, *ex-vivo* study was to compare the impact of ultrasound guidance for the cisternal versus lumbar needle placement using dog cadavers. With informed consent, 83 operators were prospectively enrolled in the study. They were divided in four groups depending on experience. Each operator received a short theoretical training about each technique before the trial and then attempted a cisternal and lumbar punctures with blind landmark-guided and ultrasound-guided techniques on randomized canine cadavers. The lumbar ultrasound-guidance was direct while the cisternal ultrasound-guidance was indirect. After having performed each procedure, the operators completed a self-evaluation questionnaire about their previous experience, their performance and their self-confidence. The ultrasound guidance significantly increased total success rate in both areas compared with the blind technique but more significantly in the lumbar region. The cisternal ultrasound guidance significantly improved the number of attempts, the time needed to perform the procedure and the self-confidence in inexperienced and experienced operators. The lumbar ultrasound guidance significantly increased the self-confidence in inexperienced and experienced operators and significantly decreased the number of attempts in inexperienced operators. The first cause of failure cited was different according to the location of the puncture and was related to the nature of ultrasound guidance. Findings indicated that the use of ultrasound guidance by novice and experienced operators improved different parameters according to the location of the needle placement. This study demonstrated that inexperienced operators are able to use ultrasound guidance after a short theoretical teaching session in an *ex-vivo*

context and this supports the use of ultrasound-guidance for learning and teaching purposes.

The study of the impact of ultrasound guidance for needle placement procedures described in this work could be developed and studied for other technically difficult or risky procedures on dogs. If the benefits of ultrasound guidance demonstrated *ex-vivo* in this work are transferable to the clinical conditions, punctures of the subarachnoid injections would be less « scary » for novice operators and become routine procedures applicable by a large numbers of veterinarians.

INTRODUCTION

Le guidage échographique percutané afin de réaliser des aspirations (de cellules ou de liquides), des biopsies, des placements de cathéters et des injections *in situ* de produits pharmaceutiques est devenu une procédure routinière en médecine vétérinaire des animaux domestiques. Il permet le placement précis de l'aiguille dans la cible souhaitée (une lésion ou une structure anatomique normale) (Hager *et al.*, 1985; Papageorges *et al.*, 1988; Barr, 1995; Kerwin, 1995; Penninck et Finn-Bodner, 1998; Wood *et al.*, 1998).

Les ponctions de l'espace sous-arachnoïdien (ESA) chez le chien sont des actes fréquemment réalisés en pratique vétérinaire à des fins diagnostiques pour le prélèvement de liquide céphalo-rachidien (LCR) (Di Terlizzi et Platt, 2009) ou pour l'injection de produit de contraste (Tanaka *et al.*, 2004). Les injections sous-arachnoïdiennes d'anesthésiants locaux (Novello *et al.*, 2008; Sarotti *et al.*, 2011; Sarotti *et al.*, 2013; Guo *et al.*, 2014) et de substances de chimiothérapie (Genoni *et al.*, 2014) qui par définition se mélangent au LCR ont également été récemment décrites en médecine vétérinaire. Lors de ces procédures, le placement de l'aiguille dans l'ESA (atlanto-occipital ou lombaire) se réalise couramment à l'«aveugle», en palpant les repères anatomiques osseux, mais cela peut être laborieux (Di Terlizzi et Platt, 2009) voire impossible chez certains patients comme également rapporté en médecine humaine (Peterson et Abele, 2005).

Cette thèse traite du guidage échographique pour le placement de l'aiguille lors des ponctions de l'ESA chez le chien. Avant de rappeler les aspects cliniques de ces ponctions (technique et intérêts) chez le chien, les principes et le potentiel du guidage échographique seront abordés dans cette introduction.

I. Guidage échographique

Le placement de l'aiguille peut être fait sous contrôle échographique de deux façons différentes. Le « guidage indirect » est une méthode de guidage échographique différé. Dans ce cas, une fois la cible repérée échographiquement (angle et profondeur de l'insertion de l'aiguille déterminés), la sonde échographique est retirée du patient et la ponction est réalisée

à l'« aveugle » en s'aidant des repères établis préalablement (Mattoon et Nyland, 2014). Ce guidage est plutôt réservé aux cibles de plus grande taille ou pour un épanchement important. La seconde méthode, nommée « guidage direct », est en temps réel. Lors de cette technique l'opérateur tient la sonde échographique dans une main et l'aiguille montée ou non sur une seringue dans l'autre. L'aiguille peut continuellement être visualisée durant son insertion à condition qu'elle reste dans le champ de vision de la sonde échographique. De même, son arrivée dans la cible peut être contrôlée en temps réel par l'opérateur (Menard et Papageorges, 1995; Mattoon et Nyland, 2014). Cette technique de guidage direct est celle qui nécessite le plus d'expérience de la part de l'opérateur car elle demande une bonne coordination œil-main. Un système de guide d'aiguille peut être également fixé sur la sonde échographique afin de maintenir l'aiguille dans le plan de l'image facilitant la technique d'échoguidage (Penninck et Finn-Bodner, 1998; Mattoon et Nyland, 2014).

I.1. Guidage « dans le plan » ou « hors du plan »

Le guidage échographique dans le plan (« in plane ») ou « long-axis » se réalise en mettant le grand axe de l'aiguille dans le plan du grand axe de la sonde échographique (**Figure 1**). L'aiguille est insérée au milieu de la largeur (petit côté) de la sonde. Ainsi, l'entièreté de l'aiguille avec sa pointe peut être visualisée dans un seul plan échographique. L'aiguille sera ensuite avancée vers la cible en la maintenant dans le plan de la sonde échographique afin de garder son entière visualisation durant toute la procédure (Sites *et al.*, 2010; Tirado *et al.*, 2013; AIUM, 2014; Vogel *et al.*, 2015). Elle sera visible sur l'image échographique comme une ligne hyperéchogène créant des artéfacts de réverbération et de lobes accessoires (Barthez *et al.*, 1997). Cette technique présente l'avantage de permettre une visualisation constante de l'aiguille au fil de sa progression afin de minimiser toute orientation aberrante de l'aiguille et d'éventuels traumatismes des structures avoisinantes. Toutefois, cette approche classique dans le plan implique des compétences techniques de premier ordre afin de maintenir l'aiguille dans la largeur du faisceau d'ultrasons, avec une précision infra-millimétrique, tout au long de sa trajectoire. Cette difficulté s'intensifie avec l'utilisation d'aiguilles de plus petit diamètre et l'augmentation de la profondeur de localisation des structures cibles.



Figure 1. Photographie d'un modèle « gélatine rose », d'une sonde microconvexe et d'une aiguille spinale orientée « dans le plan ».

Le guidage échographique hors du plan (« out of plane ») ou « short axis » se réalise en plaçant le grand axe de l'aiguille perpendiculaire à celui de la sonde échographique (**Figure 2**). Le faisceau d'ultrasons « coupe » l'aiguille en un point créant un point hyperéchogène sur l'écran. L'aiguille sera avancée perpendiculairement au grand axe de la sonde jusqu'à l'obtention sur l'écran de l'image de la pointe hyperéchogène de l'aiguille (Sites *et al.*, 2010; Tirado *et al.*, 2013; AIUM, 2014; Vogel *et al.*, 2015). Cette approche ne permet pas une visualisation continue de l'aiguille lors de son passage à travers les tissus, mais uniquement lorsqu'elle traverse le mince plan anatomique du faisceau de la sonde échographique. La technique hors du plan n'indique habituellement pas la relation de l'aiguille par rapport aux structures anatomiques, avant ou après qu'elle ait traversé le faisceau.



Figure 2. Photographie d'un modèle « gélatine rose », d'une sonde microconvexe et d'une aiguille spinale orientée « hors du plan ».

I.2. Intérêts et limites

Le guidage échographique offre plusieurs avantages par rapport à une technique à l'« aveugle », basée sur la palpation des repères anatomiques. Il permet la visualisation directe de l'aiguille (si guidance directe), de la structure cible, des tissus adjacents (dont les structures vasculaires) et de la potentielle substance injectée (Bhatia et Brull, 2013) sans nécessité d'anesthésier le patient à chaque procédure (Mattoon et Nyland, 2014) et en minimisant les risques de complications (Penninck et Finn-Bodner, 1998). En effet, si le Doppler est disponible sur l'échographe il peut être utilisé pour vérifier la vascularisation de la lésion et éviter les vaisseaux adjacents (Barr et Gaschen, 2011). De plus, l'échoguidage est souvent la procédure image-guidée la plus sûre, la plus rapide et la moins onéreuse (Vignoli et Saunders, 2011). En comparaison avec la fluoroscopie, l'absence de radiations ionisantes et la portabilité de l'équipement d'échographie sont deux autres atouts (Mattoon et Nyland, 2014).

Cependant, le guidage échographique ne peut pas être appliquée pour toutes les ponctions, notamment quand du gaz ou de l'os empêche la visualisation de la zone à ponctionner (Tidwell et Johnson, 1994; Zekas *et al.*, 2005; Mattoon et Nyland, 2014) et le guidage par fluoroscopie ou tomodensitométrie sera alors choisi (Tidwell et Johnson, 1994; Zekas *et al.*, 2005).

Le système de guide d'aiguille posé sur la sonde échographique associé à l'affichage des marqueurs électroniques sur l'image échographique du trajet prévisible de l'aiguille est la procédure de ponction échoguidée directe la plus facile. Cependant, avec ce support l'angle et la distance par rapport à la sonde avec lesquels l'aiguille est insérée sont fixes et les mouvements de l'aiguille limités. Quand les reliefs osseux de l'animal empêchent le placement optimal de la sonde échographique et/ou de l'aiguille ce système compromet la réalisation de la procédure échoguidée notamment pour les structures superficielles (Mattoon et Nyland, 2014).

I.3. Equipement et préparation du patient

Une sonde linéaire, microconvexe ou linéaire courbe peuvent être utilisées pour l'échoguidage (**Figure 3**). Le choix de la sonde dépend de la taille et de l'embonpoint de l'animal ainsi que de la localisation de la lésion.



Figure 3. Photographie des sondes échographiques. 1 : Sonde microconvexe 7.5 MHz, 2 : Sonde linéaire 7.5 MHz, 3 : Sonde linéaire courbe 5 MHz. MHz : Mégahertz.

Les aiguilles spinales sont préférées aux aiguilles traditionnelles à cause de leur biseau court et de leur mandrin mais plusieurs types d'aiguilles existent (Penninck et Finn-Bodner, 1998; Vignoli et Saunders, 2011). La longueur de l'aiguille doit être choisie après mesure de la distance entre la surface cutanée du patient et le milieu de la lésion à ponctionner.

La peau du patient en regard du site de ponction doit être tondu et préparée aseptiquement (Vignoli *et al.*, 2004). La sonde échographique doit être recouverte d'un gant stérile (ou désinfectée grâce à une solution spécifique) et de l'alcool est utilisé pour augmenter le couplage peau du patient /sonde échographique. Les aspirations échoguidées à l'aiguille fine pour prélever un liquide biologique ou cytologique sont en général réalisées sans sédation ni anesthésie locale sauf si l'animal n'est pas coopératif. L'anesthésie générale du patient est par contre nécessaire pour les biopsies échoguidées afin de réaliser des prélèvements histologiques (Vignoli et Saunders, 2011).

II. Les procédures de ponctions de l'espace sous-arachnoïdien

Les ponctions sous-arachnoïdiennes se réalisent en plaçant l'aiguille dans l'ESA soit via la *cisterna magna* (voie haute) soit via l'ESA lombaire caudal. Le placement cisternal est le plus fréquemment utilisée en pratique (Dewey, 2008) mais présente plus de risques de lésions iatrogènes du tronc cérébral (Lujan Feliu-Pascual *et al.*, 2008). La ponction par voie lombaire est techniquement plus difficile et est plus fréquemment contaminée de manière iatrogène par du sang que la ponction réalisée dans la citerne cérébello-médullaire (Di Terlizzi et Platt, 2009).

Le placement d'aiguille spinale dans L'ESA s'effectue sous anesthésie générale du patient, avec une tonte et une désinfection chirurgicale de la zone de ponction. L'équipement nécessaire pour une récolte de LCR à l'« aveugle » est minime : une paire de gants stériles, des tubes stériles (EDTA et sec) et une aiguille spinale (20 à 22 G, 38-90 mm) (Wamsley, 2014).

II.1. Ponction dans la *cisterna magna* (voie haute)

II.1.a. Structures osseuses et articulaires

L'articulation atlanto-occipitale est une articulation synoviale double formée par les condyles occipitaux et l'atlas. La face nuchale du crâne est en grande partie occupée par l'os occipital (Barone, 1999) et la protubérance occipitale externe, terminaison sagittale, dorsale et caudale de la crête sagittale externe. Sur le bord ventral et médian, le *foramen magnum* est large, permettant le passage de la moelle épinière et de ses structures associées. La protubérance occipitale externe et le *foramen magnum* sont reliés par la crête occipitale externe. Latéralement le *foramen magnum* est encadré par les condyles occipitaux lisses et convexes (Evans et De Lahunta, 2012).

L'atlas est la première vertèbre cervicale. Sa surface articulaire crâniale est composée de deux larges facettes concaves qui s'articulent avec les condyles occipitaux. Cette articulation a pour principaux mouvements l'extension et la flexion (« yes joint ») (Evans et De Lahunta, 2012).

Une capsule articulaire spacieuse unit le pourtour des condyles occipitaux et le bord dorsal du *foramen magnum* avec le contour crânial de l'atlas. Cette capsule est renforcée par une membrane atlanto-occipitale dorsale et ventrale. La membrane atlanto-occipitale dorsale s'étendant du bord crânial du *foramen magnum* au bord crânial de l'arc de l'atlas présente deux renforcements obliques qui s'entrecroisent. C'est dans cet espace triangulaire délimité par ces deux bandes croisées que s'effectuent les ponctions de LCR (Evans et De Lahunta, 2012).

II.2.b. Structures nerveuses : encéphale, méninges et espace sous-arachnoïdien

L'encéphale occupe la boîte crânienne divisée en une cavité cérébrale rostrale et une cavité cérébelleuse caudale. L'encéphale est divisée en trois régions : le cerveau (partie rostro-dorsale de l'encéphale), le cervelet (dans la cavité cérébelleuse séparée de la cavité cérébrale rostrale par le *tentorium* osseux du cervelet) et le tronc cérébral. Ce dernier occupe la fosse moyenne et caudale du plancher de la boîte crânienne. Sa partie caudale est la *medulla*

oblongata ou bulbe rachidien (myélocéphale). Cette *medulla oblongata* contient des structures du système nerveux central vitales: noyaux de substance grise, fibres/faisceaux de substance blanche et de formation réticulée (mélange de substance blanche et grise). Elle donne également naissance à six nerfs crâniens (Nerfs VI-XII).

Extérieurement, l'encéphale et la moelle épinière sont enveloppées par des méninges (**Figure 4**). L'enveloppe externe est la dure-mère, pachyméninge, qui est une membrane épaisse et inélastique. Elle recouvre l'encéphale et la moelle épinière (Barone et Bortolami, 2004b). Sa couche méningée (interne) est l'enveloppe protectrice du système nerveux central. Cette méninge possède une innervation sympathique et parasympathique et un vaste réseau lymphatique. Elle ne contribue pas à la barrière hémato-méningée (Tipold, 2003).

L'enveloppe moyenne, l'arachnoïde, adhérente à la surface interne de la dure mère et l'enveloppe interne adhérente à l'encéphale, la pie mère, forment les leptoméninges. Ces deux structures sont séparées par l'ESA rempli de LCR extra-ventriculaire.

L'épaisseur de l'ESA est variable car alors que la membrane arachnoïde suit la dure-mère la pie-mère suit chaque irrégularité de la surface de l'encéphale. A la jonction de la surface caudale du cervelet et de la surface dorsale de la *medulla oblongata*, l'ESA s'élargit et forme la citerne cérébellomédullaire connue comme *cisterna magna*. C'est la citerne la plus large et le site le plus commun pour la collecte de LCR (Evans et De Lahunta, 2012).

Les leptoméninges possèdent quelques capillaires. A leur point de pénétration ou de sortie de la substance nerveuse les vaisseaux sanguins sont entourés sur un bref parcours, par l'espace périvasculaire de Virchow-Robin. La surface extérieure de cet espace est formée par la pie mère de part ses « invaginations » dans le système nerveux; la surface interne par le tissu dérivé de l'arachnoïde (De Lahunta, 1983). Cet espace s'étend donc de l'ESA jusqu'à une profondeur variable dans le cerveau. Des filaments de nerfs spinaux et crâniens sont entourés dans une enveloppe similaire par une gaine réticulaire (endoneurale) dérivée de la pie mère. Cette dernière est impliquée dans la formation des ventricules (toit du 3^e ventricule et en partie du 4^e ventricule) (De Lahunta, 1983). L'arachnoïde, forme des « villosités arachnoïdiennes » à travers la dure-mère (**Figure 4**). Ces formations s'introduisent entre les travées fibreuses de la dure-mère jusqu'à entrer en contact et fusionner avec l'endothélium veineux. Le centre de ces dernières est donc en continuité avec l'ESA. Les substances injectées dans l'ESA passent dans ces villosités et de là dans le sang du sinus veineux (Barone et Bortolami, 2004b).

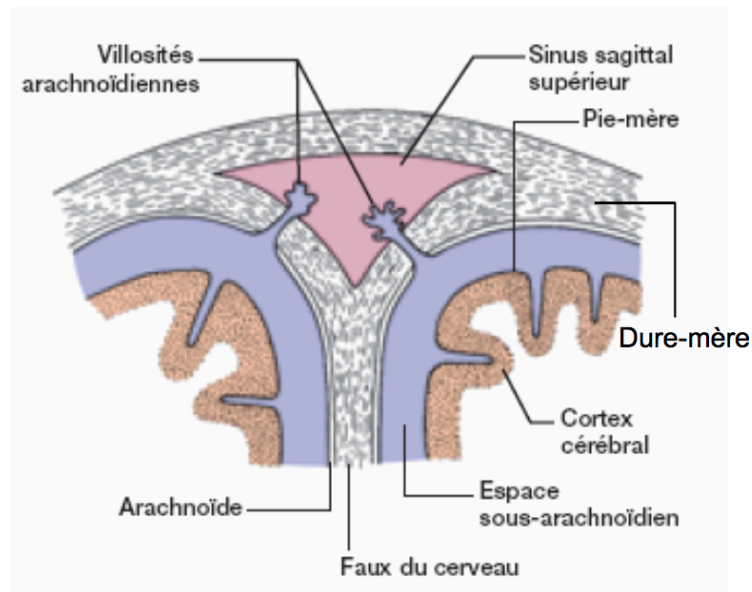


Figure 4. Dessin schématique des méninges encéphaliques en coupe transversale. *D'après De Lahunta A., Veterinary Neuroanatomy and Clinical Neurology, 1983.*

II.2.c. Technique de ponction

Les repères anatomiques pertinents pour la ponction cisternale en « aveugle » sont la protubérance occipitale externe, le processus épineux de l'axis pour l'axe médian et le bord crânial des ailes de l'atlas (**Figure 5**) (Oliver, 1997 ; Tipold, 2003 ; Dewey, 2008 ; Elias et Brown, 2008).

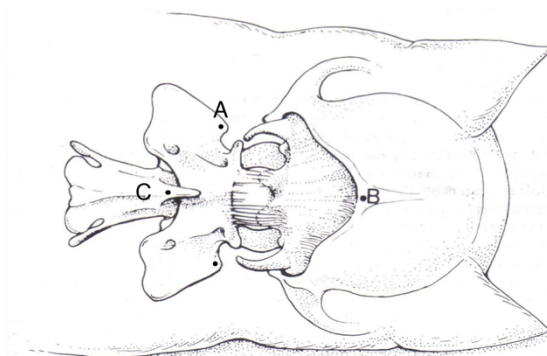


Figure 5. Schéma des repères anatomiques pour une ponction atlanto-occipitale chez un chien. A : bord crânial des ailes de l'atlas, B : protubérance occipitale externe, C : processus épineux de l'axis. *D'après BSAVA Manual of canine and feline neurology, 4th edition, 2014, édité par S. Platt et N. Olby.*

L'animal anesthésié doit être positionné en décubitus latéral sur une table stable. L'articulation atlanto-occipitale doit être fléchie et les oreilles du patient repoussées et repliées rostralement. Pour éviter un collapsus ou obstruction de la trachée une sonde endotrachéale rigide doit être utilisée. La saturation en oxygène de l'animal doit être surveillée durant toute la procédure. Le nez du chien doit être élevé afin que l'axe chanfrein-nez du patient soit parallèle à la table. Deux façons de repérer le site de ponction sont possibles.

- L'opérateur palpe les repères osseux et trace une ligne imaginaire reliant la protubérance occipitale externe avec le processus épineux de l'axis et une deuxième ligne reliant les bords crâniens des ailes de l'atlas. Le point d'intersection de ces deux lignes imaginaires est le point d'introduction de l'aiguille spinale (Elias et Brown, 2008; Di Terlizzi et Platt, 2009; Wamsley, 2014).
- L'opérateur palpe trois repères anatomiques : la protubérance occipitale externe et le point le plus proéminent de chaque aile de l'atlas. Le site d'insertion de l'aiguille spinale est situé à un tiers/une moitié de la distance entre la ligne imaginaire reliant les ailes de l'atlas et la protubérance occipitale externe (point crânien du triangle formé par ces trois repères) (Wamsley, 2014). Cette méthode est cependant moins appréciée par certains auteurs (Di Terlizzi et Platt, 2009).

L'aiguille spinale doit rester perpendiculaire à la *lamina* dorsale de la colonne vertébrale en regard de l'articulation atlanto-occipitale. Elle doit être introduite doucement avec le mandrin en place, biseau orienté vers la queue du chien. Une fois la peau franchie, le mandrin doit être régulièrement retiré afin de vérifier la présence de LCR dans l'embase de l'aiguille. Lors du trajet de l'aiguille, une résistance peut être sentie juste avant de traverser la membrane atlanto-occipitale, les méninges (dure-mère et arachnoïde) et la *cisterna magna* (Di Terlizzi et Platt, 2009). Si un contact osseux est senti, l'opérateur doit évaluer si l'aiguille est en contact avec l'occiput ou avec l'atlas, ressortir son aiguille sans la retirer du chien et réorienter l'aiguille dans la direction appropriée. Si une contamination sanguine franche apparaît dans l'embase de l'aiguille l'opérateur doit retirer complètement l'aiguille spinale

avec mandrin et recommencer la ponction (Elias et Brown, 2008; Di Terlizzi et Platt, 2009). La contamination sanguine est souvent due à une orientation oblique de l'aiguille par rapport au plan médian.

II.2. Ponction spinale lombaire (voie basse)

II.2.a. Structures osseuses et articulaires

Le chien possède sept vertèbres lombaires dont les corps sont « rectangulaires ». Les arcs délimitent un foramen vertébral vaste et large.

Les processus épineux dorsaux sont plats, épais à leur base et s'amincissent à leur extrémité dorsale et sont légèrement obliques en direction dorso-crâniale. Ils diminuent de hauteur et deviennent plus pointus progressivement de L5 à L7. Le processus épineux de L7 est par conséquent le plus bas et le plus pointu.

Les processus articulaires sont au nombre de deux crâniens et deux caudaux par vertèbre, ont des surfaces quasi plates qui sont presque dans un plan sagittal. Ainsi, les processus articulaires crâniens d'une vertèbre s'emboîtent dans les caudaux de la vertèbre précédente pour réduire la mobilité latérale entre ces deux vertèbres. Ces petites articulations formées possèdent chacune une synoviale et une capsule articulaire propre (Barone, 1999).

Les ligaments interlamellaires ou jaunes unissent les arcs des vertèbres adjacentes. Latéralement ils se mélangent avec les capsules articulaires des processus articulaires. L'espace épidual se situe ventralement à ces ligaments jaunes (Evans et De Lahunta, 2012).

II.2.b. Structures nerveuses : moelle épinière, méninges et espace sous-arachnoïdien

La moelle épinière est la partie du système nerveux central qui se situe dans le canal rachidien, baignant dans le LCR. Elle a un rôle d' « autoroute » en transmettant l'information à destination et en provenance de l'encéphale et en assurant l'intégration des réponses simples à certains stimuli (Barone et Bortolami, 2004a).

La partie lombaire de la moelle épinière se situe dans le canal rachidien des vertèbres lombaires. Cette dernière s'épaissit à partir de la première ou deuxième vertèbre lombaire

chez les Carnivores pour former une intumescence lombaire puis se termine en regard de la sixième vertèbre lombaire (L6) en formant le cône médullaire. Le canal rachidien lombaire contient aussi la partie sacrale et coccygienne de la moelle épinière pour se terminer approximativement en regard du disque intervertébral entre la sixième et septième (L6-L7) vertèbres lombaires. Les petits chiens (moins de sept kg) ont relativement une moelle épinière plus longue (Evans et De Lahunta, 2012).

Le canal rachidien sacré loge les nerfs sacraux en direction caudale. La partie coccygienne du canal rachidien contient les nerfs sacraux, les nerfs coccygiens et le *filum terminale* qui s'attache aux vertèbres coccygiennes. Cet ensemble de nerfs caudalement au cône médullaire forme la *cauda equina* (Barone et Bortolami, 2004a) (**Figure 6**).

En regard de l'espace intervertébral entre la cinquième vertèbre lombaire (L5) et L6 (endroit de prédilection pour les ponctions lombaires chez le chien), la moelle épinière est donc effilée pour former le cône médullaire et est entourée par les racines de nerfs ou la *cauda equina* qu'il est moins probable de léser par l'insertion de l'aiguille spinale que la moelle épinière elle-même (**Figure 6**) (Di Terlizzi et Platt, 2009).

La structure interne de la moelle épinière est constituée de la substance grise, qui forme un H majuscule en coupe transversale et de la substance blanche qui l'entoure. La substance blanche est constituée par des axones myéliniques de neurones moteurs, sensitifs et associatifs. La substance grise contient des corps de cellules nerveuses, des axones amyéliniques et des dendrites de neurones moteurs et associatifs.

Le canal de l'épendyme ou canal central est au milieu de la moelle épinière et occupe toute sa longueur. Crânialement, il s'abouche dans le 4^{ème} ventricule au niveau du bulbe rachidien et caudalement il se termine en cul de sac dans le *filum terminale* (**Figure 6**). Au niveau de la portion sacrée de la moelle épinière, il communique avec l'ESA (Barone et Bortolami, 2004a).

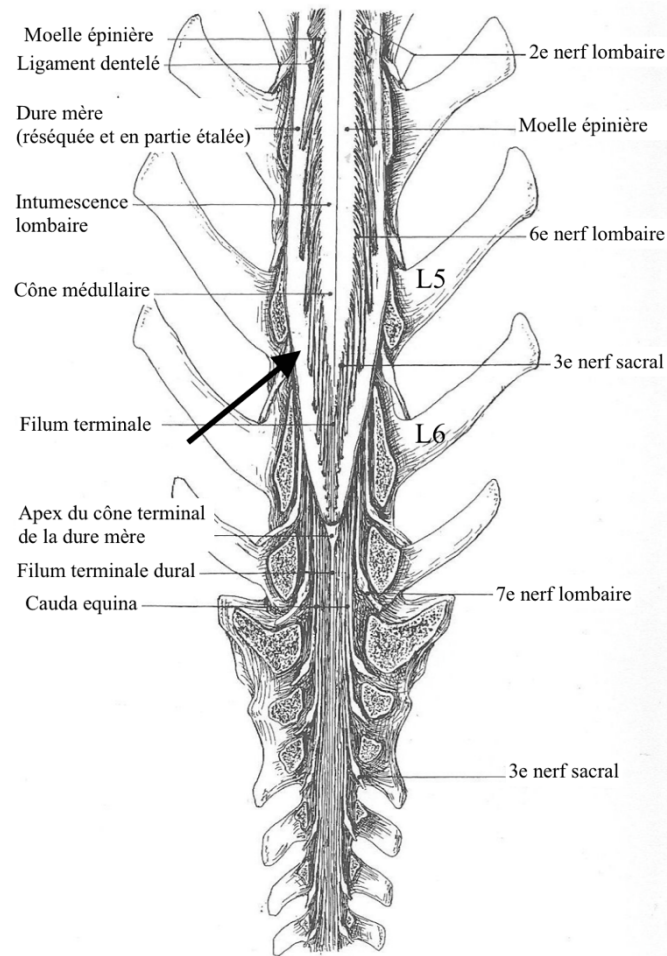


Figure 6. Topographie des méninges et de la moelle épinière dans la région lombo-sacrée du chien. Vue dorsale après ablation des arcs vertébraux et dissection. L5 : cinquième vertèbre lombaire, L6 : sixième vertèbre lombaire, Flèche : site d'insertion de l'aiguille spinale pour une ponction lombaire. D'après Barone R. et Bortolami R., *Neurologie I*, tome 6, 2004.

Extérieurement, la moelle épinière est enveloppée par les méninges rachidiennes ou spinales identiques à celles de l'encéphale : dure-mère, arachnoïde et pie-mère. La dure-mère de la moelle épinière est en continuité avec celle du crâne où elle fusionne avec le périoste en regard du *foramen magnum* et dans le canal vertébral en regard de la première et deuxième vertèbres cervicales. Caudalement elle s'affine pour former un mince ligament et un espace épidual la sépare du périoste. Cet espace contient de la graisse et le plexus veineux vertébral ventral interne (Evans et De Lahunta, 2012) (**Figure 7**). Les leptoméninges sont séparées par l'ESA rempli de LCR extra-ventriculaire, plus large autour du cône terminal de la moelle épinière où il forme la citerne lombaire accessible lors de ponction lombaire (Barone et Bortolami, 2004b).

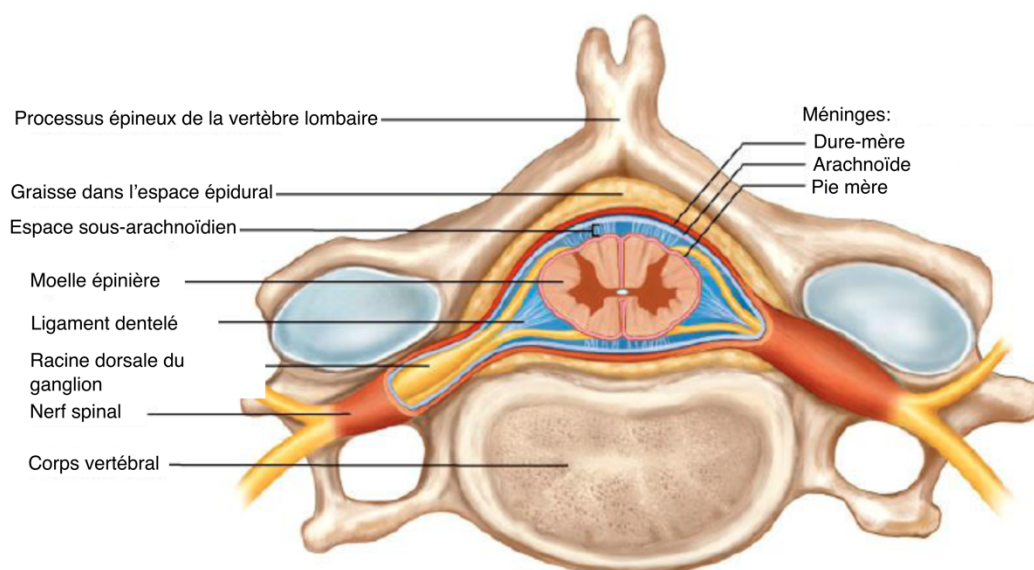


Figure 7. Dessin schématique d'une vertèbre en coupe transversale avec la moelle épinière et ses méninges spinales. *D'après Anatomie et physiologie humaines, Marieb E., 1999.*

II.2.c. Technique de ponction

Les repères anatomiques pour une ponction lombaire sont les ailes de l'ilium, les processus épineux et espaces inter-épineux de L5, L6 et L7 (Bagley, 2005). Cette ponction se réalise entre L5 et L6 chez le chien et entre L6 et L7 voire dans l'espace lombo-sacré chez le chat (Oliver et Lorenz, 1997; Wamsley, 2014).

Le patient anesthésié est positionné en décubitus latéral ou sternal avec les membres pelviens complètement repoussés crânialement. L'aiguille spinale avec mandrin, biseau orienté vers la tête de l'animal, est insérée juste en regard du processus épineux de L6 (caudalement à l'espace intervertébral considéré) avec un angle de 45° avec la lame dorsale de la vertèbre (**Figure 8A**) (Wamsley, 2014). L'insertion de l'aiguille spinale peut également être effectuée légèrement plus crânialement, perpendiculaire à la lame dorsale de la vertèbre, sur le plan médian de la colonne lombaire, le long du bord crânial du processus épineux caudal (L6 si ponction entre L5-L6) (**Figure 8B**) (Di Terlizzi et Platt, 2009).

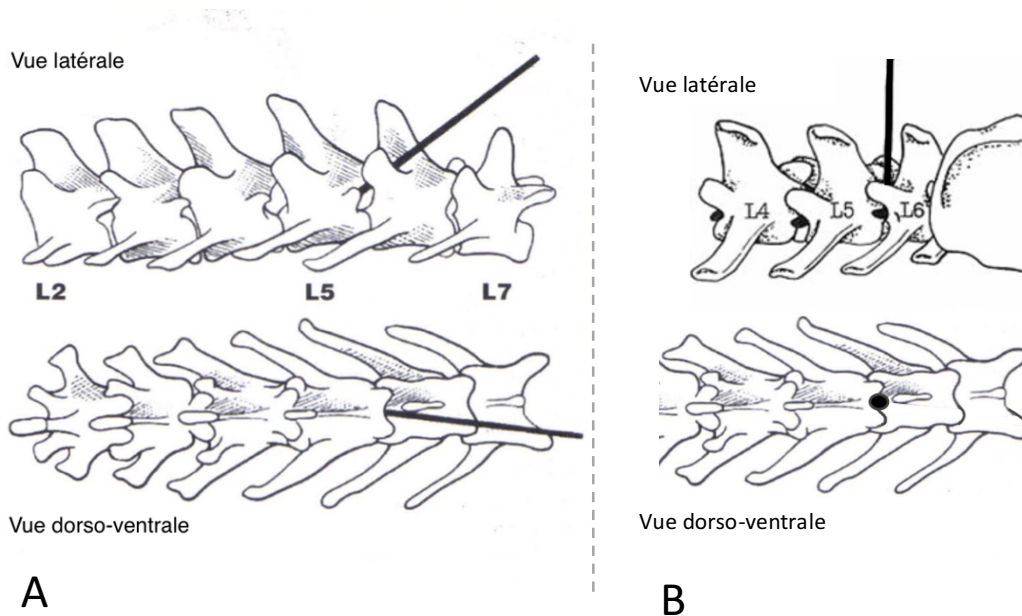


Figure 8. Schémas des repères anatomiques pour une ponction lombaire chez un chien avec l'aiguille spinale en place. A : Approche parasagittale. L2 : deuxième vertèbre lombaire, L5 : cinquième vertèbre lombaire, L7 : septième vertèbre lombaire, trait noir : aiguille spinale. B : Approche sagittale. L4 : quatrième vertèbre lombaire, L5 : cinquième vertèbre lombaire, L6 : sixième vertèbre lombaire, longs traits et ovale noirs : aiguille spinale. *D'après BSAVA Manual of canine and feline neurology, 4th edition, 2014, édité par S. Platt et N. Olby.*

Si un contact osseux est senti, l'aiguille spinale est bougée de quelques millimètres crânialement ou caudalement. Un léger tressaillement de la queue ou des membres pelviens de l'animal peut apparaître lors de l'insertion de l'aiguille spinale dans le canal vertébral dû à la stimulation des racines nerveuses ou de la *cauda equina*. L'aiguille spinale est souvent insérée jusqu'à un contact osseux avec le plancher du canal vertébral (collection à partir de l'ESA ventral). Le mandrin est alors retiré et le LCR peut être collecté. Si aucun LCR n'apparaît, une légère rotation et/ou retrait de l'aiguille spinale peuvent être réalisés afin de solliciter le flux de LCR (Di Terlizzi et Platt, 2009).

III. Aspects cliniques des ponctions de l'espace sous-arachnoïdien chez le chien

III.1. Nature, sécrétion et fonctions du liquide céphalo-rachidien

Le LCR est un ultrafiltrat de plasma et est principalement localisé dans l'ESA, le système ventriculaire (ventricules latéraux, 3^e ventricule, l'aqueduc du mésencéphale et le 4^e ventricule) et le canal central (Tipold, 2003). Il est principalement produit par les plexus choroïdes à l'intérieur du système ventriculaire à la vitesse approximative de 0.047 ml/min chez le chien (De Lahunta, 1983). Les plexus choroïdes sont constitués par l'épithélium choroïdien, des vaisseaux sanguins et du tissu conjonctif connecteur. Les plexus sont le résultat d'invaginations de la couche épendymaire (cellules épendymaires suivies d'une couche sous-épendymaire de cellules et fibres gliales) dans les cavités ventriculaires par les vaisseaux sanguins de la pie-mère (Tipold, 2003). La coiffe épendymaire du système ventriculaire, la membrane externe pie-gliale de la surface de l'encéphale et les vaisseaux sanguins pie-arachnoïdiens sécrètent également du LCR (Speake *et al.*, 2001). Le LCR circule caudalement par le système ventriculaire jusqu'au canal central de la moelle épinière en direction de la *cauda equina*. Il passe du système ventriculaire à travers le parenchyme du système nerveux central jusqu'à l'ESA où il est résorbé dans le système veineux par les villosités arachnoïdiennes (**Figure 9**) (Wamsley, 2014).

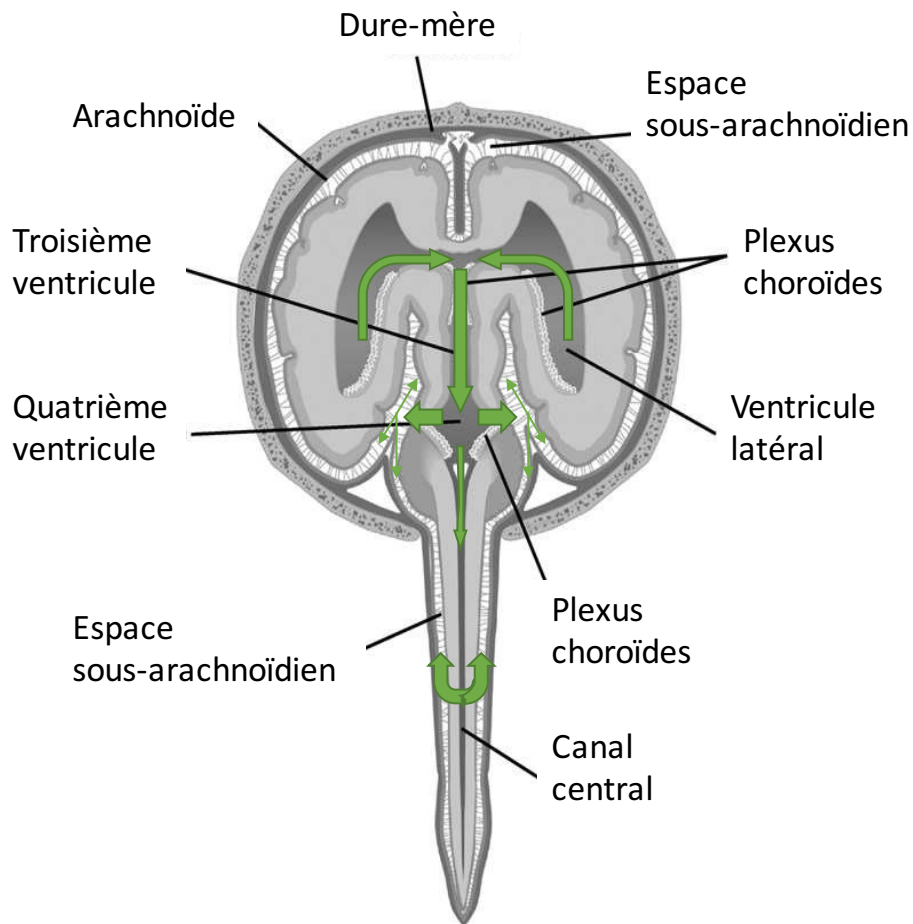


Figure 9. Le système ventriculaire et le trajet du flux du liquide céphalo-rachidien à partir des plexus choroïdes des ventricules latéraux jusqu'aux villosités arachnoïdiennes. Flèches vertes : sens du flux du liquide céphalo-rachidien. *Modifié de De Lahunta (1983). D'après BSAVA Manual of canine and feline neurology, 4th edition, 2014, édité par S. Platt et N. Olby.*

Le LCR a plusieurs fonctions. Il régule la pression intracrânienne et protège ainsi l'encéphale des variations de pressions artérielle et veineuse centrales. Il contrôle l'environnement chimique du système nerveux central en excréant les produits du métabolisme cérébral potentiellement toxiques. Il est le véhicule intracérébral de substances biologiquement actives (Di Terlizzi et Platt, 2006).

Le LCR est normalement clair, incolore, quasi acellulaire et a une concentration faible en protéines (10-40 mg/dL) (Crone, 1965) (**Figure 10**). Il contient des ions variés (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^-), des enzymes et d'autres substances (glucose, neurotransmetteurs) (Di Terlizzi et Platt, 2006).



Figure 10. Photographie d'une récolte de liquide céphalo-rachidien d'aspect normal macroscopiquement dans l'espace sous-arachnoïdien lombaire caudal sur un chien.

III.2. Récolte de liquide céphalo-rachidien

III.2.a. Indications

Les indications de ponction de LCR pour analyse de celui-ci sont multiples (Dewey, 2008). La suspicion d'une encéphalite infectieuse (bactérienne, fongique, virale et à protozoaire) ou non infectieuse, en est une (Vernau, 2005). En effet, lors d'encéphalite, l'analyse du LCR révèle un comptage cellulaire et une concentration protéique élevés. Les lésions cérébrales dégénératives, métaboliques, traumatiques ou néoplasiques peuvent également altérer la nature du LCR (**Tableau I**).

Les myélopathies qui ne sont pas diagnosticables par imagerie médicale peuvent parfois l'être par analyse du LCR. La ponction doit précéder l'éventuelle myélographie car le produit de contraste modifie les résultats d'analyse du LCR pour une durée de 3 à 5 jours (Dewey, 2008).

Les lésions des racines des nerfs spinaux (radiculopathies) peuvent aussi être évaluées par analyse du LCR (**Tableau I**). En effet, les méninges entourent également les racines des nerfs spinaux (Tipold, 2003; Windsor *et al.*, 2008).

Affections	Concentration protéique	Comptage cellulaire	Type de cellule dominant
Maladie de Carré non inflammatoire	Normale à légèrement élevée	Normale, pléïocytose légère (rare)	Cellules mononucléées
Maladie de Carré inflammatoire, Autres pathologies virales	Légèrement à fortement élevée	Pléïocytose légère à modérée	Cellules mononucléées
Encéphalite bactérienne	Légèrement à fortement élevée	Pléïocytose modérée à marquée	Neutrophiles prédominants
Encéphalite fongique	Fortement élevée	Pléïocytose modérée à marquée	Population mixte, parfois des éosinophiles
Encéphalite à protozoaires, Infection parasitaire	Légèrement à fortement élevée	Pléïocytose légère à modérée	Population mixte, parfois des éosinophiles
Méningoencéphalo-myélite Granulomateuse	Légèrement à fortement élevée	Pléïocytose modérée à marquée	Varie: Cellules mononucléées, population mixte, éosinophiles occasionnellement
Méningite-artérite cortico-répondante	Légèrement à fortement élevée	Pléïocytose marquée	Aigüe: neutrophiles, Chronique: Cellules mononucléées
Encéphalite nécrosante spécifique à certaines races	Légèrement élevée	Pléïocytose modérée à marquée	Cellules mononucléées
Encéphalite éosinophilique	Légèrement à fortement élevée	Pléïocytose modérée à marquée	Eosinophiles
Néoplasme	Varie: normale à fortement élevée	Varie: normal à pléïocytose marquée	Varie: Cellules mononucléées, neutrophiles (exemple: méningiome), occasionnellement des éosinophiles et cellules tumorales
Lésions nécrotiques (dues à différentes causes)	Normale à légèrement élevée	Varie: normal à pléïocytose marquée	Population mixte
Lésions dégénératives	Normale à légèrement élevée	Normal	---
Hernie discale, Trauma (Windsor <i>et al.</i> , 2008)	Varie: normale à légèrement élevée	Hernie discale cervicale: normal à pléïocytose modérée, Hernie discale thoraco-lombaire: normal à pléïocytose marquée	Population lymphocytaire et secondairement neutrophilique, Occasionnellement mixte

Tableau I. Résumé des principales modifications du liquide céphalo-rachidien dans diverses affections du système nerveux central chez le chien. *D'après Tipold A., Clinical Neurology in Small Animals- Localization, Diagnosis and Treatment, 2003.*

III.2.b. Choix du site de ponction

Le LCR peut être collecté à partir de la *cisterna magna* (voie haute) ou de l'ESA lombaire (voie basse). Pour les deux localisations de ponctions, le site doit être tondu et la peau préparée de manière aseptique.

La ponction du LCR dans l'ESA lombaire caudal est techniquement plus difficile que celle dans la *cisterna magna*, et une contamination iatrogène par du sang est plus fréquemment observée. La vitesse du flux du LCR en voie basse est plus lente et la quantité de liquide obtenu est souvent plus faible (Di Terlizzi et Platt, 2009).

Le flux du LCR étant rostro-caudal l'analyse est plus souvent diagnostique quand la ponction est effectuée caudalement à la lésion suspectée. Ainsi, si la lésion suspectée implique la moelle épinière ou le canal, le LCR récolté par ponction lombaire sera plus fréquemment anormal (Thomson *et al.*, 1990). La quantité maximale recommandée de liquide pouvant être récoltée par animal est 1ml/5kg (Carmichael, 1998). En général, 1 à 2 ml sont collectés et suffisent pour la plupart des analyses (Tipold, 2003).

III.2.c. Analyse du liquide céphalo-rachidien

L'analyse du LCR doit être réalisée rapidement c'est à dire dans les 30 minutes après ponction car les globules blancs se détériorent rapidement (Oliver, 1997 ; Dewey, 2008). Cependant, l'analyse de LCR seule ne permet pas souvent de poser un diagnostic étiologique lors d'affection neurologique. En effet, la gamme d'anomalies possibles du LCR est assez limitée en comparaison de la variété de maladies neurologiques existantes. De plus, l'analyse du LCR n'est pas systématiquement anormale lors d'affection neurologique centrale, comme par exemple en cas de lésions du parenchyme, extra-durale et non exfoliative (Braund, 2003).

Une série de tests peut être réalisée sur le LCR récolté. Classiquement, un examen macroscopique du liquide permet d'évaluer la couleur (normalement incolore) et la turbidité (normalement transparent). La présence de globules rouges dans le LCR et donc une coloration rouge du LCR récolté est généralement iatrogène (contamination durant la ponction, plus fréquente lors de ponction lombaire que lors de ponction de la *cisterna magna*). Cependant, cette anomalie peut aussi être secondaire à une hémorragie sous-arachnoïdienne. Lors de contamination sanguine légère du LCR (< à 5000 globules rouges/ μ L) deux formules

existent pour estimer ce que seraient la concentration protéique et le comptage des leucocytes du LCR si la contamination était absente (Wamsley, 2014). Une teinte jaune-orange du LCR est appelée xanthochromie. Cette dernière est causée par la présence de bilirubine dans le LCR. La xanthochromie est le plus fréquemment secondaire à une hémorragie sous-arachnoïdienne antérieure chronique. Les globules rouges entrés dans le LCR suite à l'hémorragie sont métabolisés provoquant la formation de bilirubine. Plus rarement, quand la concentration sérique en bilirubine est fortement augmentée, la bilirubine conjuguée peut traverser la barrière hémato-méningée. Si cette dernière est endommagée, la bilirubine conjuguée et la bilirubine non conjuguée peuvent alors la traverser (Oliver et Lorenz, 1997 ; Wamsley, 2014). Une coloration jaune-vert et gris-noir du LCR peuvent être également observées dans de rares cas. La coloration jaune-vert peut être causée par une concentration élevée de cellules nucléées (par exemple lors d'inflammation purulente ou de néoplasme). La coloration gris-noir peut être secondaire à la présence de granules de mélanine ou de mélanocytes dans le LCR (en cas de mélanome du système nerveux central) (Wamsley, 2014).

Le LCR normal est transparent. Une concentration élevée de leucocytes, c'est à dire au-dessus de 500 leucocytes/ μ L peut lui donner un aspect trouble (Wamsley, 2014).

Une analyse quantitative comprenant une mesure de la concentration en protéines totales (normalement entre 10 et 40 mg/dL) et le comptage des cellules nucléées (normalement moins de 5 cellules/ μ L) est classiquement réalisée. Chez le chien, le LCR issu d'une collecte lombaire a une concentration totale en protéines plus importante et une concentration en cellules nucléées inférieure que le LCR provenant d'une collecte cisternale. En général, chez le chien, le LCR cisternal contient moins de 25mg/dL de protéines alors qu'en localisation lombaire il contient moins de 40 mg/dL de protéines (Di Terlizzi et Platt, 2009 ; Wamsley, 2014). La protéine principale dans le LCR est l'albumine, synthétisée par le foie (Evans, 2012).

Le comptage cellulaire se réalise grâce à un hémocytomètre pour détecter des augmentations légères à modérées par rapport au taux cellulaire normal qui est inférieur à 5 leucocytes/ μ L. Le LCR normal ne contient pas d'érythrocytes. Cependant des érythrocytes peuvent être visualisés dans le LCR collecté en cas contamination sanguine iatrogène ou lors d'une hémorragie pathologique. A cause du faible nombre et de l'extrême fragilité des cellules du LCR, l'évaluation cytologique du LCR nécessite une concentration des cellules (Wamsley, 2014). Les cellules mononucléées prédominent dans le LCR normal. Les petits lymphocytes

lymphocytes bien différenciés représentent normalement 60 à 70% du comptage cellulaire. Les larges phagocytes mononucléés avec peu de vacuoles représentent 30 à 40% du comptage. Une augmentation du nombre de leucocytes dans l'échantillon de LCR fait référence à une pléïocytose. L'examen microscopique d'un échantillon généralement concentré de LCR permet de caractériser la pléïocytose et d'effectuer un comptage des différentes cellules observées afin d'établir le(s) type(s) de leucocytes prédominants (Wamsley, 2014) (**Tableau I**).

L'analyse qualitative des protéines du LCR s'effectue au moyen d'une électrophorèse. Il est parfois intéressant de comparer cette dernière à une électrophorèse sérique pour mieux comprendre le statut pathologique de l'animal. Les anomalies des images d'électrophorèse ont été rapportées comme utiles dans l'identification de maladies inflammatoires, néoplasiques et dégénératives (Sorjonen, 1987; Sorjonen *et al.*, 1989). Sorjonen et collaborateurs ont montré que les chiens atteints de maladie de Carré ont souvent une augmentation très importante dans leur LCR des gamma globulines (Sorjonen *et al.*, 1989). Cependant, en général, une électrophorèse du LCR ne peut pas être considérée comme un outil diagnostique pour les affections neurologiques (Behr *et al.*, 2006). Quand une origine infectieuse est suspectée, une culture bactériologique (aérobie principalement et anaérobie plus rarement) ou des titrages d'anticorps dans le LCR peuvent être réalisés. Une alternative à ces titrages en anticorps consiste en la recherche du matériel génomique de l'agent infectieux suspecté par Réaction en Chaîne par Polymérase (PCR) (*Toxoplasma gondii*, *Neospora caninum*, *Ehrlichia canis*,...) ou PCR par transcription inverse (RT-PCR) (virus de Carré par exemple) (Sharp, 1998 ; Matsuki *et al.*, 2004).

Des biomarqueurs dans le LCR et dans le sérum de certaines maladies neurologiques chez le chien se sont développés. La mesure combinée de la concentration de l'immunoglobuline A dans le sérum et le LCR est un test hautement sensible pour le diagnostic d'une méningite-artérite cortico-répondante mais pas pour son suivi (Lowrie *et al.*, 2009; Maiolini *et al.*, 2012). L'évaluation de l'activité de la métalloprotéinase 9 de la matrice dans le LCR est un bon indicateur de maladies neuro-inflammatoires chez le chien sans permettre cependant le diagnostic précis d'une maladie (Bergman *et al.*, 2002). La concentration en protéine basique myéline (MBP) (Levine *et al.*, 2010) constituant majeur du manchon de myéline des axones, peut indiquer des lésions de la substance blanche (démyélinisation ou trauma de la moelle épinière). En l'associant aux mesures de la créatine kinase dans le LCR, elles permettent

d'établir un pronostic (Witsberger *et al.*, 2012). La protéine tau (dans le LCR) et les neurofilaments phosphorilés à chaîne lourde (pNF-H) (dans le LCR et le sérum) peuvent indiquer des lésions des axones. Ces quelques biomarqueurs cités et bien d'autres encore promettent une amélioration des capacités de diagnostic tout en guidant et monitorant le traitement et en précisant le pronostic des patients avec des désordres neurologiques.

III.2.d. Contre-indications et complications possibles

La collection de LCR ne peut pas se pratiquer sur tous les patients. Une anesthésie générale est nécessaire pour la ponction. Si cette dernière comporte trop de risques pour la vie de l'animal, la ponction ne peut donc pas être réalisée. Outre l'anesthésie générale, la principale contre-indication à une ponction de LCR est une pression intracrânienne trop élevée. Les signes cliniques possibles dans ce cas sont une altération de l'état de vigilance (dépression évoluant en stupeur et coma), une tétraparésie, des réflexes pupillaires ralentis, une anisocorie... (Smith et Madsen, 2004). Ainsi, une lésion volumineuse, un trauma cérébral, une hydrocéphalie ou une encéphalite sévère peut augmenter la pression intracrânienne, et le risque d'herniation du cerveau au travers du *foramen magnum* lors de ponction de LCR chez un patient souffrant d'une de ces affections est augmenté (Braund, 2003; Di Terlizzi et Platt, 2009). Le protocole d'anesthésie du patient sera donc adapté de sorte à ne pas augmenter voire à diminuer la pression intracrânienne du patient. Ainsi, une substance comme la kétamine sera évitée. Une coagulopathie en raison du risque élevé de formation d'hématome sous-arachnoïdien et une infection cutanée locale en regard du site de ponction sont deux autres contre-indications possibles à une ponction de LCR (Di Terlizzi et Platt, 2009 ; Robinson *et al.*, 2013). Par ailleurs, en cas de sub-luxation atlanto-axiale ou d'autres causes d'instabilité vertébrale cervicale, de malformation de type Chiari, une dysplasie occipitale ou de trauma cervical, il est déconseillé de réaliser une ponction de LCR par voie cisternale (Di Terlizzi et Platt, 2009).

Pour la collecte de LCR, aucune aspiration du liquide grâce à une seringue connectée à l'aiguille spinale ne doit être appliquée. En effet, ceci tout comme la collecte d'un important volume de LCR pourrait entraîner une diminution rapide de la pression sous-arachnoïdienne pouvant conduire à une hémorragie intra-crânienne ou une hernie de l'encéphale et/ou du cervelet. C'est pourquoi, il est conseillé de prélever un maximum de 1ml/5 kg de poids vif

(Wamsley, 2014).

La collection de LCR à partir de la *cisterna magna* est techniquement plus facile que celle dans la citerne lombaire mais elle comporte plus de risques. Une complication fréquente est la contamination du LCR obtenu par du sang (**Figure 11**). Particulièrement lors d'une ponction par voie basse, une hémorragie franche (atteinte du plexus veineux vertébral) doit être différenciée d'une xanthochromie du LCR. Une contamination sanguine brève au début de la ponction peut correspondre à la perforation d'un vaisseau de la dure-mère. L'opérateur doit alors dans ce cas continuer la collecte de LCR dans un nouveau tube car la quantité de sang diminue au fil de la ponction (Elias et Brown, 2008).



Figure 11. Photographie d'une récolte de liquide céphalo-rachidien contaminé macroscopiquement par du sang dans l'espace sous-arachnoïdien lombaire caudal sur un chien.

Les complications par trauma de la moelle épinière suite à une ponction en voie haute sont associées à des lésions neurologiques plus sévères en comparaison à celles potentiellement consécutives à une ponction lombaire, en raison de la proximité des structures vitales du système nerveux central. Une étude a décrit 4 cas cliniques de complications après ponction par voie haute chez le chien (Lujan Feliu-Pascual *et al.*, 2008). Les lésions observées étaient des lésions traumatiques directes, rectilignes, créées par

l'aiguille spinale trop enfoncée dans le tronc cérébral. Trois chiens sur quatre étaient tétraparétiques, non ambulatoires avec des déficits des nerfs crâniens.

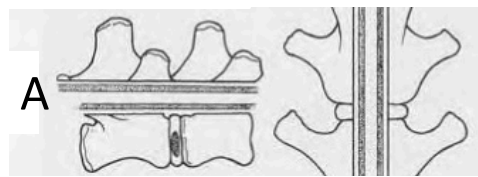
III.3. Myélographie – Myéloscanner

III.3.a. Définition et objectifs de l'examen

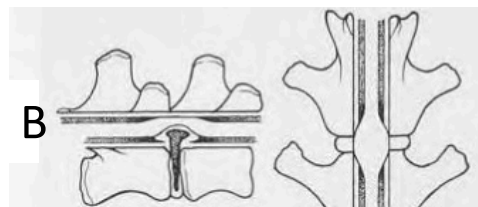
La myélographie consiste à radiographier la colonne vertébrale après l'opacification de l'ESA en utilisant un produit de contraste iodé d'une concentration d'environ 300 mg d'iode/ml, non ionique, à faible osmolarité (par exemple iopamidol ou iohexol). Une anesthésie générale est essentielle et des conditions d'aseptie doivent être respectées (Dennis, 2002). Le liquide de contraste est injecté dans l'ESA via la *cisterna magna* ou dans l'ESA lombaire à la dose de 0.3-0.45 ml/kg, lentement, soit à la vitesse approximative de 2-3 ml/min avec un volume injecté maximum de 8 ml (Dewey, 2008 ; da Costa *et al.*, 2011).

La myélographie met en évidence la relation réciproque entre l'ESA et la moelle dont la position et la forme deviennent visibles grâce au soulignement par le produit de contraste. Elle permet ainsi de suspecter des lésions intra ou extra-médullaires et intra ou extra-durales (**Figure 12**). A chaque type de lésion myélographique observée correspondent plusieurs hypothèses diagnostiques (**Tableau II**).

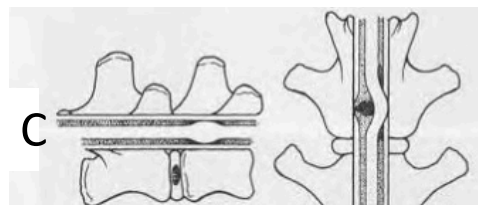
Latéral Ventrodorsal



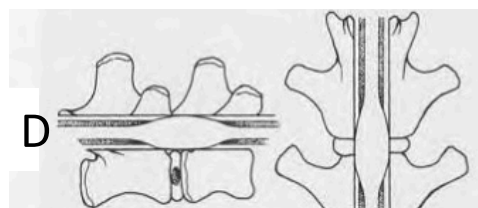
Normal



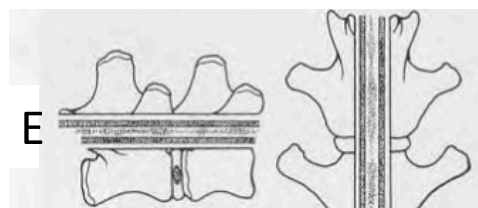
Extradural



Intradural-Extramédullaire



Gonflement intramédullaire



Opacification intramédullaire

Figure 12. Classification des lésions myélographiques.

A : Normal.

B : Lésion extradurale. La colonne de contraste ventrale est déplacée dorsalement, vers le centre du canal vertébral, souvent amincie ou oblitérée sur une projection radiographique. Sur la vue radiographique orthogonale, la moelle épinière apparaît épaissie avec un déplacement abaxial des colonnes de contraste de l'ESA car le diamètre de la moelle épinière est augmenté à cause de la compression.

C : Lésion intradurale-extramédullaire. Une masse intradurale- extramédullaire dans l'ESA cause un défaut de « remplissage » des colonnes de contraste sur au moins une vue. Sur la vue orthogonale, la moelle épinière peut être épaissie selon la grosseur de la masse. Comme le produit de contraste est à côté de la masse, il peut passer autour de la masse.

D : Gonflement intramédullaire. La moelle épinière est épaissie créant un amincissement et une oblitération de l'ESA sur les 2 vues radiographiques.

E : Opacification intramédullaire. L'opacification de la moelle épinière est causée par la présence de contraste en son sein. Cela peut être secondaire à une myélomalacie qui permet la diffusion intramédullaire de contraste. L'opacification du canal central est différente et ne doit pas être confondue avec la myélomalacie. ESA : Espace sous-arachnoïdien. *D'après Widmer W.R. et Thrall D.E., Canine and Feline Intervertebral Disc Disease, Myelography, and Spinal Cord Disease. In Textbook of Veterinary Diagnostic Radiology, 5^e edition, 2007.*

Lésion myélographique	Hypothèses diagnostiques
Extradurale	Protrusion discale intervertébrale Hypertrophie ligamentaire Hématome/Hémorragie Néoplasme (vertébral ou des tissus mous épiduraux) Fracture/dislocation vertébrale
Intradurale-extramédullaire	Néoplasme (neurofibrome, neurofibrosarcome et méningiome) Masse extradurale latéralisée (ex. disques)
Gonflement intramédullaire	Œdème de la moelle épinière Néoplasme Myélopathie ischémique
Opacification intramédullaire	Myélomalacie Hématomyélie
Normal	Myélopathie dégénérative Myélopathie ischémique Myélite Méningite

Tableau II. Résumé des différentes hypothèses diagnostiques associées aux lésions myélographiques. *D'après Widmer W.R. et Thrall D.E., Canine and Feline Intervertebral Disc Disease, Myelography, and Spinal Cord Disease. In Textbook of Veterinary Diagnostic Radiology, 5^e edition, 2007.*

Elle est donc indiquée pour (Widmer et Thrall, 2007) :

- confirmer une ou des lésion(s) spinale(s) vue(s) ou suspectée(s) sur les radiographies à blanc
- définir la localisation exacte et l'extension (et donc le pronostic) de la lésion vue sur les radiographies à blanc
- identifier une lésion suspectée sur base de l'examen clinique mais non observée sur les radiographies à blanc

- identifier les patients qui peuvent bénéficier d'une chirurgie prometteuse lors de suspicion de pathologie pouvant être traitée chirurgicalement

Les artéfacts pouvant être observés lors d'une myélographie sont la présence de bulles de gaz dans l'ESA (**Figure 13**), le défaut de remplissage de l'ESA par le produit de contraste dû à la gravité, une injection de contraste par inadvertance dans l'espace sous-dural (espace virtuel entre la dure-mère et l'arachnoïde) (**Figure 14**), une opacification du canal central et une fuite ou injection de contraste dans l'espace épidual (**Figure 13**). Ces artéfacts compliquent l'interprétation de la myélographie. Dans de rares cas de myélomalacie et de perte d'intégrité de la pie-mère, le contraste injecté dans l'ESA peut être visualisé dans le parenchyme de la moelle épinière (Jones, 2004 ; Olby et Thrall, 2014).

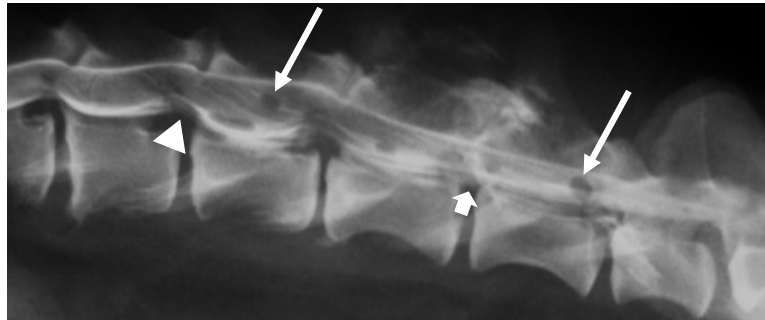


Figure 13. Radiographie latéro-latérale d'une myélographie lombaire d'un chien avec contamination épidurale (tête de flèche) et bulles de gaz (flèches longues) dans l'espace sous-arachnoïdien. L'injection/fuite de contraste dans l'espace épidual crée une opacification des foramen intervertébraux (flèche courte) et donne un aspect ondulé à la colonne de contraste ventrale du à l'opacification des sinus veineux (tête de flèche).

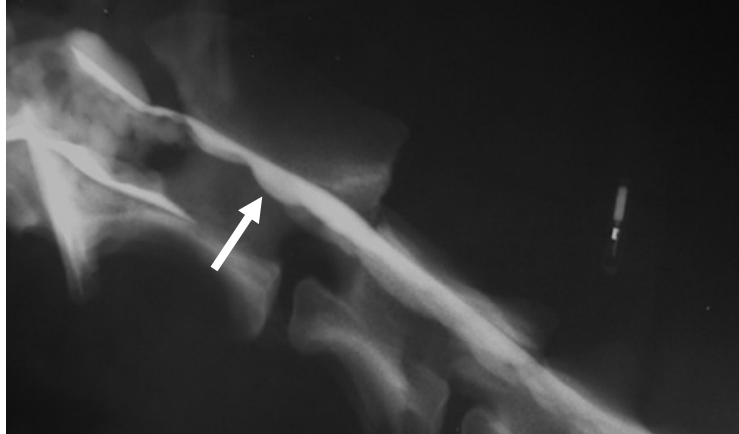


Figure 14. Radiographie latéro-latérale d'une myélographie cervicale d'un chien avec contamination sous-durale (flèche), créant un épaissement de la colonne de contraste dorsale avec un aspect ondulé de son bord ventral.

La réalisation d'une tomодensitométrie après opacification de l'ESA avec un produit de contraste iodé, non ionique, à faible osmolarité est un myéloscanner. Il a été décrit il y a plusieurs décennies en médecine vétérinaire (Dubois *et al.*, 1981) et combine les avantages de la myélographie et de la tomодensitométrie (Robertson et Thrall, 2011). En effet, l'imagerie tomographique en coupe du scanner élimine le problème de superposition des structures affectant les radiographies et donc les myélographies. De plus, la résolution améliorée du scanner permet la détection de matériel discal minéralisé ou une hémorragie dans le canal vertébral. Des concentrations ou volumes de contraste injectés dans l'ESA non détectables sur les radiographies peuvent l'être au scanner. Des myélographies non diagnostiques à la radiographie par manque ou répartition inégale du contraste peuvent être diagnostiques au scanner (Robertson et Thrall, 2011). Cependant, les inconvénients de la myélographie concernant la difficulté technique de l'injection sous-arachnoïdienne, les lésions médullaires iatrogènes et les complications possibles post-injection restent les mêmes (cf. *III.2.b*).

Le myéloscanner est indiqué pour l'identification de lésions non minéralisées extradurales et extra-médullaires intradurales comme une hernie discale intervertébrale, un néoplasme, un hématome, un kyste, un granulome/abcès, du tissu cicatriciel ou un empyème (da Costa et Samii, 2010). Le myéloscanner a été démontré plus sensible que la myélographie pour caractériser la morphologie de la moelle chez les humains, les chevaux et les chiens (Azar-Kia *et al.*, 1985; Moore *et al.*, 1992; Arlien-Søborg *et al.*, 1993; Jones *et al.*, 2005). En particulier,

grâce au myéloscanner, l'atrophie de la moelle épinière peut être distinguée d'une compression réversible de la moelle (Mai, 2013).

III.3.b. Complications possibles

Les complications le plus fréquemment associées à une myélographie ou un myéloscanner sont une aggravation temporaire des signes cliniques neurologiques et l'apparition de crises épileptiformes (Holland, 1993; Barone *et al.*, 2002). Une pénétration de la moelle épinière cervicale ou du tronc cérébral (cf. complications ponction cisternale), l'injection de produit de contraste dans la moelle épinière ou dans le canal central (**Figure 15**), l'apparition de vomissements, apnée, asystole, bradycardie, hypertension systémique, hémorragies diffuses sous-arachnoïdiennes et la mort sont aussi des complications rarement décrites après myélographie cisternale et/ou lombaire en médecine vétérinaire (Widmer, 1989; Lewis et Hosgood, 1992; Kirberger et Wrigley, 1993; Carroll *et al.*, 1997; Barone *et al.*, 2002; Packer *et al.*, 2007; Arany-Tóth *et al.*, 2013).

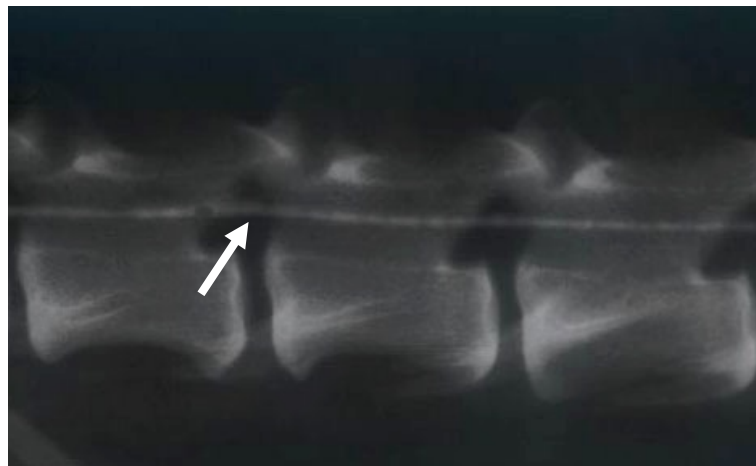


Figure 15. Radiographie latéro-latérale de la colonne lombaire d'un chien avec une injection de produit de contraste dans le canal central de la moelle épinière (flèche).

L'aggravation temporaire des signes cliniques neurologiques et l'apparition des crises convulsives sont principalement attribuées à la neurotoxicité du produit de contraste injecté dans l'ESA (Holland, 1993; Carlisle *et al.*, 1995; Romesburg et Ragozzino, 2009). Afin de

minimiser les risques chimiques associés à une myélographie ou un myéloscanner, le produit de contraste idéal doit être pharmacologiquement inerte, miscible dans le LCR, hydrosoluble et radiopaque à une concentration isotonique (Widmer, 1991; Roberts et Selcer, 1993; Fatone *et al.*, 1997). A cause des nombreux effets neurotoxiques du métrizamide, produit de contraste non ionique de première génération, une seconde génération de produits de contraste non ioniques a été développée (Adams et Stowater, 1981; Widmer, 1991; Roberts et Selcer, 1993). L'iohexol est le produit de contraste de seconde génération le plus communément utilisé en médecine vétérinaire. Le volume de produit de contraste recommandé pour une myélographie par voie cisternale est de 0,3 à 0,6 ml/kg si la lésion suspectée est en région thoraco-lombaire et 0,2 à 0,3 ml/kg si la lésion suspectée est en région cervicale. Pour une myélographie par voie lombaire les volumes de 0,2 à 0,3 ml/kg sont pratiqués (Roberts et Selcer, 1993; Widmer et Thrall, 2007).

La prévalence des crises convulsives après injection sous-arachnoïdienne varie entre 1 et 21,4%, même avec l'utilisation de produits de contraste iodés de seconde génération (Widmer, 1989; Lewis et Hosgood 1992; Barone *et al.*, 2002; da Costa *et al.*, 2011). Outre l'effet chimique du contraste, l'augmentation de pression dans l'ESA dû à l'injection peut aussi contribuer à l'apparition d'effets secondaires (Carlisle *et al.*, 1995; Romesburg et Ragozzino, 2009). Le risque de crises épileptiformes après injection de contraste est dépendant de plusieurs facteurs : le poids du chien, le site d'injection du produit de contraste, la localisation cervicale de la lésion, un grand volume de contraste injecté (mais pas la concentration du produit de contraste) et une durée d'anesthésie courte après injection du produit de contraste (Lewis et Hosgood, 1992; Barone *et al.*, 2002; da Costa *et al.*, 2011). En effet, les chiens pesant plus de 20 kg et ceux ayant subi une injection cisternale de produit de contraste ont une plus grande prévalence de crises épileptiformes que ceux ayant subi une injection lombaire (Barone *et al.*, 2002; da Costa *et al.*, 2011). Certaines études évoquent la race comme facteur de risque accru pour les crises convulsives après injection de produit de contraste (Lewis et Hosgood, 1992; da Costa *et al.*, 2011). En effet, les chiens de race Doberman Pinschers et Rottweilers, décrits comme plus sensibles aux crises convulsives, combinent en fait plusieurs facteurs de risque. Ces races sont des chiens de grande taille, prédisposées à la spondylomyélopathie cervicale et donc davantage exposées aux injections de grand volume de contraste par voie cisternale.

Plusieurs recommandations ont été énoncées afin de minimiser ce risque de convulsions post-injection : injecter au maximum un volume de 8 ml de produit de contraste dans l'ESA, éviter les injections répétées dans la *cisterna magna*, préférer les injections dans la citerne lombaire et enchaîner la chirurgie immédiatement après l'injection de contraste (da Costa *et al.*, 2011). Etant donné que le volume total injecté dans l'ESA est un facteur de risque significatif, une étude récente s'est penchée sur la mesure de l'indice pression-volume qui exprime le volume de fluide, qui injecté dans l'ESA augmente la pression intracrânienne d'un facteur 10 (Arany-Tóth *et al.*, 2012). En établissant les relations entre cet indice, le poids du chien, le volume de contraste injecté par voie haute et l'augmentation de pression dans l'ESA, des recommandations de volume ont été établies (**Tableau III**). Ces volumes de contraste recommandés dans cette étude ne sont pas proportionnels au poids de l'animal car le volume extracrânien de LCR du chien est inversement proportionnel au poids du chien comme décrit récemment (Reinitz *et al.*, 2015).

Body Weight (kg)	PVI (ml)	SaP _{max} = 40 mmHg	
		(ml)	(ml/kg)
5	2.89	1.74	0.35
10	4.22	2.54	0.25
15	5.56	3.35	0.22
20	6.89	4.15	0.21
25	8.22	4.95	0.20
30	9.56	5.75	0.19
35	10.89	6.56	0.19
40	12.22	7.36	0.18
45	13.56	8.16	0.18
50	14.89	8.97	0.18
55	16.23	9.77	0.18
60	17.56	10.57	0.18
65	18.89	11.37	0.17
70	20.23	12.18	0.17
75	21.56	12.98	0.17
80	22.89	13.78	0.17

Tableau III. Tableau illustrant les relations entre les valeurs de l'indice pression-volume (PVI), le poids de l'animal (Body Weight) et le volume de contraste injecté en voie haute (encerclé en rouge) pour augmenter la pression sous-arachnoïdienne à 40 mm Hg comme seuil de pression théorique. *D'après Arany-Toth et collaborateurs, Pressure-volume index-based volume calculation of contrast medium for atlanto-occipital myelography in dogs. Vet. Radiol. Ultrasound, 2012, 53, 430-436.*

III.4. Anesthésie spinale

III.4.a. Historique et définition

L'anesthésie sous-arachnoïdienne ou plus communément appelée spinale ou intrathécale en anesthésie sont des synonymes et consiste en l'injection d'un anesthésiant local seul ou en association avec d'autres substances dans le LCR, c'est à dire dans l'ESA (entre la pie-mère et l'arachnoïde), conduisant à un bloc de la conduction des nerfs spinaux (Enk *et al.*, 2001; Sarotti *et al.*, 2011). Cette anesthésie est à différencier de l'anesthésie épidurale ou extra-durale, qui sont aussi des synonymes et qui consiste en l'injection d'un anesthésiant local seul ou en association avec d'autres substances dans l'espace épidural, soit en-dehors de la dure-mère (Campoy, 2004). A la fin des années 1980, avec la reconnaissance des effets analgésiques des opiacés sur la moelle épinière, l'analgésie épidurale et puis plus récemment l'analgésie spinale deviennent des outils importants en intra et post-opératoire pour procurer une anesthésie et analgésie en médecine vétérinaire (Valverde, 2008).

L'anesthésie spinale a été introduite à la fin du XIX^{ème} siècle en médecine humaine puis en 1901 par Cuillé et Sendrail chez deux chiens (Cuillé et Sendrail, 1901). Elle a été alors supplantée par l'anesthésie générale « moderne » mais regagne depuis plusieurs décennies de l'intérêt en raison de ses avantages sur certains patients (Gerheuser et Crass, 2005) et grâce à l'apparition d'aiguilles spinales plus fines et moins traumatiques qui diminuent l'incidence de céphalées après ponction de la dure-mère en médecine humaine (Green et Barnett, 1950; Sprotte *et al.*, 1987). En médecine vétérinaire, seuls des rapports de cas sur l'anesthésie spinale ont été décrits dans les domaines de la chirurgie orthopédique, l'obstétrique et l'injection par inadvertance dans l'ESA (Campoy, 2004; Sarotti, 2005; Novello et Corletto, 2006).

Le but de l'anesthésie spinale, comme pour l'anesthésie épidurale, est de créer une analgésie péri et post-opératoire. La substance idéale à injecter dans les blocs neuraxiaux doit provoquer une analgésie ou anesthésie, un bloc moteur minimal et un minimum d'effets systémiques (Valverde, 2008). Comme pour l'anesthésie épidurale, l'anesthésie spinale combine fréquemment un anesthésique local avec un opioïde. Les anesthésiques locaux (mépivacaïne, tétracaïne, bupivacaïne, lévobupivacaïne, ropivacaïne) sont administrés dans l'ESA pour obtenir un bloc moteur et sensoriel. Dans ce contexte, la lidocaïne est de moins en

moins utilisée par voie spinale pour cause de neurotoxicité (Ben-David *et al.*, 1997; Pires *et al.*, 2006). Les opioïdes (morphine, fentanyl, sufentanil) sont fréquemment utilisés comme adjuvants pour améliorer la qualité et la durée du bloc, diminuer les risques de réponse cardiovasculaire à la chirurgie (Ben-David *et al.*, 1997) et pour obtenir une analgésie post-opératoire meilleure et plus longue.

La baricité de la solution injectée (densité de la solution par rapport à celle du LCR) dans L'ESA et le positionnement de l'animal influencent grandement la diffusion du liquide injecté dans le LCR. Une solution hyperbare dont la densité spécifique a été augmentée grâce à l'ajout de dextrose diffusera plutôt dans les parties déclives de la colonne et inversement pour une solution hypobare (Valverde, 2008). Les doses d'anesthésiants utilisées sont communément calculées en fonction du poids de l'animal et de la longueur de sa moelle épinière. Les doses des substances pour les injections spinales sont moindres que celles pour les injections épidurales afin d'éviter les risques d'effets secondaires dû à la plus grande biodisponibilité des substances dans le LCR que dans l'espace épidural (Valverde, 2008; Sarotti *et al.*, 2013). Les solutions injectées dans L'ESA doivent être sans conservateur à la différence des injections épidurales pour éviter les effets toxiques directs des conservateurs sur la moelle épinière (Valverde, 2008).

III.4.b. Avantages et complications

En médecine humaine, plusieurs études décrivent les nombreux avantages de l'anesthésie spinale par rapport à l'anesthésie générale et les quelques avantages par rapport à l'anesthésie épidurale (Modig, 1988; Weissman, 1990; Kehlet, 1991; Rodgers *et al.*, 2000). Les avantages de l'anesthésie neuraxiale centrale par rapport à l'anesthésie générale en médecine humaine incluent une meilleure inhibition de la sommation temporelle des stimuli nociceptifs répétés (Curatolo *et al.*, 1997), un contrôle plus facile de la douleur avec une utilisation réduite péri-opératoire d'opioïdes, un meilleur contrôle de la réponse cardiovasculaire, l'abolition des stress métabolique et endocrinien pendant la chirurgie (Weissman, 1990; Kehlet, 1991), une diminution péri-opératoire de la perte de sang (Modig, 1988), une récupération post-opératoire plus rapide et une possible réduction post-opératoire de la mortalité et de la morbidité (Rodgers *et al.*, 2000). L'anesthésie spinale par rapport à l'anesthésie épidurale présente quelques avantages dont l'apparition et la récupération plus rapides du bloc

rachidien et, théoriquement, une meilleure inhibition de la sommation temporelle des stimuli nociceptifs répétés (Curatolo *et al.*, 1997), qui permettent un meilleur contrôle de la douleur post-opératoire. Par ailleurs, un positionnement correct de l'aiguille dans l'ESA peut être vérifié immédiatement lors de la ponction en observant l'écoulement de LCR, alors qu'avec les injections épidurales le positionnement correct de l'aiguille laisse toujours une certaine marge d'incertitude.

En médecine vétérinaire, une équipe s'est penchée sur les avantages et inconvénients des anesthésies spinales. Leurs études démontrèrent l'efficacité de l'anesthésie spinale avec une solution hyperbare de morphine et de bupivacaïne dans le cadre de chirurgies communes des membres postérieurs. En effet, elles ont montré que l'anesthésie spinale créait une analgésie efficace (Sarotti *et al.*, 2013) et était même mieux adaptée que l'anesthésie épidurale dans ce contexte (Sarotti *et al.*, 2015).

Une autre étude démontra que l'anesthésie spinale (lévo/bupivacaïne et morphine/fentanyl avec une solution isobare) chez le chien comporte les mêmes effets secondaires que chez l'homme aux mêmes fréquences: hypotension (29%), bradycardie (8%), rétention urinaire (5%) et hypersalivation (7%) (De Gennaro *et al.*, 2014; Sarotti *et al.*, 2011). Un rapport de cas sur une injection spinale non intentionnelle de morphine rapporte des myoclonies et du prurit (Iff *et al.*, 2012). Cependant, pour certains auteurs, l'anesthésie spinale peut être insuffisante pour assurer une bonne analgésie et l'utilisation d'injections épidurales d'opioïdes en péri-opératoire a été suggérée (De Gennaro *et al.*, 2014).

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Les ponctions de l'ESA en médecine vétérinaire ont été et sont encore actuellement largement réalisées à l'« aveugle » ou sous fluoroscopie. Le guidage sous fluoroscopie était et est surtout utilisé pour le guidage des ponctions lombaires, techniquement plus difficiles. La littérature vétérinaire ne reporte pas le taux d'échec des ponctions sous-arachnoïdiennes à l'« aveugle » ni le pourcentage des ponctions réalisées sous fluoroscopie dans la pratique.

La littérature en médecine humaine reporte néanmoins un taux d'échec des ponctions lombaires à l'« aveugle » assez élevé : 3 à 26% (Williams *et al.*, 2006; Sarotti *et al.*, 2011;). Ces échecs peuvent être liés à différents facteurs : une anatomie lombaire anormale (Chin *et al.*, 2011), l'embonpoint des patients (Stiffler *et al.*, 2007; Peterson et Abele, 2005; Edwards *et al.*, 2015), une identification incorrecte de l'espace intervertébral (Broadbent *et al.*, 2000), l'expérience limitée de certains opérateurs (Aya *et al.*, 1999; Sadashivaiah *et al.*, 2010) ou encore le moment de la ponction (Aya *et al.*, 1999).

En médecine humaine, une technique de guidage échographique appliquée aux ponctions lombaires a été décrite dans les années 1970 (Bogin et Stulin, 1971) mais ce n'est que récemment que l'intérêt pour ce guidage appliqué aux ponctions lombaires se marque par la quantité de littérature sur le sujet (Peterson et Abele, 2005; Ferre et Sweeney, 2007; Stiffler *et al.*, 2007; Perlas, 2010; Strony, 2010; Chin et Perlas, 2011; Chin *et al.*, 2011a, 2011b, 2013, Shaikh *et al.*, 2013). Le guidage échographique présente plusieurs avantages comme méthode de guidage par l'image notamment une amélioration de la qualité d'images, une disponibilité facile, le faible coût de l'échographie ainsi que son innocuité par rapport à la fluoroscopie qui utilise des radiations ionisantes.

Il était donc clair que la médecine vétérinaire pouvait bénéficier de cette technique d'échographie interventionnelle appliquée au rachis. L'objectif général de ce travail a été d'étudier son application chez le chien. Ceci a été réalisé en établissant et en décrivant d'abord l'échoanatomie des régions concernées afin de connaître les repères utiles à l'échoguidage. Ensuite, les techniques échoguidées ont été mises au point et enfin leurs application et avantages chez des opérateurs novices et expérimentés ont été étudiés.

Les objectifs spécifiques suivants ont été ainsi établis et ont fait l'objet de différentes études :

1. Établir l'échoanatomie percutanée de la région lombaire caudale chez le chien (**Etude I**).
2. Mettre au point une technique échoguidée de placement de l'aiguille spinale dans l'espace sous-arachnoïdien lombaire chez le chien (**Etude I**).
3. Etablir l'échoanatomie percutanée de la région atlanto-occipitale chez le chien (**Etude II**).
4. Mettre au point une technique échoguidée de placement de l'aiguille spinale dans la *cisterna magna* chez le chien (**Etude II**).
5. Créer et valider le modèle « cadavre » de chien pour l'enseignement, l'apprentissage et l'entraînement *ex-vivo* du placement d'aiguille spinale dans l'espace sous-arachnoïdien canin (**Etude III**).
6. Comparer les techniques de guidage échographique et par palpation (à l'« aveugle ») pour le placement de l'aiguille spinale dans l'espace sous-arachnoïdien lombaire sur cadavres de chiens avec des opérateurs novices (**Etude III**).
7. Comparer l'effet du guidage échographique entre les deux localisations de ponctions sous-arachnoïdiennes (cisternale et lombaire) sur cadavres de chiens par des opérateurs de degré d'expérience différent (**Etude IV**).

ETUDES

ETUDE I .

ECHOANATOMIE PERCUTANEE DE LA REGION LOMBAIRE CAUDALE ET PONCTION LOMBAIRE ECHOGUIDEE CHEZ LE CHIEN

ULTRASONOGRAPHIC PERCUTANEOUS ANATOMY OF THE CAUDAL LUMBAR REGION AND ULTRASOUND-GUIDED LUMBAR PUNCTURE IN THE DOG

Etienne A.-L., Peeters D., Busoni V. Ultrasonographic percutaneous anatomy of the caudal lumbar region and ultrasound-guided lumbar puncture in the dog. *Vet. Radiol. Ultrasound*, 2010 , **51**, 527-32.

Présentée en poster au Congrès International de l'Association des Vétérinaires Radiologues (IVRA), au Brésil en juillet 2009

ECHOANATOMIE PERCUTANEE DE LA REGION LOMBAIRE CAUDALE ET PONCTION LOMBAIRE ECHOGUIDEE CHEZ LE CHIEN

Résumé

La ponction lombaire sous-arachnoïdienne chez le chien est un acte fréquemment réalisé en pratique vétérinaire à des fins diagnostiques : prélèvement de liquide céphalo-rachidien et/ou réalisation d'une myélographie. Cette étude a établi l'échoanatomie percutanée de la région lombaire grâce à des manipulations *ex-vivo* puis *in-vivo* et à la comparaison entre images échographiques et coupes anatomiques. Puis, les images échographiques obtenues *ex-vivo* et *in-vivo* ont été utilisées pour identifier les repères pour une technique échoguidée d'introduction de l'aiguille spinale dans l'espace sous-arachnoïdien lombaire. L'échoanatomie de la région lombaire a été établie au moyen d'images transversales et longitudinales (sagittales et parasagittales) mettant en évidence des structures osseuses dont les processus épineux, le plancher du canal vertébral et les processus articulaires. La technique échoguidée a été établie en prenant comme repères les processus articulaires adjacents des cinquième et sixième vertèbres lombaires sur une image parasagittale oblique. Elle consiste à diriger l'aiguille spinale sous guidage échographique direct dans l'espace triangulaire entre les processus articulaires contigus des cinquième et sixième vertèbres lombaires, puis d'avancer pour entrer dans le canal vertébral. En utilisant ces repères précis d'anatomie, une technique échoguidée de ponction lombaire est applicable chez le chien.

ULTRASONOGRAPHIC PERCUTANEOUS ANATOMY OF THE CAUDAL LUMBAR REGION AND ULTRASOUND-GUIDED LUMBAR PUNCTURE IN THE DOG

Abstract

Subarachnoid lumbar puncture is used commonly in the dog for cerebrospinal fluid collection and/or myelography. Here in we describe the percutaneous ultrasound anatomy of the lumbar region in the dog and a technique for ultrasound-guided lumbar puncture. Ultrasound images obtained *ex-vivo* and *in-vivo* were compared with anatomic sections and used to identify the landmarks for ultrasound-guided lumbar puncture. The ultrasound-guided procedure was established in cadavers and then applied *in-vivo* in eight dogs. The anatomic landmarks for the ultrasound-guided puncture, which should be identified on the parasagittal oblique ultrasound image are the articular processes of the fifth and sixth lumbar vertebrae and the interarcuate space. The spinal needle is directed under direct ultrasound-guidance toward the triangular space located between the contiguous articular processes of the fifth and sixth lumbar vertebrae and then advanced to enter the vertebral canal. Using these precise ultrasound anatomic landmarks, an ultrasound-guided technique for lumbar puncture is applicable in the dog.

ULTRASONOGRAPHIC PERCUTANEOUS ANATOMY OF THE CAUDAL LUMBAR REGION AND ULTRASOUND-GUIDED LUMBAR PUNCTURE IN THE DOG

ANNE-LAURE ETIENNE, DOMINIQUE PEETERS, VALERIA BUSONI

Subarachnoid lumbar puncture is used commonly in the dog for cerebrospinal fluid collection and/or myelography. Here in we describe the percutaneous ultrasound anatomy of the lumbar region in the dog and a technique for ultrasound-guided lumbar puncture. Ultrasound images obtained ex vivo and in vivo were compared with anatomic sections and used to identify the landmarks for ultrasound-guided lumbar puncture. The ultrasound-guided procedure was established in cadavers and then applied in vivo in eight dogs. The anatomic landmarks for the ultrasound-guided puncture, which should be identified on the parasagittal oblique ultrasound image are the articular processes of the fifth and sixth lumbar vertebrae and the interarcuate space. The spinal needle is directed under ultrasound-guidance toward the triangular space located between the contiguous articular processes of the fifth and sixth lumbar vertebrae and then advanced to enter the vertebral canal. Using these precise ultrasound anatomic landmarks, an ultrasound-guided technique for lumbar puncture is applicable in the dog. © 2010 Veterinary Radiology & Ultrasound, Vol. 51, No. 5, 2010, pp 527–532.

Key words: anatomy, dog, lumbar puncture, myelography, subarachnoid space, ultrasound.

Introduction

INTRODUCING A SPINAL needle in the lumbar subarachnoid space in dogs is commonly carried out for cerebrospinal fluid (CSF)¹ collection or to perform myelography.² The anatomic landmarks for this procedure are the iliac crests, the spinous processes of the fifth (L5), the sixth (L6), and the seventh (L7) lumbar vertebrae and the interspinous spaces between them.^{3,4} These landmarks are usually identified by palpation^{1,5} and introduction of the spinal needle performed with or without fluoroscopic guidance.^{6,7} Radiography can be used to evaluate the needle position intermittently. The body condition of the patient can increase the difficulty of correctly inserting the needle when fluoroscopic image guidance is not available.^{6,8,9}

Ultrasound-guidance is used commonly for interventional procedures in canine abdominal and thoracic imaging^{10–13} and has also been used for CSF collection at the *cisterna magna*¹⁴ and lumbosacral space¹⁵ in horses. The benefits of applying ultrasound-guidance to achieve subarachnoid space lumbar puncture in humans are well known.¹⁶ Ultrasound is used commonly to identify lumbar landmarks, particularly in the emergency department^{7,17} and ultrasound-guided subarachnoid space puncture has

been judged to be safe in people of any age.^{7,18} Ultrasound-guided subarachnoid space puncture allows the assessment of the path of the entire trajectory to the vertebral canal without exposure to ionizing radiation.^{17,19} The sonographic features of the canine *cisterna magna* and of Chiari-like malformations have been described in dogs,²⁰ but the sonographic features of lumbar puncture have not.

Herein we describe the sonographic percutaneous anatomy of the lumbar region and an ultrasound-guided technique for lumbar puncture in the dog.

Materials and Methods

The study was conducted in five stages: sonographic evaluation of isolated vertebrae in a water bath (stage 1), a cadaver study to establish detailed sonographic anatomy in comparison with cross anatomical sections (stage 2), an in vivo study to examine the feasibility of lumbar region sonography in live dogs (stage 3), a cadaver study to test the ultrasound-guided technique (stage 4), and an in vivo study to apply the ultrasound-guided technique on clinical patients (stage 5).

To visualize and describe the bony profile of the caudal lumbar vertebrae, transverse and longitudinal ultrasound images of a vertebral bony profile were obtained on isolated vertebrae in a water bath by placing the ultrasound probe in water (stage 1).

Ex vivo ultrasound images were also obtained by examining the caudal lumbar region of cadavers of a Yorkshire weighing 4 kg and a crossed Bichon weighing 8 kg (stage 2). The normal cross-sectional anatomy of the canine caudal

From the Faculty of Veterinary Medicine, Diagnostic Imaging Section (Etienne, Busoni) and Faculty of Veterinary Medicine, Internal Medicine Section (Peeters), University of Liège, Boulevard de Colonster, 20, Bâtiment B41, Sart-Tilman, 4000 Liège, Belgium.

Address correspondence and reprint requests to Dr. Anne-Laure Etienne, at the above address. E-mail: al_etienne@yahoo.fr

Received February 12, 2010; accepted for publication March 22, 2010.
doi: 10.1111/j.1740-8261.2010.01705.x

lumbar region was determined by using frozen anatomic sections obtained from the two cadavers. These sections were then compared with the ultrasound images to establish the ultrasound anatomy of the canine caudal lumbar region. Five normal dogs of a different morphology, weighing between 8 and 21 kg, were used for the *in vivo* anatomical study (stage 3). The cadaveric study to test the anatomic landmarks identified on the ultrasound images and to establish the ultrasound-guided technique was done on two dog cadavers (stage 4): a Weimaraner of 27 kg and a crossed Bichon of 8 kg. The ultrasound-guided technique for lumbar subarachnoid space puncture was then applied in clinical conditions on eight dogs undergoing myelography or CSF puncture (stage 5).

Ultrasound images on cadavers and living animals were acquired with the dog in lateral recumbency with the hindlimbs pulled cranially (stages 2–5). The skin was clipped and ultrasound gel was used to improve skin/probe coupling.

Ultrasound images were obtained with an ultrasound machine Aloka 3500 Prosound (Aloka Co. Ltd., Tokyo, Japan), equipped with either a linear 7.5 MHz, a microconvex 7.5 MHz or a curvilinear 5 MHz transducer depending on size, amount of fat, and conformation of the dog. Transverse and longitudinal (sagittal and parasagittal) images were obtained. L5 and L6 were first identified grossly by palpation of the spinous processes. Then exact localization of levels L5–L6 and L4–L5 was confirmed by ultrasound. The iliac wings and the spinous process of the first sacral vertebra localized on transverse ultrasound images and then the probe was displaced cranially to count spinous processes. Transverse ultrasound images were obtained by orienting the probe perpendicular to the vertebral column and by positioning the spinous processes in the center of the image. To obtain longitudinal ultrasound images, the transducer was rotated 90° into a longitudinal plane and placed in the axis and on the midline of the lumbar vertebral column. The position of adjacent dorsal spinous processes was used to confirm a sagittal position of the ultrasound image. For parasagittal ultrasound images, the transducer was first placed parallel to the spinous processes to localize the corresponding transverse processes and then it was moved axially to depict the articular processes. To ensure that the echoes of the articular processes were distinguished from the echoes of the transverse processes, the transducer was moved several times axially and abaxially to check the different depth between these structures as the transverse processes are located deeper than articular processes. In each dog of the anatomical study (stage 3), ultrasound *in vivo* images were obtained independently by two operators.

For ultrasound-guided lumbar puncture, dogs were in lateral recumbency with the hindlimbs pulled cranially (stages 4 and 5). For the *in vivo* study, dogs were under



FIG. 1. Positioning of the ultrasound probe and the spinal needle for ultrasound-guided lumbar puncture.

general anesthesia and the skin prepared aseptically after clipping (stage 5). Alcohol was used instead of gel to improve skin coupling. The probe and the hands of the operator were covered with sterile gloves.

Spinal needles with a bevel of Quincke* were used (stages 4 and 5). Needle length and diameter varied depending on the dog's size (20–22 G, 38–90 mm).

The microconvex 7.5 MHz transducer was used for direct ultrasound-guidance using a free-hand technique (stages 4 and 5). The probe and the spinal needle were held by the same operator (Fig. 1). A parasagittal approach was chosen for the puncture. Parasagittal ultrasound images were used to identify the landmarks and visualize needle tip progression in real-time. The eight *in vivo* punctures were performed by three operators who made one, six, and one punctures, respectively (stage 5).

Results

Echoic lumbar fascia covered the hypoechoic muscles located on each side of the midline. The supraspinous ligament was difficult to identify because of its size. It appeared as a small oval echoic structure dorsal to the spinous process. The spinous process was the most superficial bony midline structure visible and was associated with a long anechoic band due to acoustic shadowing. The dorsal aspect of the spinous processes appeared as a narrow curved hyperechoic line. The dorsal aspect of the spinous processes was located close to the transducer surface in small thin dogs, while it was deeper in larger and fatter animals (Fig. 2). The abaxial surfaces of the spinous processes were not seen because they were parallel to the ultrasound beam. Transverse images could be obtained at the level of the vertebral arch or at the level of the interarcuate space. On both sides of the vertebral arch, the

*BD, Becton Dickinson S.A., S. Agustin del Guadalix, Madrid, Spain.

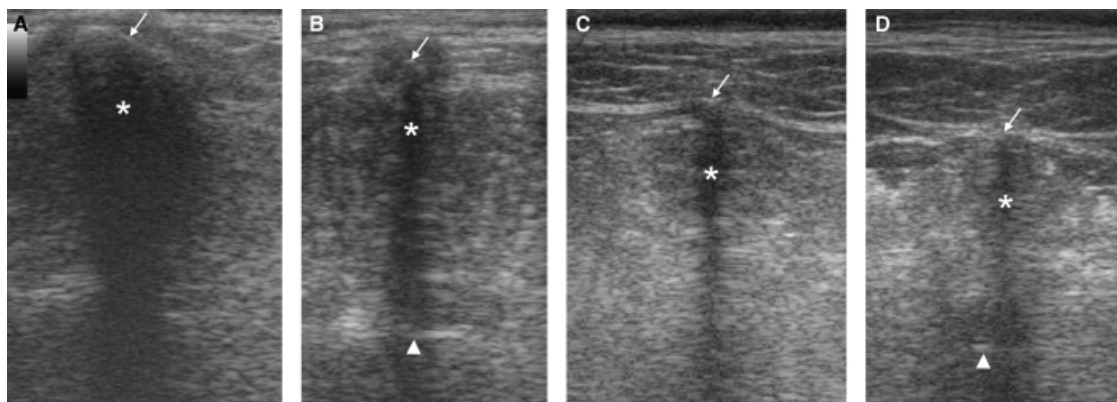


FIG. 2. Longitudinal (A) and transverse (B–D) ultrasonographic images at the level of the spinous process of the fifth lumbar vertebra of four different dogs. Arrow, top of the spinous process; arrowhead, floor of the vertebral canal; asterisk (*), acoustic shadow of the spinous process.

articular and transverse processes appeared as hyperechoic lines. At the level of the interarcuate space, the floor of vertebral canal was visualized as a thin hyperechoic line at a distance of several centimetres from the dorsal aspect of the spinous process (Fig. 3). Depending on the size and fatness of the dog and on skin quality, the vertebral canal could or could not be seen entirely and the spinal cord could be visible as a hypoechoic structure outlined by two echoic lines and with or without a visible central canal, that appeared as a very thin echoic line. Because of the small acoustic window to reach the vertebral canal, the subarachnoid space was rarely visualized clearly.

In sagittal images, the spinous processes were seen clearly as curved hyperechoic lines with acoustic shadows (Fig. 2). Between the acoustic shadowing of the spinous processes, in the interspinous space, the vertebral arch appeared as a thin hyperechoic line. Because of the orientation of the spinous processes, it was difficult to visualize the vertebral canal on sagittal images. To visualize the vertebral canal the probe was therefore placed parasagittally. To obtain the optimal positioning, the probe was displaced laterally, kept parallel to the lumbar column and slight movements or angulations toward the midline (dorsolateral–ventrodistal)

were performed until visualization of the articular processes was obtained. The articular processes appeared as two adjacent curved hyperechoic lines that formed a broader convexity than the spinous processes and were located deeper (Fig. 4). When the articular processes were seen, angulation was optimized to visualize the vertebral canal through the interarcuate space. The floor of the vertebral canal appeared as a thin hyperechoic line. Sometimes the dorsal limit of the vertebral canal was also seen at the same time as a hyperechoic line parallel to the floor and the spinal cord was visible as a hypoechoic structure outlined by two very thin echoic lines, representing the pia-mater. The ventral subarachnoid space was located between the ventral echoic line and the hyperechoic floor of the vertebral canal.

The first step of lumbar puncture consisted of the identification of the anatomic landmarks. Once L5 and L6 have been identified on transverse images, the probe was rotated 90° to obtain a sagittal image and then displaced in a lateral direction to obtain a parasagittal section at the level of the articular processes (Fig. 1). Once the articular processes were seen, the beam was angled toward the midline and was optimized to visualize the floor of the vertebral canal

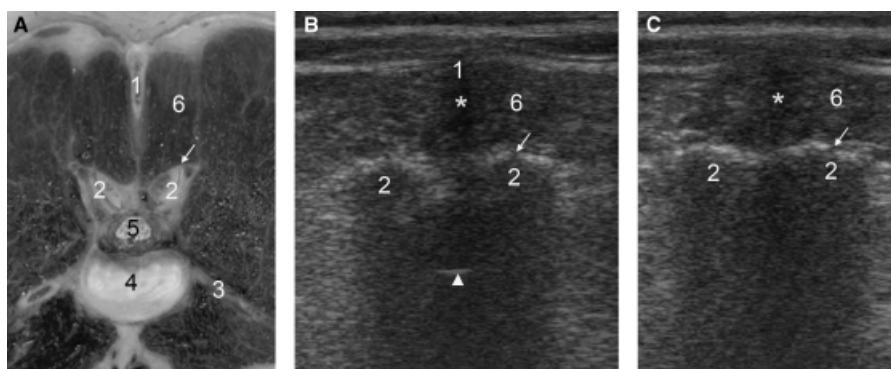


FIG. 3. Transverse anatomical section (A) and ultrasonographic images (B and C) of the fifth lumbar vertebra of a crossed Bichon. 1, spinous process; 2, articular process; 3, transverse process; 4, body of the fifth lumbar vertebra; 5, spinal cord; 6, *Multifidus lumborum* muscle. Arrow, articular process joint space; arrowhead, floor of the vertebral canal; asterisk (*), acoustic shadow of the spinous process.

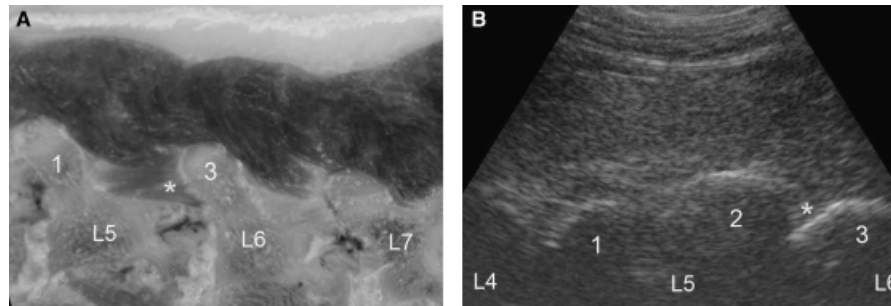


FIG. 4. Parasagittal anatomic section (A) and ultrasonographic image (B) of the caudal vertebral column of a crossed Bichon. L5, fifth lumbar vertebra; L6, sixth lumbar vertebra; L7, seventh lumbar vertebra; 1, cranial articular process of the fifth lumbar vertebra; 2, caudal articular process of the fifth lumbar vertebra; 3, cranial articular process of the sixth lumbar vertebra. Asterisk (*), space between the fifth and sixth lumbar vertebrae toward which the needle should be directed.

through the interarcuate space. The aim was to achieve the best visualization of the floor of the vertebral canal and possibly of the spinal cord and subarachnoid space on a slightly oblique parasagittal image at the level of L5–L6. The triangular hypoechoic area between the contiguous articular processes of L5 and L6 served as the target for needle placement and was placed on the screen to optimize the relative needle/probe position. The spinal needle was visualized and guided toward the target; it appeared as a thin hyperechoic line (Fig. 5). When the needle reached the area between the articular processes, bone contact could be felt. Keeping the needle in the image plane, the direction of the needle was optimized by changing the angle to enter the vertebral canal where it was advanced to the ventral aspect of the subarachnoid space. The stylet was then removed and the needle bevel withdrawn slightly until CSF was obtained. Using this ultrasound-guided technique CSF was obtained without blood contamination in seven of the eight dogs.

Discussion

The use of isolated vertebrae to study the sonographic characteristics of an isolated vertebra was useful as a first

step because of the low visibility of bony structures in vivo, created by the presence of fat and the thin nature of the bony prominences in the lumbar area. The ex vivo imaging was necessary to compare ultrasound images with anatomic sections, to fully understand the ultrasound anatomy of the region and to test the ultrasound-guided technique before its application in vivo. As reported in humans, a detailed description of normal structures of the lumbar region constitutes a necessary basis for application of an ultrasound-guided technique to subarachnoid space lumbar puncture.^{17,19,21} The parasagittal images described in this study have been used successfully to guide the needle for lumbar puncture using a parasagittal approach. As described for ultrasound-guided articular process joint injections in horses²² or for ultrasound-guided fine-needle aspiration biopsy in humans,²³ the ultrasound anatomical description of the region can also be used for ultrasound-guided procedures other than lumbar puncture (injections, drainage, fine-needle aspiration, or biopsies). A detailed knowledge of the normal ultrasound appearance of the region allows an easier identification of potential local abnormalities, such as masses, muscular damage, or vertebral bony involvement.^{23–26}

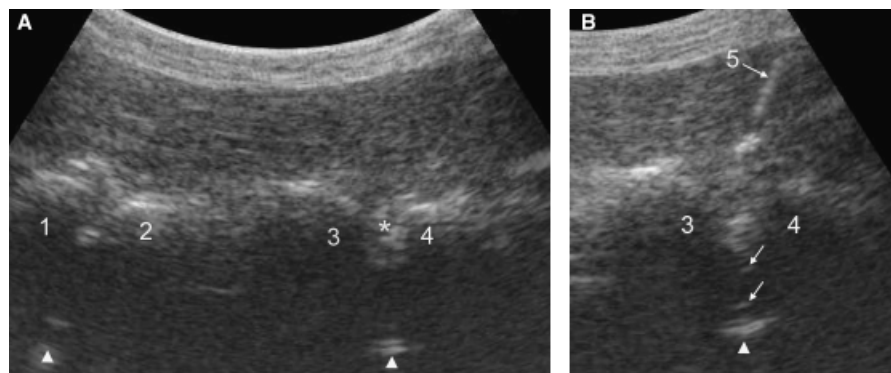


FIG. 5. Parasagittal ultrasonographic images of the caudal aspect of the vertebral column of a crossed Bichon. 1, caudal articular process of the fourth lumbar vertebra; 2, cranial articular process of the fifth lumbar vertebra; 3, caudal articular process of the fifth lumbar vertebra; 4, cranial articular process of the sixth lumbar vertebra; 5, spinal needle. Arrowhead, floor of the vertebral canal; arrows, echoic lines outlining the spinal cord; asterisk (*), space between the fifth and sixth lumbar vertebrae toward which the needle should be directed.

Optimal images are sometimes difficult to obtain in the lumbar region because of the presence of bony processes that disturb passage of the ultrasound beam. Slice thickness artifacts were noticed in most dogs because of the proximity of bony processes. As a result of slice thickness artifact, visible structures are often not exactly in the same anatomical plane.²⁷ This was seen on transverse images where, because of the obliquity of the spinous processes, it was difficult or impossible to image the floor of the vertebral canal separately from the dorsal aspect of the spinous process. Despite acoustic shadowing, the spinous process and arch and/or the floor of the vertebral canal were then visible on the same ultrasound image. For the same reason, the base of articular processes was imaged together with the interarcuate space and the floor of the vertebral canal on the parasagittal oblique images.

Indirect ultrasound-guidance is used commonly for lumbar subarachnoid space puncture in humans.^{7,17} Because of the large range of obliquity of the spinous processes in the dog, indirect guidance was considered difficult to apply and it was chosen to test a direct ultrasound-guided technique. A free-hand procedure was preferred because it was speculated that a needle guide may have been difficult to adjust adequately between the rigid bony structures.

The goal of the ultrasound-guided puncture technique is to facilitate the introduction of the needle while avoiding the exposure of the operator to ionizing radiation. Because the subarachnoid space is not well-visualized sonographically, the articular processes and the vertebral canal floor were used as landmarks for the parasagittal puncture. In comparison with fluoroscopy or radiography, which only provides a latero-lateral view of the needle, the ultrasound-guided technique helps in localizing the parasagittal plane for the puncture. Although ultrasound-guidance may not reduce the time needed for the procedure in comparison with other techniques, it provides confirmation of needle-intervertebral space proximity and gives the exact position

of the needle in relation to the sagittal plane. In Humans, this reduces the risk of retroperitoneal bleeding that has been reported when needle direction is inaccurate and too lateral, and the needle is unintentionally advanced into the retroperitoneal space.²⁸ In comparison with no image guidance, ultrasound localization of L5 and L6 also decreases the risk of performing the puncture at the wrong level when spinous processes are difficult to palpate. Finally, in less experienced operators, ultrasound-guidance for needle placement improves the comfort of the person performing the puncture, while increasing familiarity with relevant anatomy and confidence through visualization of the needle trajectory.²⁹

Although in vivo images were obtained on 13 dogs and the ultrasound-guided technique was applicable in eight dogs, hyperattenuation of the ultrasound beam by fat was observed in larger animals. In humans, fat also impairs visualization of ultrasound landmarks and renders the technique more difficult in obese patients.¹⁷ However, the ultrasound-guided technique is still easier to use compared with a non image-guided technique.^{7,16} Degenerative joint disease may also alter the contour of the articular processes.³⁰ This may impair clear visualization of the target area and of the interarcuate space. Finally, while some veterinarians routinely interpret ultrasound images, many others have limited experience and the learning curve may be long, especially considering image quality in fat animals and needle control and tracking during insertion. In this study, two operators obtained the in vivo images consecutively and three operators performed the ultrasound-guided lumbar punctures. This supports the repeatability of the technique and its feasibility by different operators. However, all operators in this study were experienced sonographers. Two of the three had also experience in fluoroscopy-guided lumbar puncture.

In summary, we have characterized the feasibility of an ultrasound-guided technique for lumbar subarachnoid space puncture in dogs.

REFERENCES

1. Di Terlizzi R, Platt SR. The function, composition and analysis of cerebrospinal fluid in companion animals: part II—analysis. *Vet J* 2009;180:15–32.
2. Tanaka H, Nakayama M, Takase K. Usefulness of myelography with multiple views in diagnosis of circumferential location of disc material in dogs with thoracolumbar intervertebral disc herniation. *J Vet Med Sci* 2004;66:827–833.
3. Bagley RS. *Fundamentals of veterinary clinical neurology*. IA, USA: Blackwell Publishing Professional, 2005, 570; 215–220.
4. Oliver JE, Lorenz MD (eds): *Handbook of veterinary neurology*. Philadelphia, PA: Saunders, 1997.
5. Dewey CW. *Canine and feline neurology*, 652. Iowa, USA: Blackwell Publishing Company, 2003;657–671.
6. Stiffler KA, Jwayyed S, Wilber ST, Robinson A. The use of ultrasound to identify pertinent landmarks for lumbar puncture. *Am J Emerg Med* 2007;25:331–334.
7. Peterson MA, Abele J. Bedside ultrasound for difficult lumbar puncture. *J Emerg Med* 2005;28:197–200.
8. Broadbent CR, Maxwell WB, Ferrie R, Wilson DJ, Gawne-Cain M, Russell R. Ability of anaesthetists to identify a marked lumbar interspace. *Anaesthesia* 2000;55:1122–1126.
9. McCartney WT. Lumbar myelography in 79 dogs, using different puncture sites. *Vet Rec* 1997;141:417–419.
10. Barr F. Percutaneous biopsy of abdominal organs under ultrasound guidance. *J Small Anim Pract* 1995;36:105–113.
11. Fluckiger M. Ultrasonic diagnosis in dogs and cats. 2. Clinical use—a review. *Schweiz Arch Tierheilkd* 1991;133:101–111.
12. Reichle JK, Wisner ER. Non-cardiac thoracic ultrasound in 75 feline and canine patients. *Vet Radiol Ultrasound* 2000;41:154–162.
13. Rivers BJ, Walter PA, Polzin DJ. Ultrasonographic-guided, percutaneous antegrade pyelography: technique and clinical application in the dog and cat. *J Am Anim Hosp Assoc* 1997;33:61–68.
14. Audigie F, Tapprest J, Didierlaurent D, Denoix JM. Ultrasound-guided atlanto-occipital puncture for myelography in the horse. *Vet Radiol Ultrasound* 2004;45:340–344.

15. Aleman M, Borchers A, Kass PH, Puchalski SM. Ultrasound-assisted collection of cerebrospinal fluid from the lumbosacral space in equids. *J Am Vet Med Assoc* 2007;230:378–384.
16. Nomura JT, Leech SJ, Shenbagamurthi S, et al. A randomized controlled trial of ultrasound-assisted lumbar puncture. *J Ultrasound Med* 2007;26:1341–1348.
17. Ferre RM, Sweeney TW. Emergency physicians can easily obtain ultrasound images of anatomical landmarks relevant to lumbar puncture. *Am J Emerg Med* 2007;25:291–296.
18. Coley BD, Shiels WE II, Hogan MJ. Diagnostic and interventional ultrasonography in neonatal and infant lumbar puncture. *Pediatr Radiol* 2001;31:399–402.
19. Greher M, Scharbert G, Kamolz LP, et al. Ultrasound-guided lumbar facet nerve block: a sonoanatomic study of a new methodologic approach. *Anesthesiology* 2004;100:1242–1248.
20. Schmidt MJ, Wigger A, Jawinski S, Golla T, Kramer M. Ultrasonographic appearance of the craniocervical junction in normal brachycephalic dogs and dogs with caudal occipital (Chiari-like) malformation. *Vet Radiol Ultrasound* 2008;49:472–476.
21. Kirchmair L, Entner T, Wissel J, Moriggl B, Kapral S, Mitterschiffthaler G. A study of the paravertebral anatomy for ultrasound-guided posterior lumbar plexus block. *Anesth Analg* 2001;93:477–481, 474.
22. Nielsen JV, Berg LC, Thoenert MB, Thomsen PD. Accuracy of ultrasound-guided intra-articular injection of cervical facet joints in horses: a cadaveric study. *Equine Vet J* 2003;35:657–661.
23. Gupta S, Takhtani D, Gulati M, et al. Sonographically guided fine-needle aspiration biopsy of lytic lesions of the spine: technique and indications. *J Clin Ultrasound* 1999;27:123–129.
24. Yazici M, Etensel B, Gursoy MH, Aydogdu A, Erkus M. Nontraumatic myositis ossificans with an unusual location: case report. *J Pediatr Surg* 2002;37:1621–1622.
25. Tomlinson JE, Sage AM, Turner TA. Ultrasonographic abnormalities detected in the sacroiliac area in twenty cases of upper hindlimb lameness. *Equine Vet J* 2003;35:48–54.
26. Dick EA, de Bruyn R, Patel K, Owens CM. Spinal ultrasound in cloacal exstrophy. *Clin Radiol* 2001;56:289–294.
27. Thrall DE (eds): *Textbook of veterinary diagnostic radiology*. Chapter 3. Philadelphia, PA: WB Saunders, 2007;42–45.
28. Barak M, Fischer D, Gat M, Katz Y. Retroperitoneal hematoma after spinal anesthesia with the paramedian approach. *Anesth Analg* 2004;98:851–853.
29. Broking K, Waurick R. How to teach regional anesthesia. *Curr Opin Anaesthesiol* 2006;19:526–530.
30. Denoix JM. Ultrasonographic evaluation of back lesions. *Vet Clin North Am Equine Pract* 1999;15:131–159.

ETUDE II.

**ECHOANATOMIE PERCUTANEE DE LA REGION ATLANTO-OCCIPITALE ET PONCTION
CISTERNALE ECHOGUIDEE INDIRECTE CHEZ LE CHIEN ET LE CHAT**

**ULTRASONOGRAPHIC PERCUTANEOUS ANATOMY OF THE ATLANTO-OCCIPITAL REGION
AND INDIRECT ULTRASOUND-GUIDED CISTERNAL PUNCTURE IN THE DOG AND THE CAT**

Etienne A.-L., Audigié F., Peeters D., Gabriel A., Busoni V. Ultrasonographic percutaneous anatomy of the atlanto-occipital region and indirect ultrasound-guided cisternal puncture in the dog and the cat. *Anat Histol Embryol.*, 2015, **44**, 92-98.

ECHOANATOMIE PERCUTANEE DE LA REGION ATLANTO-OCCIPITALE ET PONCTION CISTERNALE ECHOGUIDEE INDIRECTE CHEZ LE CHIEN ET LE CHAT

Résumé

La ponction de la *cisterna magna* chez les chiens et les chats est couramment réalisée. Cet article décrit l'anatomie échographique percutanée canine et féline de la région cisternale et une technique échoguidée indirecte pour la ponction cisternale. Les images obtenues *ex-vivo* et *in-vivo* ont été comparées avec les coupes anatomiques et utilisées pour identifier les repères de la ponction cisternale échoguidée. La procédure échoguidée a été établie sur des cadavres puis, appliquée *in-vivo* sur sept chiens et deux chats. Les repères anatomiques pour la ponction échoguidée sont la cisterna magna, la moelle épinière, les deux condyles occipitaux sur les images transverses, la crête occipitale externe et l'arc dorsal de la première vertèbre cervicale sur les images longitudinales. En utilisant ces repères anatomiques, une technique échoguidée indirecte pour les ponctions cisternales est applicable chez le chien et le chat.

ULTRASONOGRAPHIC PERCUTANEOUS ANATOMY OF THE ATLANTO-OCCIPITAL REGION AND INDIRECT ULTRASOUND-GUIDED CISTERNAL PUNCTURE IN THE DOG AND THE CAT

Abstract

Cisternal puncture in dogs and cats is commonly carried out. This article describes the percutaneous ultrasound anatomy of the cisternal region in the dog and the cat and an indirect technique for ultrasound-guided cisternal puncture. Ultrasound images obtained *ex-vivo* and *in-vivo* were compared with anatomic sections and used to identify the landmarks for ultrasound-guided cisternal puncture. The ultrasound-guided procedure was established in cadavers and then applied *in-vivo* in seven dogs and two cats. The anatomic landmarks for the ultrasound-guided puncture are the *cisterna magna*, the spinal cord, the two occipital condyles on transverse images, the external occipital crest and the dorsal arch of the first cervical vertebra on longitudinal images. Using these ultrasound anatomic landmarks, an indirect ultrasound-guided technique for cisternal puncture is applicable in the dog and the cat.

ORIGINAL ARTICLE

Ultrasonographic Percutaneous Anatomy of the Atlanto-Occipital Region and Indirect Ultrasound-Guided Cisternal Puncture in the Dog and the Cat

A.-L. Etienne^{1*}, F. Audigié², D. Peeters³, A. Gabriel⁴ and V. Busoni¹

Addresses of authors: ¹ Diagnostic Imaging Section, Faculty of Veterinary Medicine, Liège University, Boulevard de Colonster, 20, Bât. B41, 4000 Liège, Belgium;

² CIRALE-IPC, UMR Biomécanique et Pathologie Locomotrice du Cheval, Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort, RN 175, 14430 Goustranville, France;

³ Companion Animal Internal Medicine Section, Faculty of Veterinary Medicine, Liège University, Boulevard de Colonster, 20, Bât. B44, 4000 Liège, Belgium;

⁴ Anatomy Section, Faculty of Veterinary Medicine, Liège University, Boulevard de Colonster, 20, Bât. B43, 4000 Liège, Belgium

***Correspondence:**

Tel.: +32 4 366 4180;

fax: +32 4 366 4181;

e-mail: al_etienne@yahoo.fr

With 5 figures

Received January 2013; accepted for publication February 2014

doi: 10.1111/ah.12113

Summary

Cisternal puncture in dogs and cats is commonly carried out. This article describes the percutaneous ultrasound anatomy of the cisternal region in the dog and the cat and an indirect technique for ultrasound-guided cisternal puncture. Ultrasound images obtained *ex vivo* and *in vivo* were compared with anatomic sections and used to identify the landmarks for ultrasound-guided cisternal puncture. The ultrasound-guided procedure was established in cadavers and then applied *in vivo* in seven dogs and two cats. The anatomic landmarks for the ultrasound-guided puncture are the cisterna magna, the spinal cord, the two occipital condyles on transverse images, the external occipital crest and the dorsal arch of the first cervical vertebra on longitudinal images. Using these ultrasound anatomic landmarks, an indirect ultrasound-guided technique for cisternal puncture is applicable in the dog and the cat.

Introduction

The introduction of a spinal needle in the cisterna magna (CM) is commonly carried out for cerebrospinal fluid (CSF) collection (Oliver et al., 1997; Ducoté and Dewey, 2003) or to perform myelography (Adams, 1982) or computed tomography (CT) myelography (Shimizu et al., 2009; Robertson and Thrall, 2011) in dogs. This procedure is considered technically easier than the lumbar puncture (Oliver et al., 1997) but can be responsible for iatrogenic injury (Lujan Feliu-Pascual et al., 2008). The anatomic landmarks for the cisternal tap are the external occipital protuberance and the spinous process of the axis (C2) for the midline and the cranial border of the transverse process (wings) of the atlas (C1) (Ducoté and Dewey, 2003, Oliver et al., 1997; Tipold, 2003; Elias and Brown, 2008). These landmarks are usually identified by palpation, and introduction of the spinal needle is

performed at the intersection of the midline and a line connecting the wings of the C1 (Elias and Brown, 2008). As in human medicine for cervical myelography (Orrison et al., 1983; Yousem and Gujar, 2009), fluoroscopic guidance can be used to puncture the CM. Ultrasound (US) guidance is used in human medicine to guide a needle for regional anaesthesia (Marhofer et al., 2005), to insert an epidural catheter in children (Rapp et al., 2005; Willschke et al., 2006) and to puncture the lumbar subarachnoid space (Peterson and Abele, 2005; Ferre and Sweeney, 2007). US guidance is considered to reduce the risks of the procedure and to increase operator's confidence.

US guidance has been described for CSF collection at the CM (Audigié et al., 2004), the lumbosacral space (Aleman et al., 2007) and more recently between C1 and C2 (Pease et al., 2012) in horses. An US-guided technique for lumbar subarachnoid space puncture has been described in dogs (Etienne et al., 2010). Sonographic

assessment of the craniocervical junction has been used to detect congenital malformations in humans (Braun et al., 1983; Cramer et al., 1986) without exposure to ionizing radiation. Recently, in veterinary medicine, the ultrasonographic appearance of the canine CM and the Chiari-like malformation has been described in Cavalier King Charles Spaniel dogs (Schmidt et al., 2008).

The aims of this study are to describe the US percutaneous anatomy of the atlanto-occipital region in dogs and cats and to illustrate the use of an indirect US-guided technique (Nyland et al., 2002) (transducer removed after determination of the angle and depth of needle insertion from the US image) for cisternal puncture.

Materials and Methods

The study was conducted in four stages. All procedures of this study were performed in accordance with the Ethical Committee of the Faculty of Veterinary Medicine, Liège University.

Stage 1: cadaver study to establish detailed sonographic anatomy in comparison with cross anatomical sections

Ex vivo US images were obtained by examining the atlanto-occipital region of cadavers of 5 dogs euthanized (medetomidine 15–30 µg/kg intravenously, 5 min before pentobarbital 20% (100–150 mg/kg) intravenously) for reasons unrelated to this study: a Bernese mountain dog, a Labrador Retriever, a Poodle, a Beagle and an American Staffordshire Terrier. The normal cross-sectional anatomy of the canine craniocervical region was determined using frozen anatomic sections obtained from two previous cadavers (a Beagle and an American Staffordshire Terrier). These sections were then compared with the US images to establish the US anatomy of the canine atlanto-occipital region.

Stage 2: in vivo study to examine the feasibility of atlanto-occipital region sonography in live dogs and cats

Five normal awake dogs of different morphology, weighing between 6 and 33 kg, were used. Two awake European cats, weighing 4 and 5 kg, were also used for this step.

Stage 3: cadaver study to test the indirect US-guided technique

Two dog cadavers euthanized for reasons unrelated to this study were used. The same protocol for euthanasia was used as in stage 1.

Stage 4: in vivo study to apply the US-guided technique on clinical patients

The US-guided technique for cisternal puncture was applied in clinical conditions in seven dogs and two cats undergoing CSF puncture or myelography. For this *in vivo* study, patients were under general anaesthesia: animals were pre-medicated with intravenous methadone (0.2 mg/kg) and, 10–20 min later, intravenous midazolam (0.3 mg/kg). For induction propofol (approximately 4 mg/kg) but dosed according to demand was administered intravenously. Anaesthesia was maintained using inhalational anaesthetics (isoflurane) with flow rate adapted appropriately by a dedicated anaesthesiologist. A rigid endotracheal tube was used to prevent airway collapse or obstruction. The animal's oxygen saturation was monitored by the anaesthetist throughout the procedure. The animals were fasted before anaesthesia. The skin was prepared aseptically after clipping. Alcohol was used instead of gel to improve skin coupling. The hands of the operator were covered with sterile gloves. The probe was disinfected with Tristel Duo® (Tristel Solutions Limited, Cambridgeshire, UK), a cleaning and sporicidal disinfectant for US probes.

Positioning and equipment

For all stages, US images were acquired with the dog in lateral recumbency with a maximal flexion of the neck and the atlanto-occipital joint (angle between neck and nose was approximately 50 degree on cadavers and anesthetized dogs). An additional precaution was taken to stages 3 and 4 where the nose of the dog was placed and held parallel to the table during the puncture. The skin was clipped, and US gel (stages 1, 2 and 3) or alcohol (stage 4) was used to improve skin/probe coupling. In each dog, *ex vivo* (stages 1 and 3) and *in vivo* (stage 2) US images were obtained independently by two operators. In stage 4, only one operator performed US images. For all studies, US images were obtained with an Esaote My Lab Class C machine (Esaote Group, Via A. Siffredi, 58, 16153 Genova Italy). For the anatomical studies (stages 1 and 2), it was equipped with either a linear 7.5 MHz and a microconvex 7.5 MHz transducer depending on size, amount of fat and conformation of the dog. The microconvex probe was more often used for the small dogs (e.g. Poodle), while the linear probe was more often used for the large dogs (e.g. Bernese mountain dog).

For indirect US guidance (stages 3 and 4), the linear 7.5 MHz transducer was used. Transverse and longitudinal (sagittal) images were obtained in all stages. Spinal needles with a bevel of Quincke (BD, Becton Dickinson S.A., S. Agustin del Guadalix, Madrid, Spain) were used.

Needle diameter was 22 gauge. The needle length required for the puncture is estimated by measuring the distance between the skin surface and the dorsal part of the CM on the US image. The length used was usually 38 mm, but a longer needle (90 mm) was sometimes necessary.

Technique for US guidance

The external occipital protuberance and the cranial border of the transverse processes (wings) of the C1 were palpated. The triangular space formed by these landmarks was visualized by US. The CM was located in transverse and longitudinal sonographic images. Transverse US images were obtained by orienting the probe perpendicular to an imaginary line linking the external occipital protuberance to the spinous process of C2 (the cervical vertebral column) and by positioning the space between occipital condyles in the centre of the image. To obtain longitudinal US images, the transducer was rotated 90° into a longitudinal plane and placed in the median plane of the cervical vertebral column. The US window visible between the occipital bone and C1 in the sagittal plane was placed in the centre of the image.

For indirect US guidance (stages 3 and 4), the linear probe was held by the operator who carried out the puncture (Fig. 1), while a second operator traced the lines on the skin with a marker. Transverse and longitudinal (sagittal) US images of the craniocervical junction were used to trace the landmarks for this procedure. The first step of indirect cisternal puncture consisted of the identification of the anatomic landmarks. Once occipital condyles with the CM in the centre had been identified on transverse images with the probe perpendicular to the skin, the CM was centred on the screen (Fig. 1a). Two marks with a felt-tip one on each side of the probe were drawn, on the clipped skin. Then, the probe kept perpendicular to the skin was rotated 90° to obtain a sagittal image (Fig. 1b). During this procedure, the skin was not moved to keep the correct first marks. The acoustic window between occiput and C1 containing the CM was centred on the screen. The distance between CM and the

skin surface was measured to estimate the depth at which the needle should be inserted to obtain CSF. Two new landmarks on each side of the probe were drawn with a felt-tip (Fig. 1b). The probe was taken off. Two lines linking the opposite marks were drawn. The intersection point of these two lines was the site of introduction of the spinal needle (Fig. 1c). This was placed perpendicular to the skin (the same angle probe/skin). The operator who carried out the puncture with one hand held the skin with the other hand to avoid moving the skin. The needle was advanced very slowly until CSF was reached and become visible in the hub. Once CSF was obtained, a sample collection tube was placed under the hub of the spinal needle to collect the drops of CSF and/or the syringe with the non-ionic contrast was connected if a myelogram was performed.

Results

Normal ultrasonographic images (Stages 1 and 2)

Below the skin, the echoic cervical fascia covering the hypo-echoic muscles located on each side of the midline was visualized. Transverse and longitudinal images of the atlanto-occipital region were obtained between the occipital condyles and the dorsal arch of C1.

The dorsal atlanto-occipital membrane (covered at its deep aspect by the dura mater) was easy to identify in all animals. It appeared as a thin (1–2 mm) echoic, slightly curved line: slightly convex on transverse images (Figs 2 and 3) and slightly concave on longitudinal images (Figs 4 and 5) (depending on the degree of flexion of the neck and the atlanto-occipital joint). It continued the hyperechoic, dorsal edge of the foramen magnum to the hyperechoic cranial border of the dorsal arch of the C1 (Evans, 1993) and marked the dorsal boundary of the CM. It was covered dorsally by the *rectus capitis dorsalis muscle*.

On transverse images (Figs 2 and 3), the two occipital condyles were seen as symmetrical, parasagittal bony structures giving an acoustic shadowing. The dorsal aspect

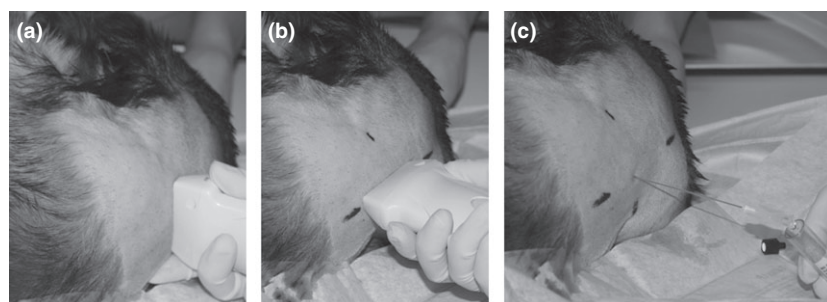


Fig. 1. Successive steps for indirect ultrasound-guided cisternal puncture. Identification of the ultrasonographic anatomic landmarks on transverse images (a) and longitudinal images with drawing marks on the skin (b) and introduction of the spinal needle (c).

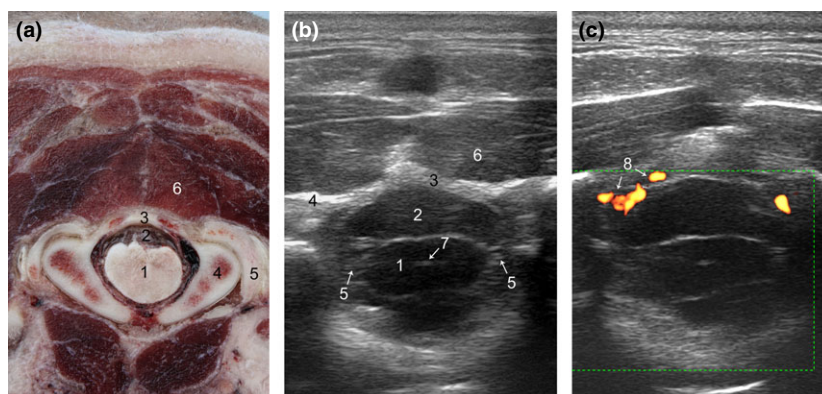


Fig. 2. Transverse anatomical section (a) and ultrasonographic images in B-mode (b) and with power Doppler (c) of the atlanto-occipital region of an American Staffordshire Terrier (a) and a crossed Shepherd dog (b&c), respectively. (a) 1, spinal cord; 2, *cisterna magna*; 3, dorsal atlanto-occipital membrane (with the dura mater); 4, occipital condyles; 5, cranial articular surfaces of the atlas (*fovea articularis cranialis*); 6, *rectus capitis dorsalis muscle*; (b) 1, spinal cord; 2, *cisterna magna*; 3, dorsal atlanto-occipital membrane (with the dura mater); 4, occipital condyles; 5, denticulate ligament; 6, *rectus capitis dorsalis muscle*; 7, central canal; (c) 8, dorsal branches of the spinal artery.

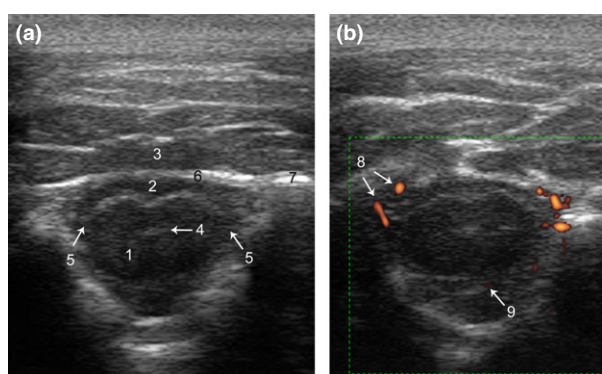


Fig. 3. Transverse ultrasonographic images in B-mode (a) and with power Doppler (b) of the atlanto-occipital region of an European cat. 1, spinal cord; 2, *cisterna magna*; 3, *rectus capitis dorsalis muscle*; 4, central canal; 5, denticulate ligament; 6, dorsal atlanto-occipital membrane (with the dura mater); 7, occipital condyles; 8, dorsal branches of the spinal artery; 9, basilar artery.

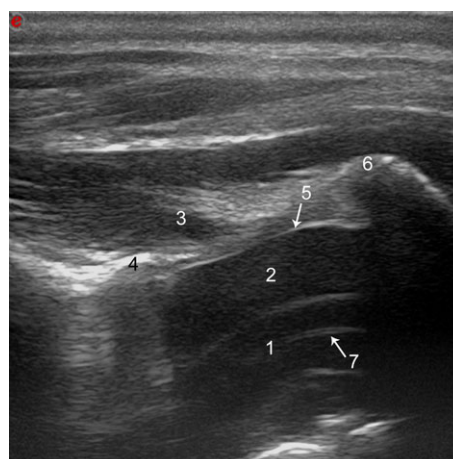


Fig. 4. Longitudinal ultrasonographic image of the atlanto-occipital region of a crossed Shepherd dog. 1, spinal cord; 2, *cisterna magna*; 3, *rectus capitis dorsalis muscle*; 4, external occipital crest; 5, dorsal atlanto-occipital membrane (with the dura mater); 6, dorsal arch of atlas; 7, central canal.

of the condyles appeared as a curved hyperechoic line. The occipital condyles were located close to the transducer surface in cats and small thin dogs (1–1.2 cm), while they were deeper in larger and fatter dogs. The basilar part of the occipital bone defined the ventral bony border of the CM. On longitudinal images in the median plane, the occipital condyles were obviously not seen.

Longitudinal images (Figs 4 and 5) were obtained between the occiput and C1. The external occipital crest was the cranial bony structure associated with an anechoic band due to acoustic shadowing on the median plane. It was visualized as a hyperechoic more or less slanting line depending on the animal species and flexion of the neck. In cats, this bony surface is straighter and

more oblique than in dogs (Fig. 5). The caudal bony structure with an acoustic shadow on the sagittal images was the dorsal arch of C1. It appeared as a hyperechoic slanting line.

The CM was visualized on sagittal images (Figs 4 and 5) between the external occipital crest (dorsal rim of the foramen magnum) and the dorsal arch of C1 and on transverse views between the occipital condyles. It appeared as an anechoic band dorsal to the spinal cord. On sagittal images, the spinal cord was visualized as a hypo-echoic structure outlined by two thin echoic lines representing the pia mater and with a visible central canal for US median slices. The central canal appeared as a very



Fig. 5. Longitudinal ultrasonographic image of the atlanto-occipital region of an European cat. 1, spinal cord; 2, *cisterna magna*; 3, *rectus capitis dorsalis muscle*; 4, external occipital crest; 5, dorsal atlanto-occipital membrane (with the dura mater); 6, dorsal arch of atlas; 7, central canal.

thin echoic line (Fig. 5) or 2 very thin echoic and parallel lines (Fig. 4). The ventral portion of the CM was seen as an anechoic band thinner than the dorsal portion. On transverse views (Figs 2 and 3), the spinal cord appeared anechoic, ovoid (larger than thicker) and delineated by a hyperechoic line, representing the pia mater. The spinal cord was suspended in CSF within the subarachnoid space bilaterally along the lateral surface by the denticulate ligaments visualized as several hyperechoic, parallel and short structures. The central canal was visualized as a hyperechoic central spot.

The basilar artery was seen as a thin, pulsing vessel visualized ventral to the spinal cord from C1 cranially in dogs and cats (Fig. 4). The dorsal visible vessels, lying in the pia, were the dorsal branches of the spinal artery (Figs 2 and 3).

Indirect US-guided cisternal puncture (Stages 3 and 4)

On the 2 dog cadavers (stage 3), transverse and longitudinal images of the CM (Figs 2 and 4) were obtained with the probe placed in the two perpendicular positions illustrated in Fig. 1a,b. While inserting the needle at the intersection of the two lines traced based on these images (Fig. 1c), the CM was successfully reached.

Seven dogs and two cats underwent US-guided puncture (stage 4). In all animals, the first attempt to puncture the atlanto-occipital subarachnoid space was successful. Based on the macroscopic appearance, CSF was obtained without blood contamination in all patients. The procedure was considered easy and the estimation of depth of the CM increased the confidence of the operator during the puncture.

Discussion

The *ex vivo* part of this study was useful to compare US images with anatomic sections, to fully understand the

US anatomy of the region and to test the US-guided technique before its application *in vivo*. As reported in human patients (Peterson and Abele, 2005; Ferre and Sweeney, 2007; Stiffler et al., 2007) and in dogs (Etienne et al., 2010), a detailed description of normal structures of the concerned region constitutes a necessary basis for application of an US-guided technique for subarachnoid space puncture. The transversal and sagittal images described in this study have been used successfully for indirect guidance of the needle for cisternal puncture. The US anatomy of the craniocervical junction was already described in the anaesthetized brachycephalic dog by Schmidt et al. (2008). The US features described in the present study were similar to this previous report (Schmidt et al., 2008), although dogs and cats were awake for US reference imaging. A detailed knowledge of the normal US appearance of the atlanto-occipital transition allows the identification of potential local abnormalities such as caudal cerebellar displacement in dogs with a Chiari-like malformation (Schmidt et al., 2008). In humans, the sonography of the craniocervical junction allows assessing of congenital malformation (Chiari II), subarachnoid haemorrhage (Cramer et al., 1986) and distinction between cystic or solid lesions, distinction between an enlarged or atrophic spinal cord (Braun et al., 1983). Recognition of local abnormalities at US is useful before realizing a puncture in the CM as it can potentially avoid fatal complications. This should be considered in dogs with possible cerebellar herniation as in Cavalier King Charles Spaniels (Rusbridge and Knowler, 2004; Cerda-Gonzalez et al., 2009). As demonstrated by Schmidt and co-authors, the pia mater was not visualized as a separated structure, as the hyperechoic lines delineating the spinal cord are due to differences in acoustic impedance between the CSF and the spinal cord (Schmidt et al., 2008).

Cisternal puncture is commonly performed blindly using anatomic landmarks (Oliver et al., 1997; Ducoté and Dewey, 2003). This procedure is technically easier than the lumbar puncture (Oliver et al., 1997) but is considered at higher risk (Lujan Feliu-Pascual et al., 2008; Di Terlizzi and Platt, 2009). This technique is associated with uncommon but significant risks such as direct brainstem trauma, cerebral and/or cerebellar herniation, and central nervous system haemorrhage (Wamsley and Alleman, 2004). The incidence of brain herniation following a CSF collection has been found to be slightly higher in cats than dogs (Ducoté and Dewey, 2003). The present study demonstrated the feasibility of an US-guided technique for CSF puncture in the CM. The goal is not to supplant the usual blind technique but to supply an easily available help for difficult punctures, to reduce unsuccessful attempts and to reduce the incidence of blood contamina-

tion of the CSF which distorts its analysis. A marker could potentially be placed on the spinal needle after depth measurements on the ultrasound images, but this step was not performed in this study. In addition, a statistical study on the correlation between the depth of insertion of the spinal needle and the distance measured on ultrasound images was not the aim of this study.

In humans, the indirect US-guided technique for the lumbar puncture is considered easier to use compared with a non-image-guided technique (Peterson and Abele, 2005; Nomura et al., 2007). The sonographic visualization of the CM allows its exact localization and increases the confidence of the operator. This US-assisted technique can also be useful for fatty patients where the anatomic landmarks are difficult to palpate.

Indirect US guidance when performed using a sagittal approach is used commonly for lumbar subarachnoid space puncture in humans (Peterson and Abele, 2005; Ferre and Sweeney, 2007). In dogs and cats, the approach for the cisternal puncture is also sagittal (Oliver et al., 1997; Ducoté and Dewey, 2003; Tipold, 2003; Elias and Brown, 2008). Because of the small acoustic window available at the craniocervical junction (for the probe and the needle), the indirect US guidance technique was chosen. Direct US guidance may have been feasible using a parasagittal approach to visualize the needle on transverse US images of the CM. Noting the parasagittal position of the lateral venous sinus, the sagittal approach and an indirect US-guided technique were chosen. Moreover, indirect guidance compared with direct US guidance does not require eye–hand coordination to place the needle in the US plane, which is difficult for inexperienced ultrasonographers.

Nevertheless, the success of the indirect US-guided technique lies in the good location of the landmarks with the marker and correct immobilization of the skin to avoid mark displacement. The position of the patient is also crucial as in any technique for cisternal puncture: the nose of the animal should be parallel to the sampling table and its neck must be vigorous flexed (Elias and Brown, 2008) to increase the mid-laminar distance at occiput-C1. As in the blind technique, the midline should be assessed by palpation of the occipital protuberance and the spinous process of the cervical vertebra and not by visual approximation.

Finally, while some veterinarians routinely interpret US images, many others have limited experience and may have more difficulty obtaining and interpreting US images of the occipitocervical junction. However, the relatively simple anatomy of the region and the ease in visualizing the CM suggest that little experience may be sufficient to apply the technique.

This study demonstrates the feasibility of an indirect US-guided cisternal puncture in dogs and cats. Further studies will be interesting to assess the repeatability of this technique at several operators with different experience levels.

References

- Adams, W. M., 1982: Myelography. *Vet. Clin. North Am. Small Anim. Pract.* **12**, 295–311.
- Aleman, M., A. Borchers, P. H. Kass, and S. M. Puchalski, 2007: Ultrasound-assisted collection of cerebrospinal fluid from the lumbosacral space in equids. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* **230**, 378–384.
- Audigié, F., J. Tapprest, D. Didierlaurent, and J. M. Denoix, 2004: Ultrasound-guided atlanto-occipital puncture for myelography in the horse. *Vet. Radiol. Ultrasound.* **45**, 340–344.
- Braun, I. F., B. N. Raghavendra, and I. I. Kricheff, 1983: Spinal cord imaging using real-time high-resolution ultrasound. *Radiology.* **147**, 459–465.
- Cerda-Gonzalez, S., N. J. Olby, S. Mccullough, A. P. Pease, R. Broadstone, and J. A. Osborne, 2009: Morphology of the caudal fossa in Cavalier King Charles Spaniels. *Vet. Radiol. Ultrasound.* **50**, 37–46.
- Cramer, B. C., S. Jequier, and A. M. O’Gorman, 1986: Sonography of the neonatal craniocervical junction. *AJR Am. J. Roentgenol.* **147**, 133–139.
- Di Terlizzi, R., and S. R. Platt, 2009: The function, composition and analysis of cerebrospinal fluid in companion animals: part II - analysis. *Vet. J.* **180**, 15–32.
- Ducoté, J. M., and C. W. Dewey, 2003: Chapter 3: Neurodiagnostics. In: *A Practical Guide to Canine and Feline Neurology.* (C. W. Dewey, ed). Iowa: Blackwell Publishing Company. pp. 57–68.
- Elias, A., and C. Brown, 2008: Cerebellomedullary cerebrospinal fluid collection in the dog. *Lab. Anim. (NY).* **37**, 457–458.
- Etienne, A. L., D. Peeters, and V. Busoni, 2010: Ultrasonographic percutaneous anatomy of the caudal lumbar region and ultrasound-guided lumbar puncture in the dog. *Vet. Radiol. Ultrasound* **51**, 527–532.
- Evans, H. E., 1993: Chapter 5: Arthrology. In: *Miller’s Anatomy of the Dog.* (H. Evans, ed.). St Louis, MO: Saunders. pp. 225.
- Ferre, R. M., and T. W. Sweeney, 2007: Emergency physicians can easily obtain ultrasound images of anatomical landmarks relevant to lumbar puncture. *Am. J. Emerg. Med.* **25**, 291–296.
- Lujan Feliu-Pascual, A., L. Garosi, R. Dennis, and S. Platt, 2008: Iatrogenic brainstem injury during cerebellomedullary cistern puncture. *Vet. Radiol. Ultrasound.* **49**, 467–471.
- Marhofer, P., M. Greher, and S. Kapral, 2005: Ultrasound guidance in regional anaesthesia. *Br. J. Anaesth.* **94**, 7–17.

- Nomura, J. T., S. J. Leech, S. Shenbagamurthi, P. R. Sierzenski, R. E. O'Connor, M. Bollinger, M. Humphrey, and J. A. Gukhool, 2007: A randomized controlled trial of ultrasound-assisted lumbar puncture. *J. Ultrasound Med.* **26**, 1341–1348.
- Nyland, T. G., J. S. Mattoon, E. J. Herrgesell, and E. R. Wisner, 2002: Chapter 3: Ultrasound-guided biopsy. In: *Small Animal Diagnostic Ultrasound*. (T. G. Nyland, J. S. Mattoon, eds). Philadelphia, PA: Saunders. pp. 32–33.
- Oliver, J. E., M. D. Lorenz, and J. N. Kornegay, 1997: Chapter 4: Confirming a diagnosis. In: *Handbook of Veterinary Neurology* (J. E. Oliver, M. D. Lorenz, eds). St Louis, MO: Saunders. pp. 89–92.
- Orrison, W. W., O. P. Eldevik, and J. F. Sackett, 1983: Lateral C1-2 puncture for cervical myelography. Part III: Historical, anatomic, and technical considerations. *Radiology.* **146**, 401–408.
- Pease, A., A. Behan, and G. Bohart, 2012: Ultrasound-guided cervical centesis to obtain cerebrospinal fluid in the standing horse. *Vet. Radiol. Ultrasound.* **53**, 92–95.
- Peterson, M. A., and J. Abele, 2005: Bedside ultrasound for difficult lumbar puncture. *J. Emerg. Med.* **28**, 197–200.
- Rapp, H. J., A. Folger, and T. Grau, 2005: Ultrasound-guided epidural catheter insertion in children. *Anesth. Analg.* **101**, 333–339.
- Robertson, I., and D. E. Thrall, 2011: Imaging dogs with suspected disc herniation: pros and cons of myelography, computed tomography, and magnetic resonance. *Vet. Radiol. Ultrasound.* **52**, S81–S84.
- Rusbridge, C., and S. P. Knowler, 2004: Inheritance of occipital bone hypoplasia (Chiari type I malformation) in Cavalier King Charles Spaniels. *J. Vet. Intern. Med.* **18**, 673–678.
- Schmidt, M. J., A. Wigger, S. Jawinski, T. Golla, and M. Kramer, 2008: Ultrasonographic appearance of the craniocervical junction in normal brachycephalic dogs and dogs with caudal occipital (Chiari-like) malformation. *Vet. Radiol. Ultrasound.* **49**, 472–476.
- Shimizu, J., K. Yamada, K. Mochida, T. Kako, N. Muroya, Y. Teratani, M. Kishimoto, K. Lee, T. Iwasaki, and Y. Miyake, 2009: Comparison of the diagnosis of intervertebral disc herniation in dogs by CT before and after contrast enhancement of the subarachnoid space. *Vet. Rec.* **165**, 200–202.
- Stiffler, K. A., S. Jwayyed, S. T. Wilber, and A. Robinson, 2007: The use of ultrasound to identify pertinent landmarks for lumbar puncture. *Am. J. Emerg. Med.* **25**, 331–334.
- Tipold, A., 2003: Cerebrospinal fluid. In: *Clinical Neurology in Small Animals- Localization, Diagnosis and Treatment*. (K. G. Braund, ed.). Ithaca, NY: International Veterinary Information Service, (www.ivis.org), B0235.0803.
- Wamsley, H., and A. R. Alleman, 2004: Chapter 3: Clinical pathology. In: *BSAVA Manual of Canine and Feline Neurology*, 3rd edn. (S. R. Platt and N. J. Olby, eds). Gloucester: British Small Animal Veterinary Association. pp 35–53.
- Willschke, H., P. Marhofer, A. Bosenberg, S. Johnston, O. Wanzel, C. Sitzwohl, S. Kettner, and S. Kapral, 2006: Epidural catheter placement in children: comparing a novel approach using ultrasound guidance and a standard loss-of-resistance technique. *Br. J. Anaesth.* **97**, 200–207.
- Yousem, D. M., and S. K. Gujar, 2009: Are C1-2 punctures for routine cervical myelography below the standard of care? *AJNR Am. J. Neuroradiol.* **30**, 1360–1363.

ETUDE III .

COMPARAISON DU GUIDAGE ECHOGRAPHIQUE ET DE LA TECHNIQUE STANDARD PAR PALPATION POUR L'ENTRAINEMENT DES OPERATEURS NOVICES DANS LE PLACEMENT DES AIGUILLES DANS L'ESPACE SOUS-ARACHNOÏDIEN LOMBAIRE SUR CADAVERES DE CHIENS

COMPARISON OF ULTRASOUND-GUIDED VS. STANDARD LANDMARK TECHNIQUES FOR TRAINING NOVICE OPERATORS IN PLACING NEEDLES INTO THE LUMBAR SUBARACHNOID SPACE OF CANINE CADAVERS

Etienne A.-L., Delguste C., Busoni V., Comparison of ultrasound-guided vs. standard landmark techniques for training novice operators in placing needles into the lumbar subarachnoid space of canine cadavers, *Vet. Radiol. Ultrasound*, accepté pour publication le 17 Décembre 2015. doi: 10.1111/vru.12358, publié en ligne.

Présentée sous forme de présentation orale au Congrès d'Imagerie Vétérinaire Européen (EVDI) à Cascais, Portugal, en septembre 2013.

COMPARAISON DU GUIDAGE ECHOGRAPHIQUE ET DE LA TECHNIQUE STANDARD PAR PALPATION POUR L'ENTRAÎNEMENT DES OPERATEURS NOVICES DANS LE PLACEMENT DES AIGUILLES DANS L'ESPACE SOUS-ARACHNOÏDIEN LOMBAIRE SUR CADAVRES DE CHIENS

Résumé

La technique standard de placement d'aiguille dans l'espace sous-arachnoïdien chez le chien est essentiellement basée sur la palpation des repères anatomiques osseux et nécessite des mouvements de sondage avec l'aiguille spinale, qui peut être difficile pour des opérateurs novices. Cette étude d'actualité, d'observation, prospective, *ex-vivo* et de faisabilité a pour objectif de comparer l'utilité par des opérateurs novices des deux techniques, échoguidée et standard par palpation à l'« aveugle », pour accomplir un placement d'aiguille dans l'espace sous-arachnoïdien lombaire chez des cadavres de chiens. Avec leur consentement éclairé, soixante-sept étudiants vétérinaires de dernière année, n'ayant aucune expérience en ponction lombaire ni en échographie/échoguidage, ont reçu une formation théorique courte sur chacune des deux techniques avant la manipulation et puis ont tenté de réaliser les techniques échoguidée et à l'« aveugle » sur des cadavres de chiens randomisés. Après la réalisation des deux procédures, les opérateurs ont rempli un questionnaire d'auto-évaluation à propos de leur performance et de leur confiance en soi. Huit opérateurs expérimentés ont validé le modèle « cadavre de chien » comme utilisable pour l'entraînement au placement d'aiguille échoguidé et à l'« aveugle » dans l'espace sous-arachnoïdien lombaire basé sur une anatomie et une consistance des tissus réalistes. Le taux de réussite global pour les étudiants de dernière année sur le modèle cadavre était de 48% pour la méthode à l'« aveugle » et 77% pour celle échoguidée. Le guidage échographique augmente significativement le taux de réussite, diminue significativement le nombre de tentatives et augmente la confiance en soi en comparaison avec la technique à l'« aveugle ». La durée de la procédure de placement de l'aiguille n'est pas significativement changée avec la méthode échoguidée. Cette étude suggère que les cadavres de chiens sont des modèles valides pour le placement d'aiguille dans l'espace sous-arachnoïdien lombaire. Elle démontra que le guidage échographique est facilement et avantageusement applicable par des opérateurs inexpérimentés pour l'entraînement au placement d'aiguille dans l'espace sous-arachnoïdien lombaire sur des cadavres de chiens après une courte formation théorique.

COMPARISON OF ULTRASOUND-GUIDED VS. STANDARD LANDMARK TECHNIQUES FOR TRAINING NOVICE OPERATORS IN PLACING NEEDLES INTO THE LUMBAR SUBARACHNOID SPACE OF CANINE CADAVERS

Abstract

The standard technique for placing a needle into the canine lumbar subarachnoid space is primarily based on palpation of anatomic landmarks and use of probing movements of the needle, however, this technique can be challenging for novice operators. The aim of the current observational, prospective, ex vivo, feasibility study was to compare ultrasound-guided vs. standard anatomic landmark approaches for novices performing needle placement into the lumbar subarachnoid space using dog cadavers. Eight experienced operators validated the canine cadaver model as usable for training landmark and ultrasound-guided needle placement into the lumbar subarachnoid space based on realistic anatomy and tissue consistency. With informed consent, 67 final year veterinary students were prospectively enrolled in the study. Students had no prior experience in needle placement into the lumbar subarachnoid space or use of ultrasound. Each student received a short theoretical training about each technique before the trial and then attempted blind landmark-guided and ultrasound-guided techniques on randomized canine cadavers. After having performed both procedures, the operators completed a self-evaluation questionnaire about their performance and self-confidence. Total success rates for students were 48% and 77% for the landmark- and ultrasound-guided technique, respectively. Ultrasound guidance significantly increased total success rate when compared to the landmark-guided technique and significantly reduced the number of attempts. With ultrasound guidance self-confidence was improved, without bringing any significant change in duration of the needle placement procedure. Findings indicated that use of ultrasound guidance and cadavers are feasible methods for training novice operators in needle placement into the canine lumbar subarachnoid space after a short theoretical training.

COMPARISON OF ULTRASOUND-GUIDED VS. STANDARD LANDMARK TECHNIQUES FOR TRAINING NOVICE OPERATORS IN PLACING NEEDLES INTO THE LUMBAR SUBARACHNOID SPACE OF CANINE CADAVERS

ANNE-LAURE ETIENNE, CATHERINE DELGUSTE, VALERIA BUSONI

The standard technique for placing a needle into the canine lumbar subarachnoid space is primarily based on palpation of anatomic landmarks and use of probing movements of the needle, however, this technique can be challenging for novice operators. The aim of the current observational, prospective, ex vivo, feasibility study was to compare ultrasound-guided vs. standard anatomic landmark approaches for novices performing needle placement into the lumbar subarachnoid space using dog cadavers. Eight experienced operators validated the canine cadaver model as usable for training landmark and ultrasound-guided needle placement into the lumbar subarachnoid space based on realistic anatomy and tissue consistency. With informed consent, 67 final year veterinary students were prospectively enrolled in the study. Students had no prior experience in needle placement into the lumbar subarachnoid space or use of ultrasound. Each student received a short theoretical training about each technique before the trial and then attempted blind landmark-guided and ultrasound-guided techniques on randomized canine cadavers. After having performed both procedures, the operators completed a self-evaluation questionnaire about their performance and self-confidence. Total success rates for students were 48% and 77% for the landmark- and ultrasound-guided techniques, respectively. Ultrasound guidance significantly increased total success rate when compared to the landmark-guided technique and significantly reduced the number of attempts. With ultrasound guidance self-confidence was improved, without bringing any significant change in duration of the needle placement procedure. Findings indicated that use of ultrasound guidance and cadavers are feasible methods for training novice operators in needle placement into the canine lumbar subarachnoid space. © 2016 American College of Veterinary Radiology.

Key words: cerebrospinal fluid, dogs, lumbar puncture, ultrasound, ultrasound guidance.

Introduction

CENTESIS OF THE CEREBROSPINAL FLUID (CSF), myelography, and CT myelography are commonly carried out for diagnostic purposes in dogs. Positioning of the spinal needle for these procedures is often performed blindly with the anatomic landmarks being identified by palpation. Ultrasound-guided needle placement for CSF collection has been described in horses at the cisterna magna,¹ between the first and second cervical vertebrae² and in the lumbosacral space.³ In human medicine, ultrasound guidance is considered to reduce the risks of the procedure and to increase the operator's confidence⁴ and it is routinely used for a large number of technically difficult or risky procedures in anaesthesiology for CSF punctures,^{5,6} vessel cannulations,^{7,8} and nerve blocks.^{9,10} Impact and

usefulness of ultrasound guidance has been compared to landmark techniques for different procedures in human medicine with positive^{11,12} or rather mixed results.¹³ In veterinary medicine, a direct ultrasound-guided technique for lumbar puncture has been described in dogs.¹⁴ This image-guided procedure has a potential use but the applicability and usefulness of this technique for less experienced veterinary operators compared to the standard landmark blind procedure have not been studied.

The aim of this prospective study was to compare the use by novice operators of the ultrasound-guided vs. the standard landmark blinded approach to accomplish needle placement into the lumbar subarachnoid space in canine cadavers used as a teaching model. The hypotheses were as follows: (1) that canine cadavers were a valid teaching and training model for novice operators for blind and ultrasound-guided needle placement into the lumbar subarachnoid space, (2) that novice operators will be able to use ultrasound guidance for needle placement into the lumbar subarachnoid space in the canine cadaver model, (3) that ultrasound guidance will increase success rate and

From the Diagnostic Imaging Section, Department of Clinical Sciences, Faculty of Veterinary Medicine (Etienne, Busoni) and General Services of Faculty of Veterinary Medicine (Delguste), University of Liège, 4000, Liège, Belgium.

Address correspondence and reprint requests to Anne-Laure Etienne at the above address. E-mail: AL.Etienne@ulg.ac.be

Received April 12, 2015; accepted for publication December 17, 2015.
doi: 10.1111/vru.12358

Vet Radiol Ultrasound, Vol. 00, No. 0, 2016, pp 1–7.

self-confidence of novice operators, and (4) that ultrasound guidance will reduce time for needle placement and number of attempts to achieve a needle placement into the lumbar subarachnoid space in canine cadavers.

Materials and Methods

Dogs

This study was performed in accordance with the Institutional Ethical Committee of the Faculty of Veterinary Medicine, University of Liège. A total of 41 canine cadavers were prospectively collected for use in this study. The animals had been euthanized for reasons unrelated to this study at a maximum of 30 h before their use, and had been kept in a refrigerator at 5° until 1 h before beginning needle placement into the lumbar subarachnoid space procedures. The dogs were mature adults of varying sizes and breeds. Small-sized dogs included Shi-Tzu, Yorkshire terrier, Jack Russell terriers, Poodles, and mixed-breed dogs. Medium-sized dogs included English Setter, American Staffordshire terrier, Boxer, Labrador Retriever, Malinois Shepherd, and Sheepdog-mixed breed. Weights of dogs' cadavers ranged from 4 to 32 kg (mean weight 14 kg) and their mean body condition score was 2.5 using a 5-point scoring system¹⁵ (range 1–4: three dogs score 1, 15 dogs score 2, 21 dogs score 3, two dogs score 4).

Operators

All operators volunteered to participate in this study and so they gave uncoerced, informed consent to their participation. Eight experienced operators were enrolled for validation of the cadaver model. Each had prior experience in needle placement into the lumbar subarachnoid space, and each had performed more than 15 lumbar punctures¹⁶ on live dogs for clinical purposes participated in validation of the cadaver model. A total of 67 final year veterinary students were enrolled as novice operators. None of the students had prior experience in needle placement into the lumbar subarachnoid space or ultrasound.

Study Protocol

For this observational, prospective, ex vivo, feasibility study, a 20-min power-point presentation illustrating the basic principles of ultrasound guidance and the two needle placement into the lumbar subarachnoid space techniques, standard blind landmark-based and ultrasound-guided, was presented to the participants before the procedure. Using a dog cadaver, both techniques were then demonstrated once in front of the participants by the same experienced operator having given the theoretical teaching. After the demonstration, the operators were allowed

5 min to familiarize themselves with the material (ultrasound equipment and spinal needle) and to ask questions without performing needle placement into the subarachnoid space techniques.

Each operator performed both needle placement into the lumbar subarachnoid space techniques in close succession with an order previously defined. Cadavers were randomized for each procedure. An attempt was defined as the time from needle passing through the skin to its removal out of it. The number of attempts was limited to 4 for each needle placement into the lumbar subarachnoid space technique. The accomplishment time was limited to 10 min for each technique and was timed by the assessor. "Time" began at the point when the needle touched the skin for the first time after palpation-guided or ultrasound-guided identification of the anatomic landmarks. "Time" ended when the operator thought he had succeeded in the puncture. Time to set up the ultrasound machine and obtain reliable ultrasound images as well as time for palpation of the anatomic landmarks were not measured. Because the study was done on cadavers, no CSF was obtained. The learners were supervised by an expert during both needle placements into the lumbar subarachnoid space procedures. Final needle position was checked radiographically by an experienced clinician and if, and only if, it corresponded to a correct location on a laterolateral radiographic view, contrast medium (Télébrix[®]) was injected. When a correct localization of contrast in the subarachnoid space was proven radiographically the needle placement was considered successful. Operators were then informed of their success or failure without explanation.

Techniques for Needle Placement into the Lumbar Subarachnoid Space

Canine cadavers were placed in right lateral recumbency with the pelvic limbs pulled cranially to obtain a maximal flexion of the caudal lumbar spine. Because sterile conditions were not required, the clipped skin of the lumbar region was wetted with hot water and ultrasound gel was used to improve skin/probe coupling for the ultrasound-guided technique. Each procedure was conducted as it was done in vivo: hands of the operator stabilized by direct contact with the animal body, and/or the table and cushions around the cadaver, spinal needle bevel directed to the dog's head. For the blind technique, the iliac crests, the spinous processes of the fifth (L5), the sixth (L6), and the seventh (L7) lumbar vertebrae and the interspinous spaces between them were palpated and used as relevant landmarks.¹⁷ For the ultrasound-guided technique an ultrasound machine (Aloka 3500 Prosound, Aloka Co. Ltd., Tokyo, Japan) equipped with a 7.5 MHz microconvex transducer was used and to achieve direct ultrasound guidance, probe and spinal needle were held one in each hand by the operator (Fig. 1). Both needle placements into the



FIG. 1. Position of operator's hands stabilized by direct contact with the animal body and the table to achieve a direct ultrasound-guided needle placement into the subarachnoid space on a canine cadaver. The spinal needle bevel is directed to the dog's head.

lumbar subarachnoid space techniques used a paramedian approach to enter the vertebral canal. The articular processes of L5 and L6 were identified under ultrasound guidance as previously described¹⁴ and the triangular hypochoic area between the contiguous vertebrae served as a target to achieve optimal relative needle/probe position allowing a real-time visualization of the needle on the screen during insertion. In order to multiply puncture sites without increasing number of cadavers, needle placement into the lumbar subarachnoid space was also permitted between the fourth lumbar vertebra (L4) and L5 independently of the size of the dog. To choose appropriate needle length (38, 70, or 90 mm), target to skin distance was measured on the ultrasound screen by an aid just before introducing the spinal needle. The operator should see the needle on the screen to direct it correctly. When the needle reached the target area, a bone contact could be felt and, keeping the needle in the image plane, the direction of the needle was optimized to enter the vertebral canal where it was advanced to the ventral subarachnoid space.

Data Collection and Analysis

After having performed each technique, novice operators filled in a self-evaluation questionnaire about their performance (success/failure, number of attempts, and time to carry out the needle placement into the lumbar subarachnoid space), their self-confidence, and their comments including their interpretation of causes of failure. Three final questions were asked to each operator: (1) Which is the method with which you are most comfortable with?, (2) Which technique will you use for your next puncture?, and (3) Did you like participating in this study? A 0–2 scale was used for self-confidence (0 = no self-confidence, 1 = mild to moderate self-confidence, 2 = good self-confidence). Data were then obtained for a total of 134 needle placement

TABLE 1. Descriptive Statistics for the Needle Placement into the Subarachnoid Space with the Blind and Ultrasound-Guided Techniques Performed on Group of Novice Operators

Group (<i>n</i> [†])	Variable	Blind [#]	US [§]	<i>P</i> -Value [¶]
		Mean ± SD [‡]	Mean ± SD [‡]	
Novice (67)	Number of attempts	3.04 ± 1.18	2.26 ± 1.11	<0.001*
	Time (min)	6.01 ± 3.71	5.93 ± 3.57	0.94
	Self-confidence	0.8 ± 0.64	1.28 ± 0.63	<0.0001*

[†]Total number of operators.

[#]Blind technique used.

[§]Ultrasound-guided technique used.

[‡]Standard deviation.

[¶]*P*-value of the Wilcoxon test comparing the same variable between the two methods (the blind and the ultrasound-guided).

*Following the significant *P*-value (<0.05).

into the lumbar subarachnoid space (each of the 67 novice operators performing both blind and ultrasound procedures). A descriptive analysis was carried out. A *Z*-test compared the success percentages across the two techniques (blind and ultrasound-guided) for all operators. A non-parametric Wilcoxon signed rank test for paired data was used to compare numbers of attempts, time used, and self-confidence across the two techniques. Logistic regression analysis was carried out using logistic procedure in SAS (*Statistical Analysis System* by SAS Institute Inc.). The influence of one or several parameters (continuous or discrete variables) on success rate of the technique (dependant variable) was assessed by means of a univariable analysis. Then, a multivariable analysis was carried out on the group of operators using those variables that were showed to have a strong or moderate relation ($P \leq 0.10$) in the univariable analysis.

The eight experienced operators evaluated the cadaver model filling in a different questionnaire about “life-likeness” of needle placement into the lumbar subarachnoid space in the canine cadaver. “Life-likeness” of anatomical landmarks and tissues consistency, and potential usefulness of the cadaver model for needle placement into the lumbar subarachnoid space training using blind and ultrasound-guided techniques were scored in comparison to previous lumbar spinal puncture experience in anesthetized dog using a 5-point Likert scale (0: strongly disagree; 1: disagree; 2: neither agree nor disagree; 3: agree; 4: strongly agree). Any other comments were recorded as free text.

Results

Validation of the Cadaver Model

The number of lumbar spinal punctures previously performed by the experienced operators ranged from 15 to 200 with a mean of 25. Experienced operators strongly agreed that most palpable landmarks (iliac crest and spinous

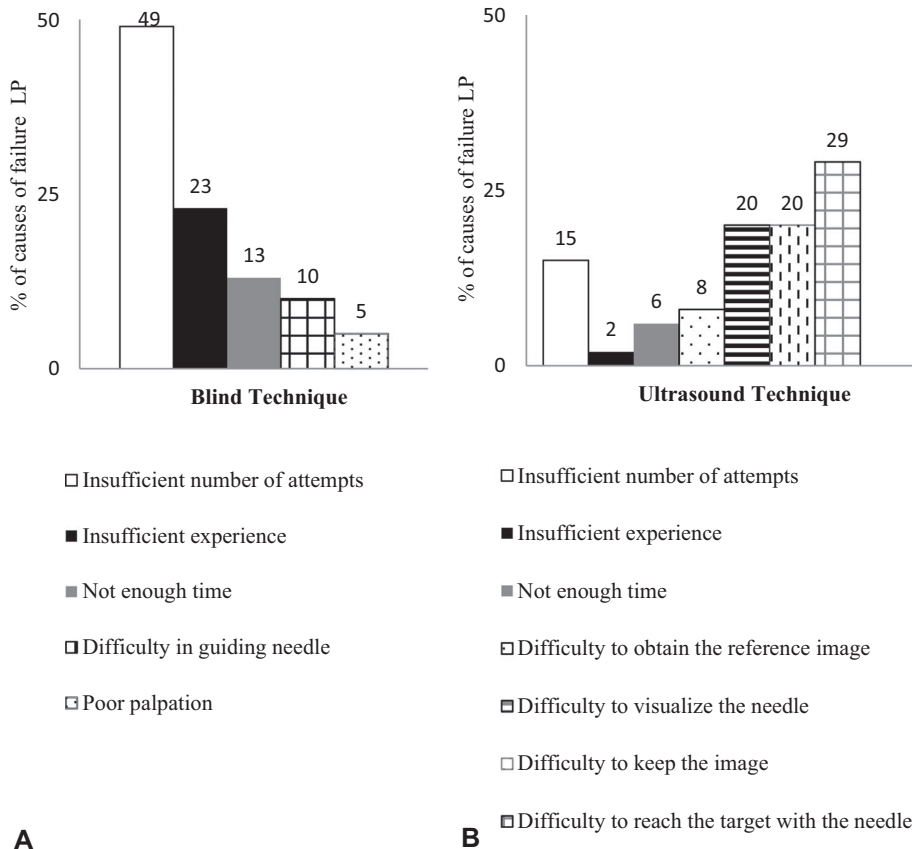


FIG. 2. Distribution of causes of failure of needle placement into the lumbar subarachnoid space (%) based on questionnaires with the blind technique (A) and the ultrasound-guided technique (B).

process) provided realistic anatomy and agreed that tissue consistency (for skin, subcutaneous tissue, muscles, ligamentum flavum, and dura mater) during puncture provided a realistic feel except for the supraspinous ligament in case of sagittal needle placement into the lumbar subarachnoid space. All experienced operators strongly agreed that the canine cadaver was a useful teaching model for training students to needle placement into the lumbar subarachnoid space. Free comments emphasized that these scores were valid on fresh cadaver only.

Novice Operator Performance

The total success rates for the needle placement into the lumbar subarachnoid space were 48% and 77% for the blind and ultrasound-guided technique, respectively. Ultrasound guidance significantly increased ($P = 0.009$) the success rate when compared to standard blind landmark-guided needle placement into the lumbar subarachnoid space technique. Ultrasound guidance significantly improved two parameters: number of attempts ($P < 0.001$) and self-confidence ($P < 0.0001$; Table 1). Time was not significantly influenced by the use of ultrasound guidance.

When the causes of failure of needle placement into the lumbar subarachnoid space according to the technique were analyzed based on the questionnaires (Fig. 2), an insufficient number of attempts was the most frequently mentioned cause of failure for the blind method (49%). With the ultrasound-guided method, difficulty in ultrasound guidance (including difficulty to see the spinal needle on the ultrasound screen, difficulty to keep the correct image on the ultrasound screen during the procedure, difficulty to reach the target, and difficulty to guide the spinal needle) was the main reported cause of failure (69%).

The univariable analysis showed that the ultrasound-guided procedure significantly increased the success rate ($P < 0.001$) demonstrating that participants were 3.4 times more likely to carry out a successful puncture using ultrasound guidance (odds ratio: $1/0.290 = 3.4$; Table 2). Long processing time, a high number of attempts, and low self-confidence decreased the likelihood of a successful puncture (Table 2). The order in which the punctures were carried out also affected the success rate and it was 3.9 times more likely to succeed the needle placement into the lumbar subarachnoid space if the operator had done the ultrasound-guided technique first (odds ratio: $1/0.253 = 3.9$; Table 2). No

association was found between low body scoring and success rate ($P = 0.69$).

Five variables, having shown a moderate to strong relation, were introduced in the multivariable model (number of attempts, time, self-confidence, order of performing the two techniques, and type of technique). With the multivariable analysis only the number of attempts had a significant association ($P = 0.0065$) with success rate (Table 2).

After having performed the two techniques, 64% of the volunteers considered the ultrasound guidance the "most comfortable" way to perform needle placement into the lumbar subarachnoid space (Table 3). The preference for ultrasound-guided method for needle placement into the lumbar subarachnoid space was significantly higher than for the blind technique ($P < 0.0001$) and the majority (87%) of the participants answered that they will use the ultrasound-guided method for their next needle placement into the lumbar subarachnoid space. All operators (100%) found the participation in the study pleasant.

Discussion

In the current study, a group of eight experienced operators agreed that the canine cadaver model was a valid training model for training novices in needle placement into the lumbar subarachnoid space. Findings from the study indicated that the ultrasound-guided method was feasible for training novices to place the needle into the lumbar subarachnoid space in canine cadavers. Findings also suggested some positive impacts on success rate, number of attempts, and self-confidence of this method for inexperienced users.

The technical skills of lumbar spinal puncture can be challenging to teach to novice operators, as the feedback given by the feel of tissues layers during needle insertion can be difficult to describe. The advantage of training on a cadaver or a simulator before performing a procedure in clinical settings is suggested to reduce the stress for a novice, while providing a nontheoretical realistic hands-on training.^{4,18} The cadaver model used in this study was validated by operators having previous clinical experience of the procedure, who considered fresh cadavers to provide realistic anatomy and life-like tissue consistency, as described in studies in human medicine.¹⁹ However, even if fresh canine cadavers can be considered a valid tool for needle placement into the lumbar subarachnoid space learning and training prior to clinical experience, the exact in vivo feel of tissue layers, animal reactions (e.g., slight twitch of tail or leg, "pop" tactile sensation entering the subarachnoid space), possible presence of CSF and blood can only be experienced and sensed on live anesthetized dog. In clinical settings, lumbar spinal puncture in L4-L5 (permitted in our ex vivo study) would not be recommended in small-sized dogs to about 14 kg and cats.²⁰ Radiographic con-

TABLE 2. Results of Univariable and Multivariable Analysis (Logistic Procedure) Assessing the Association between the Success Rate of the Procedure and the Variable

Variable	P-Value	
	Univariable Analysis	Multivariable Analysis
Technique used (blind vs. US-guided)	0.001*	0.72
Number of attempts	0.0004*	0.0065*
Time	<0.0001*	0.59
Self-confidence	<0.0001*	0.73
Body scoring	0.69	—
Order of technique	0.002*	0.77

*Following the significant P -value (<0.005).

trol allowed checking that no more cranial puncture was realized.

In the present study, the use of ultrasound guidance significantly improved the success rates of the needle placement into the lumbar subarachnoid space on cadavers as compared to the blind method. However, to compare the two techniques and avoid a crossed bias of experience it was chosen to recruit students with neither needle placement into the lumbar subarachnoid space nor ultrasound experience, so impact of previous experience was not evaluated. Therefore, results only apply to novice operators. This is in agreement with human studies on lumbar spinal puncture where ultrasound guidance improved the success rate of traditional landmark procedures, especially for inexperienced operators.²¹ With analogous minimal training in both techniques the results of this study also suggest a faster learning curve of the technique with ultrasound guidance, whereas more intensive training for the blind procedure may be required, as suggested in human studies.^{21,22} Ultrasound guidance also decreased significantly the number of attempts to achieve a successful needle placement into the lumbar subarachnoid space in dog cadavers, as in humans.²²⁻²⁴ While this was not tested in the current study, authors propose the ultrasound-guidance technique could also have potential usefulness in clinical settings where fewer attempts for the collection of CSF are desirable as repetition increases the risk of blood contamination.^{3,25} Time elapsed between skin puncture and successful needle placement into the lumbar subarachnoid space was similar with the two techniques as reported in human studies.^{16,26} This indicates that simultaneous holding of the probe and the needle does not impair needle manipulation and insertion for the novice operator. However, authors acknowledge that times needed for landmark tracking with both techniques and times taken to set up the ultrasound machine and obtain reliable images were not measured in the present study so that total procedure time for the two techniques were not compared. Based on our clinical experience and subjective observations, preparation of the ultrasound-guided

TABLE 3. Survey Questions of Questionnaires Asked 67 Inexperienced Participants of the Study

Survey Questions	Blind [#]	US [§]	Both	None	Undecided
Favorite technique for needle placement into the subarachnoid space? (%)	19	64	6	11	0
	<i>P</i> -value [¶] : <0.0001*				
Which technique for the next needle placement into the subarachnoid space? (%)	12	87	.	.	1
	<i>P</i> -value [¶] : <0.0001*				

[#]Blind technique used.

[§]Ultrasound-guided technique used.

[¶]*P*-value of the Z-test comparing the percentages across blind and ultrasound-guided techniques.

*Following the significant *P*-value (<0.05).

procedure is longer (estimated at 8 min) compared to the blind method and may be a limitation for its application in certain clinical settings especially when clinicians are already experienced in using the blind procedure. The traditional landmark-based technique does not require specific equipment and it is easily available and inexpensive. However, its application requires training²⁷⁻²⁹ and is compromised if the bony landmarks are not successfully palpated.^{30,31} The ultrasound-guided technique (as the blind technique) does not produce ionizing radiation, but requires a more expensive and less available equipment. However, it may offer advantages for patients with difficult to palpate surface anatomic landmarks.^{5,23} In the present study, a time limit of 10 min was set up based on available data in humans^{24,26,32} and our clinical experience. This estimation may have been too short for novice veterinary students, and it can be speculated that a longer time may have leveled success rate between the two techniques.

Because no data were found in veterinary literature about blind lumbar spinal puncture success rates, it was not possible for authors to compare the success rates obtained in the present study to previous data. Some recent human studies suggest a limited interest for experienced operators of the use of ultrasound guidance for lumbar spinal puncture in unselected patients.^{16,26} However, according to some authors,^{22,33} time and number of attempts were improved with ultrasound guidance also in expert operators and ultrasound has been suggested as a preprocedural technique to predict the difficulty of the needle placement into the lumbar subarachnoid space.³⁴ Authors do not suggest the use of ultrasound guidance for all needle placements into the lumbar subarachnoid space in a clinical setting but propose that it may be useful as a “rescue” technique for difficult punctures based on conclusions in several human studies.^{35,36}

The lumbar subarachnoid space is not directly visualized by ultrasound but sonographic guidance facilitates needle positioning in the correct paramedian plane.¹⁴ Direct visualization of the needle trajectory potentially reduces iatrogenic damage of paravertebral structures including vessels and fewer complications are reported in hu-

man medicine.^{6,23,32} However, because CSF contamination is mainly due to puncture of the internal vertebral venous plexus it is unlikely that ultrasound guidance will reduce CSF blood contamination.

Even in an *ex vivo* setting and regardless of success rate, reported self-confidence of the novice operator increased significantly with the use of the ultrasound guidance as described in human medicine studies.^{37,38} By providing the operator with real-time simultaneous visualization of the needle, target, and surrounding structures prior to and during needle insertion,³⁹ ultrasound guidance reassured the operators on the accomplishment of the correct technique during the procedure.

The setting of the study on a cadaver model introduced some limitations. Body conditions and sizes of dogs were not standardized and the exact ages and antemortem clinical status were not available. Indeed the canine population of this study was mainly composed of relatively thin (mainly scores 2 out of 5 and 3 out of 5) small- and medium-sized dogs (weight range: 4–32 kg). Therefore, a real comparison between different body conditions and sizes was not performed and was beyond the aim of this study. Overweight and large size prevents palpation of bony landmarks for needle placement into the lumbar subarachnoid space as described in humans^{23,30,31} and horses,³ and fat reduces the quality of ultrasound images^{14,23,31} potentially making both techniques equally more difficult for different reasons in fatter animals.

In conclusion, findings from this study supported the use of canine cadavers as a model for training novice operators in needle placement into the lumbar subarachnoid space. Findings also indicated that ultrasound guidance was a feasible method for use by inexperienced operators for needle placement into the lumbar subarachnoid space. The use of the ultrasound-guided procedure also resulted in a perceived positive impact on learning of this needle placement procedure by the students.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors wish to thank Dr. Laurent Massart for his assistance with statistical analysis and all volunteer participants for their motivation and enthusiasm.

REFERENCES

- Audigie F, Tapprest J, Didierlaurent D, Denoix JM. Ultrasound-guided atlanto-occipital puncture for myelography in the horse. *Vet Radiol Ultrasound* 2004;45:340–344.
- Pease A, Behan A, Bohart G. Ultrasound-guided cervical centesis to obtain cerebrospinal fluid in the standing horse. *Vet Radiol Ultrasound* 2012;53:92–95.
- Aleman M, Borchers A, Kass PH, Puchalski SM. Ultrasound-assisted collection of cerebrospinal fluid from the lumbosacral space in equids. *J Am Vet Med Assoc* 2007;230:378–384.
- Broking K, Waurick R. How to teach regional anesthesia. *Curr Opin Anaesthesiol* 2006;19:526–530.
- Strony R. Ultrasound-assisted lumbar puncture in obese patients. *Crit Care Clin* 2010;26:661–664.
- Shaikh F, Brzezinski J, Alexander S, et al. Ultrasound imaging for lumbar punctures and epidural catheterisations: systematic review and meta-analysis. *BMJ* 2013;346:f1720.
- Capalbo E, Peli M, Lovisatti M, et al. Placement of port-a-cath through the right internal jugular vein under ultrasound guidance. *Radiol Med* 2012;118:608–615.
- O'Leary R, Ahmed SM, McLure H, et al. Ultrasound-guided infraclavicular axillary vein cannulation: a useful alternative to the internal jugular vein. *Br J Anaesth* 2012;109:762–768.
- Greher M, Scharbert G, Kamolz LP, et al. Ultrasound-guided lumbar facet nerve block: a sonoanatomic study of a new methodologic approach. *Anesthesiology* 2004;100:1242–1248.
- Koscielniak-Nielsen ZJ, Dahl JB. Ultrasound-guided peripheral nerve blockade of the upper extremity. *Curr Opin Anaesthesiol* 2012;25:253–259.
- Dodge KL, Lynch CA, Moore CL, et al. Use of ultrasound guidance improves central venous catheter insertion success rates among junior residents. *J Ultrasound Med* 2012;31:1519–1526.
- Gualtieri E, Deppe SA, Sipperly ME, Thompson DR. Subclavian venous catheterization: greater success rate for less experienced operators using ultrasound guidance. *Crit Care Med* 1995;23:692–697.
- Tran de QH, Dugani S, Finlayson RJ. A randomized comparison between ultrasound-guided and landmark-based superficial cervical plexus block. *Reg Anesth Pain Med* 2010;35:539–543.
- Etienne AL, Peeters D, Busoni V. Ultrasonographic percutaneous anatomy of the caudal lumbar region and ultrasound-guided lumbar puncture in the dog. *Vet Radiol Ultrasound* 2010;51:527–532.
- Thatcher CD, Hand MS, Remillard RL. Small animal clinical nutrition: an iterative process. In: Hand MS, Thatcher CD, Remillard RL, et al. (eds): *Small animal clinical nutrition*, 5th ed. Marceline, MO: Missouri: Walsworth Publishing Co., 2010;3–21.
- Peterson MA, Pisupati D, Heyming TW, Abele JA, Lewis RJ. Ultrasound for routine lumbar puncture. *Acad Emerg Med* 2014;21:130–136.
- Bagley RS. *Fundamentals of veterinary clinical neurology*. Iowa: Blackwell Publishing Professional 2005;570:215–220.
- Narouze SN, Provenzano D, Peng P, et al. The American Society of Regional Anesthesia and Pain Medicine, the European Society of Regional Anesthesia and Pain Therapy, and the Asian Australasian Federation of Pain Societies Joint Committee recommendations for education and training in ultrasound-guided interventional pain procedures. *Reg Anesth Pain Med* 2012;37:657–664.
- Ocel JJ, Natt N, Tiegs RD, Arora AS. Formal procedural skills training using a fresh frozen cadaver model: a pilot study. *Clin Anat* 2006;19:142–146.
- Ducoté JM, Dewey CW. Neurodiagnostics. In: Dewey CW. *A practical guide to canine and feline neurology*, 2nd ed. Iowa: Wiley-Blackwell, 2008;75–114.
- Grau T, Bartussek E, Conradi R, Martin E, Motsch J. Ultrasound imaging improves learning curves in obstetric epidural anesthesia: a preliminary study. *Can J Anaesth* 2003;50:1047–1050.
- Perlas A. Evidence for the use of ultrasound in neuraxial blocks. *Reg Anesth Pain Med* 2010;35:S43–S46.
- Chin KJ, Perlas A, Chan V, Brown-Shreves D, Koshkin A, Vaishnav V. Ultrasound imaging facilitates spinal anesthesia in adults with difficult surface anatomic landmarks. *Anesthesiology* 2011;115:94–101.
- Kallidaikurichi Srinivasan K, Iohom G, Loughane F, Lee PJ. Conventional landmark-guided midline versus preprocedure ultrasound-guided paramedian techniques in spinal anesthesia. *Anesth Analg* 2015;121:1089–1096.
- Di Terlizzi R, Platt SR. The function, composition and analysis of cerebrospinal fluid in companion animals: part II - analysis. *Vet J* 2009;180:15–32.
- Ansari T, Yousef A, El Gamassy A, Fayed M. Ultrasound-guided spinal anaesthesia in obstetrics: is there an advantage over the landmark technique in patients with easily palpable spines? *Int J Obstet Anesth* 2014;23:213–216.
- Wang EE, Quinones J, Fitch MT, et al. Developing technical expertise in emergency medicine—the role of simulation in procedural skill acquisition. *Acad Emerg Med* 2008;15:1046–1057.
- Farber M, Hummel F, Gerloff C, Handels H. Virtual reality simulator for the training of lumbar punctures. *Methods Inf Med* 2009;48:493–501.
- Uppal V, Kearns RJ, McGrady EM. Evaluation of M43B lumbar puncture simulator-II as a training tool for identification of the epidural space and lumbar puncture. *Anaesthesia* 2011;66:493–496.
- Stiffer KA, Jwayyed S, Wilber ST, Robinson A. The use of ultrasound to identify pertinent landmarks for lumbar puncture. *Am J Emerg Med* 2007;25:331–334.
- Edwards C, Leira EC, Gonzalez-Alegre P. Residency training: a failed lumbar puncture is more about obesity than lack of ability. *Neurology* 2015;84:e69–e72.
- Mofidi M, Mohammadi M, Saidi H, et al. Ultrasound guided lumbar puncture in emergency department: time saving and less complications. *J Res Med Sci* 2013;18:303–307.
- Lim YC, Choo CY, Tan KT. A randomised controlled trial of ultrasound-assisted spinal anaesthesia. *Anaesth Intensive Care* 2014;42:191–198.
- Chin KJ, Ramlogan R, Arzola C, Singh M, Chan V. The utility of ultrasound imaging in predicting ease of performance of spinal anesthesia in an orthopedic patient population. *Reg Anesth Pain Med* 2013;38:34–38.
- Chin KJ, Macfarlane AJ, Chan V, Brull R. The use of ultrasound to facilitate spinal anesthesia in a patient with previous lumbar laminectomy and fusion: a case report. *J Clin Ultrasound* 2009;37:482–485.
- Chin KJ, Chan VW, Ramlogan R, Perlas A. Real-time ultrasound-guided spinal anesthesia in patients with a challenging spinal anatomy: two case reports. *Acta Anaesthesiol Scand* 2010;54:252–255.
- Kim S, Adler DK. Ultrasound-assisted lumbar puncture in pediatric emergency medicine. *J Emerg Med* 2014;47:59–64.
- Restrepo CG, Baker MD, Pruitt CM, Gullett JP, Pigott DC. Ability of pediatric emergency medicine physicians to identify anatomic landmarks with the assistance of ultrasound prior to lumbar puncture in a simulated obese model. *Pediatr Emerg Care* 2015;31:15–19.
- Mattoon JS, Pollard R, Wills T, Nyland TG. Ultrasound-guided aspiration and biopsy procedures. In: Mattoon JS, Nyland TG (eds): *Small animal diagnostic ultrasound*, 3rd ed. Philadelphia: Saunders, 2014;50–77.

ADDENDUM

COMPARISON OF ULTRASOUND-GUIDED VS. STANDARD LANDMARK TECHNIQUES FOR TRAINING NOVICE OPERATORS IN PLACING NEEDLES INTO THE LUMBAR SUBARACHNOID SPACE OF CANINE CADAVERS

ANNE-LAURE ETIENNE, CATHERINE DELGUSTE, VALERIA BUSONI

In Etienne et al.¹ an omission was published on page 2 of early view; “Each operator performed both needle placement into the lumbar subarachnoid space techniques in close succession with an order previously defined.” After having received comments from a reader, the authors consider that the following sentences should have been included for clarification in the Materials and Methods section:

. . . A total of 67 students performed both needle placement techniques in close succession. Forty-six students performed the blind landmark-guided technique first and then an additional group of 21 students was recruited after completion of this first study based on statistician recommendations for measuring and minimizing the effect of the order of the procedures on success rate. These 21 students started the procedure performing the ultrasound-guided technique first.

Additional statistical analysis (chi-square test) was, therefore, performed to compare success rates of these two groups of students (those who started with the blind landmark-guided procedure and those who started with the ultrasound-guided procedure) . . .

The authors consider that the following sentences should have been included in the Results section:

. . . The success rate of the ultrasound-guided procedure was 72% for students who started with the blind landmark-guided method (group of 46 students) and 86% for students who started with the ultrasound-guided method (group of 21 students) with no statistical difference in success rate for the ultrasound-guided procedure between the two groups (P-value: 0.18).

The success rate of the blind landmark-guided procedure was 35% for students who started with the blind landmark-guided method and 77% for students who started with the ultrasound-guided technique. This difference in success rate is statistically significant (P-value = 0.001) . . .

The authors consider that the following sentences should have been included in the Discussion section:

. . . One of the limitations of the study was that the number of students having performed the blind technique first is higher (46) compared to the number of students having performed the ultrasound-guided technique first (21), and that the order of procedures has not been randomized. Therefore, in order to avoid bias related to the experience potentially acquired while doing the procedure the first time and to the order of the procedures, the cofactor order was introduced in multinomial regression and the model has been adjusted for possible bias created by this variable. Results showed that the variable order was not significant in the multinomial regression (see Table 2 in the Results section).

Moreover, success rate of ultrasound-guided needle placements was not statistically different between the two groups of students (72% vs. 86%) having performed the two techniques in a different order and it was higher in the groups of students having performed the ultrasound-guided procedure first. This result suggests that realization of a unique blind landmark-guided needle placement into the lumbar subarachnoid space does not provide a significant experience to increase the success rate of the ultrasound-guided procedure.

In contrast, the success rate of blind landmark-guided needle placement was statistically higher in the group of 21 students having carried out the ultrasound-guided procedure first (35% vs. 77%) suggesting a potential significant impact of learning an ultrasound-guided needle placement into the lumbar subarachnoid space . . .

The authors hope to have clarified with these additional information and data the rationale behind their conclusions.

REFERENCE

1. Etienne AL, Delguste C, Busoni V. Comparison of ultrasound-guided vs. standard landmark techniques for training novice operators in placing needles into the lumbar subarachnoid space of canine cadavers. *Vet Radiol Ultrasound* 2016. doi: 10.1111/vru.12358.

ETUDE IV.

COMPARAISON DE L'EFFET DU GUIDAGE ECHOGRAPHIQUE SUR LES PONCTIONS DE LIQUIDE CEPHALO-RACHIDIEN ENTRE LES LOCALISATIONS CISTERNALES ET LOMBAIRES CHEZ LE CHIEN : UNE ETUDE *EX VIVO*

COMPARISON OF THE EFFECT OF ULTRASOUND GUIDANCE ON PUNCTURES OF CEREBROSPINAL FLUID BETWEEN LUMBAR AND CISTERNAL LOCALIZATIONS IN DOGS: AN *EX VIVO* STUDY

Etienne A.-L., Peeters D., Busoni V. Comparaison de l'effet de la guidance échographique sur les ponctions de liquide céphalo-rachidien cisternales et lombaires chez le chien : une étude *ex-vivo*. *Ann. Méd. Vét.*, 2014, **158**, 126-136.

Partiellement présentée sous forme de présentation orale au Congrès d'Imagerie Vétérinaire Européen (EVDI) à Cascais, Portugal, en septembre 2013.

COMPARAISON DE L'EFFET DU GUIDAGE ECHOGRAPHIQUE SUR LES PONCTIONS DE LIQUIDE CEPHALO-RACHIDIEN ENTRE LES LOCALISATIONS CISTERNALES ET LOMBAIRES CHEZ LE CHIEN : UNE ETUDE *EX VIVO*

Résumé

Le placement échoguidé de l'aiguille spinale pour les ponctions cisternale et lombaire chez le chien a été décrit. L'objectif de cette étude d'actualité, d'observation, prospective et *ex-vivo* était de comparer l'effet du guidage échographique pour le placement de l'aiguille entre les localisations cisternale et lombaire. Avec leur consentement éclairé, 83 opérateurs ont participé à l'étude. Ils étaient divisés en quatre groupes selon leur expérience. Après une formation théorique courte, chaque opérateur a réalisé une ponction cisternale et lombaire avec la méthode à l'« aveugle » et sous contrôle échographique sur des cadavres tirés au sort. L'échoguidage lombaire était direct alors que celui cisternal était indirect. Après chaque procédure, les opérateurs ont rempli un questionnaire sur leur expérience, leur performance et leur confiance en soi. L'échoguidage augmentait significativement le taux de réussite global de la ponction (comparée à la méthode à l'« aveugle ») mais plus clairement avec la localisation lombaire. Le guidage échographique cisternal améliorait significativement le nombre de tentatives, le temps et la confiance en soi chez les opérateurs inexpérimentés et expérimentés. La première cause d'échec citée était différente selon la localisation de la ponction et était liée à la nature de l'échoguidage. Les résultats de ce travail démontrèrent que l'application du guidage échographique améliorait différents paramètres selon la localisation de la ponction, que l'opérateur soit expérimenté ou pas. Ils indiquèrent aussi que les opérateurs inexpérimentés sont capables de réaliser des placements d'aiguille échoguidés après une formation théorique courte dans un contexte *ex-vivo*, justifiant l'utilité du guidage échographique à des fins pédagogiques.

COMPARISON OF THE EFFECT OF ULTRASOUND GUIDANCE ON PUNCTURES OF CEREBROSPINAL FLUID BETWEEN LUMBAR AND CISTERNAL LOCALIZATIONS IN DOGS: AN *EX VIVO* STUDY

Abstract

Ultrasound-guided techniques for the needle placement in the *cisterna magna* and in the lumbar subarachnoid space were described in the dog. The aim of the current observational, prospective, *ex-vivo* study was to compare the impact of ultrasound-guidance for the cisternal versus lumbar needle placement using dog cadavers. With informed consent, 83 operators were prospectively enrolled in the study. They were divided in four groups depending on experience. Each operator received a short theoretical training about each technique before the trial and then attempted a cisternal and lumbar punctures with blind landmark-guided and ultrasound-guided techniques on randomized canine cadavers. The lumbar ultrasound-guidance was direct while the cisternal was indirect. After having performed each procedure, the operators completed a self-evaluation questionnaire about their previous experience, their performance and their self-confidence. The ultrasound guidance significantly increased total success rate with the two localisations compared with the blind technique but more obviously with the lumbar location. The cisternal ultrasound guidance significantly improved the number of attempts, the time and the self confidence in inexperienced and experienced operators. The first cause of failure cited was different according to the location of the puncture and was related to the nature of ultrasound guidance. Findings indicated that the use of ultrasound guidance by novice and experienced operators improved different parameters according to the localisations of the needle placement. This study demonstrated that inexperienced operators are able to use ultrasound guidance after a short theoretical teaching session in an *ex-vivo* context and this supports the use of ultrasound-guidance for learning purposes.

Comparaison de l'effet du guidage échographique sur les ponctions de liquide céphalo-rachidien entre les localisations cisternales et lombaires chez le chien : une étude *ex vivo*

ETIENNE A.-L.¹, PEETERS D.², BUSONI V.¹

¹ Section Imagerie médicale, Département clinique des Animaux de Compagnie et Équidés, Faculté de Médecine vétérinaire, Université de Liège, Quartier Vallée 2, Avenue de Cureghem, 5A, bâtiment B41, 4000 Liège, Belgique

² Section de Médecine interne des Animaux de Compagnie, Département clinique des Animaux de Compagnie et Équidés, Faculté de Médecine vétérinaire, Université de Liège, Quartier Vallée 2, Avenue de Cureghem 3, bâtiment B44, 4000 Liège, Belgique

Correspondance : Dr Anne-Laure Etienne – E-mail : AL.Etienne@ulg.ac.be

RÉSUMÉ : Le placement échoguidé de l'aiguille spinale pour les ponctions cisternale et lombaire chez le chien a été décrit. L'objectif de ce travail était de comparer l'effet du guidage échographique pour la ponction de liquide céphalo-rachidien entre les ponctions cisternale et lombaire.

Quatre-vingt-trois opérateurs ont participé à l'étude. Ils étaient divisés en quatre groupes selon leur expérience. Après une formation théorique courte, chaque opérateur a réalisé une ponction cisternale et lombaire en aveugle et sous contrôle échographique sur des cadavres tirés au sort. L'échoguidage lombaire était direct alors que celui cisternal était indirect. Après chaque procédure, les opérateurs ont rempli un questionnaire sur leur expérience, leur performance et leur confiance en soi.

L'échoguidage augmentait significativement le taux de réussite global de la ponction (comparée à la méthode en aveugle) mais plus clairement avec la localisation lombaire. Le guidage échographique cisternal améliorait significativement le nombre de tentatives, le temps et la confiance en soi chez les opérateurs inexpérimentés et expérimentés. La première cause d'échec citée était différente selon la localisation de la ponction et était liée à la nature de l'échoguidage.

Cette étude démontre que les opérateurs inexpérimentés sont capables de réaliser des ponctions échoguidées après une formation théorique courte, justifiant l'utilité du guidage échographique à des fins pédagogiques.

1. Introduction

Les ponctions cisternales (PC) (dans la *cisterna magna*) et lombaires (PL) (entre les cinquième et sixième vertèbres lombaires) sont fréquemment réalisées en clinique chez le chien à des fins diagnostiques : collecte et analyse de liquide céphalo-rachidien (LCR) (Oliver, 1997 ; Dewey, 2003), myélographies (Adams, 1982) et myéloscanner (Robertson et Thrall, 2011 ; Shimizu *et al.*, 2009). Comme le LCR a un flux rostro-caudal, le

site privilégié de ponction (cisternal ou lombaire) pour l'obtention de LCR diagnostique est celui caudal à la lésion suspectée (Thomson *et al.*, 1990). Le placement de l'aiguille spinale pour ces procédures se fait principalement à l'aveugle c'est-à-dire grâce à la palpation de repères anatomiques (Oliver, 1997 ; Dewey, 2003). La PC est considérée techniquement plus facile (Oliver, 1997) que la PL mais est responsable de lésions iatrogènes (Lujan Feliu-Pascual *et al.*, 2008). La PL est quant à elle plus fréquem-

ment contaminée de manière iatrogène par du sang (Di Terlizzi et Platt, 2009).

En médecine humaine, le guidage échographique a été décrit pour un grand nombre de procédures techniquement difficiles ou à risques notamment en anesthésiologie (Grau *et al.*, 2002 ; Broking et Waurick, 2006 ; Maecken et Grau, 2007), pour les ponctions de LCR (Peterson et Abele, 2005 ; Ferre et Sweeney, 2007 ; Strony, 2010), la pose de cathéters centraux (Capalbo,

2013 ; O'leary *et al.*, 2012) et l'anesthésie tronculaire (Greher *et al.*, 2004 ; Koscielniak-Nielsen et Dahl, 2012). Ces techniques échoguidées sont considérées réduire les risques de la procédure et augmenter la confiance en soi de l'opérateur (Broking et Waurick, 2006). En effet, leur utilité par rapport aux techniques à l'aveugle a été étudiée chez l'homme. Un impact positif (augmentation du taux de réussite, diminution du nombre de tentatives, diminution du taux de complications) a souvent été mis en évidence (Gualtieri *et al.*, 1995 ; Miller *et al.*, 2002 ; Dodge *et al.*, 2012) mais quelques études démontraient un effet plutôt mitigé (Tran De *et al.*, 2010 ; Wiler *et al.*, 2010 ; Bloom, 2012).

En médecine vétérinaire, plusieurs techniques échoguidées de ponctions de LCR ont été décrites chez le cheval à différents sites : dans la *cisterna magna* (Audigie *et al.*, 2004), entre la première et la seconde vertèbres cervicales (Pease *et al.*, 2012) et dans l'espace lombo-sacré (Aleman *et al.*, 2007). Cependant aucune étude n'a été réalisée afin d'évaluer l'« avantage » du guidage échographique par rapport aux techniques traditionnelles à l'aveugle. Chez le chien, une technique échoguidée directe pour les PL de LCR (Etienne *et al.*, 2010) et une technique échoguidée indirecte pour les PC (Etienne *et al.*, 2015) ont été décrites.

Le but de cette étude était de comparer l'effet de l'échoguidage entre deux méthodes de collecte de LCR chez le chien : technique lombaire avec l'échoguidage direct et technique cisternale avec l'échoguidage indirect. L'hypothèse était que le guidage échographique pourrait avoir un plus grand impact positif sur la PL techniquement plus difficile.

2. Matériel et méthodes

2.1 Chiens

L'étude a été réalisée sur 41 cadavres de chiens. Ces derniers avaient été euthanasiés pour des raisons non liées à l'étude. Le poids moyen des chiens était de 14 kg (amplitude : 4-32 kg). Le score corporel des chiens s'étendait de 1 à 4 sur une échelle de score corporel à 5 niveaux (Thatcher *et al.*,

2010) avec une répartition comme suit : 1/5 : 3 chiens, 2/5 : 15 chiens, 3/5 : 21 chiens, 4/5 : 2 chiens. Il s'agissait de chiens adultes mais leur âge précis n'était pas connu. Les races étaient variées, incluant des petites morphologies (yorkshires, caniches, teckels, shi-tzu, Jack Russell terriers, bichons et des chiens croisés) et des morphologies moyennes à grandes (boxers, bergers allemands, bergers des Pyrénées, croisés type bergers, griffons, labradors, setters anglais, bergers belges malinois et American Staffordshire terriers). Pour cette étude, les cadavres de chiens étaient en décubitus latéral droit, les pattes postérieures repliées vers l'avant avec la tête et le cou fléchis au maximum. Les animaux étaient maintenus en position grâce à des sacs de sable. Les régions lombaires caudales et atlanto-occipitales étaient tondues après palpation des repères osseux. Ces repères semblaient « normaux » à la palpation. Des éponges imbibées d'eau chaude étaient placées sur ces zones afin d'augmenter la pénétration des ultrasons. Du gel échographique ou de l'alcool étaient utilisés pour améliorer le couplage peau/sonde. Les radiographies de la colonne lombaire caudale réalisées afin de vérifier le positionnement de l'aiguille spinale par les opérateurs (*cf.* 2.3 Protocole de l'étude) ne révélèrent que de la spondylose lombaire modérée et de l'arthropathie dégénérative légère des processus articulaires lombaires n'empêchant pas la réalisation de la PL.

2.2 Opérateurs

Quatre-vingt-trois opérateurs composés de 17 vétérinaires et 66 étudiants en dernière année de médecine vétérinaire ont réalisé l'étude. Pour les statistiques descriptives et grâce aux questionnaires, le groupe total d'opérateurs était divisé en quatre sous-groupes : un groupe contrôle (sans expérience en ponction ni en échographie ni en échoguidage), un groupe expérimenté en ponctions (P-expérience), un groupe expérimenté en échographie/échoguidage (E-expérience) et un groupe expérimenté à la fois en ponction et en échographie/échoguidage (P+E-expérience). Un opérateur était considéré « expérimenté » à partir du moment où il avait réalisé au moins cinq fois la technique (PC, PL, échographie ou échoguidage).

Ces opérateurs recevaient en petits groupes une formation théorique au moyen d'une présentation power point d'une durée d'environ 30 minutes par l'assistante en imagerie médicale organisant les manipulations (A-L Etienne). Cet exposé expliquait les principes de base de l'échographie et de l'échoguidage ainsi que les deux techniques (aveugle et échoguidée) des PL et PC. Après cette présentation, l'assistante procédait à une démonstration pratique des quatre techniques de ponctions devant les opérateurs sur des cadavres.

2.3 Protocole de l'étude

Les quatre techniques de ponctions étaient réalisées par chaque opérateur, toujours dans le même ordre : PL aveugle puis échoguidée directe et PC d'abord aveugle puis échoguidée indirecte. Pour chaque technique réalisée (4 en tout), un cadavre de chien disponible était préalablement tiré au sort par l'opérateur. Le nombre de tentatives par procédure était limité à 4. Une tentative était comptabilisée à partir du moment où l'aiguille spinale pénétrait la peau du cadavre jusqu'à sa sortie complète. Le temps de manipulation était limité à 10 minutes pour chaque procédure. Le chronomètre pour chaque procédure était enclenché à partir du moment où l'aiguille spinale touchait la peau du cadavre c'est-à-dire après le repérage par palpation ou le repérage échographique (PL) ou le marquage des repères sur la peau du chien (PC). Le chronomètre était arrêté quand l'opérateur pensait avoir réussi sa ponction. Le temps pour régler la machine échographique n'était pas comptabilisé ni mesuré. Dans cette étude *ex vivo* aucun LCR n'a été obtenu. Le contrôle du positionnement de l'aiguille spinale était réalisé par l'assistante en imagerie sans que l'opérateur ne regarde. Pour la vérification des PL (réalisées en aveugle ou sous contrôle échographique), l'assistante réalisait d'abord une radiographie de profil à blanc de la région lombaire afin d'évaluer la position de l'aiguille spinale. Si la pointe de l'aiguille s'arrêtait en regard du plancher du canal vertébral et que l'aiguille passait entre les processus articulaires de L5-L6 ou de la quatrième vertèbre lombaire (L4)-L5 en ayant une orientation oblique (crânio-ventrale et caudo-dorsale), le positionnement de l'aiguille spinale était considéré potentiellement correct. Elle

injectait alors du liquide de contraste (Télébrix®) via l'aiguille insérée et réalisait ensuite une deuxième radiographie de profil de la région lombaire. La PL était considérée réussie si l'espace sous arachnoïdien était marqué par du produit de contraste, c'est-à-dire que deux fines lignes de contraste, bien délimitées, presque parallèles dans le canal vertébral étaient visibles. Si le positionnement de l'aiguille spinale ne correspondait pas aux critères cités précédemment sur la radiographie à blanc, l'échec de la PL était directement conclu. Pour la voie haute, l'assistante posait la sonde échographique sur la région atlanto-occipitale et vérifiait que l'aiguille spinale était bien dans la *cisterna magna*. La ponction était considérée réussie quand l'aiguille spinale était dans la *cisterna magna*, peu importe son enfoncement. Les opérateurs étaient donc après chaque tentative juste informés de leur réussite ou échec.

2.4 Appareillage et petit matériel

Les images échographiques ont été obtenues au moyen d'un échographe Aloka SSD-3500 Prosound (Aloka Co., Ltd., Mitaka, Tokyo, Japan). Les sondes utilisées étaient une linéaire 7,5 MHz pour la technique échoguidée de PC et une microconvexe 7,5 MHz pour la technique échoguidée de PL. Des aiguilles spinales 20 à 22G, 38 mm (PC) et 90 mm (PL), avec un biseau de Quincke (BD, Becton Dickinson S.A., S. Agustin del Guadalix, Madrid, Spain) ont été utilisées. Des gants non stériles pour manipuler les cadavres et des marqueurs de couleur noire ou bleue ont été utilisés pour la technique échoguidée indirecte cisternale.

2.5 Techniques de ponctions

Les repères anatomiques pertinents pour la PC en aveugle étaient la protubérance occipitale externe, le processus épineux de l'axe pour l'axe médian et le bord crânial des processus transverses (ailes) de l'atlas (Oliver, 1997 ; Dewey, 2003 ; Tipold, 2003 ; Elias et Brown, 2008). Pour la méthode échoguidée indirecte de PC, la première étape consistait à identifier à l'échographie en coupe transversale les condyles occipitaux avec la *cisterna magna* au centre. Une fois l'image obtenue deux marques au feutre étaient dessinées sur la peau du chien de part et d'autre de la sonde.

Puis, sans bouger la peau du chien, la sonde était tournée de 90° afin d'obtenir une image sagittale avec l'occiput, l'atlas et au centre la *cisterna magna*. Des repères au feutre étaient de nouveau tracés de part et d'autre de la sonde (Etienne *et al.*, 2015). Alors que la sonde échographique était retirée, deux lignes reliant les marques opposées sont tracées. Le point d'intersection de ces deux lignes était le site d'introduction de l'aiguille spinale.

Pour la PL aveugle, les crêtes de l'ilium, les processus épineux de la cinquième (L5), sixième (L6) et septième (L7) vertèbres lombaires ainsi que les espaces inter-épineux entre eux étaient palpés et utilisés comme repères (Oliver, 1997 ; Bagley, 2005). Pour la méthode échoguidée directe, les processus articulaires de L5-L6 étaient identifiés par échographie dans un plan parasagittal. L'image triangulaire hypoéchogène entre ces processus articulaires adjacents était la cible pour atteindre l'espace sous-arachnoïdien comme décrit par Etienne et collaborateurs (2010). Cependant pour multiplier les sites de ponctions sans augmenter le nombre de cadavres nécessaires, le placement de l'aiguille spinale dans l'espace sous arachnoïdien était permis en L5-L6 et entre L4 et L5.

2.6 Collection et analyse des données

Après la réalisation de chaque technique, l'opérateur remplissait un questionnaire portant sur son expérience antérieure, ses performances (échec/réussite, nombre de tentatives et temps), sa confiance en soi et ses commentaires incluant son interprétation des causes d'échec. Pour des raisons statistiques, la confiance en soi était gradée au moyen d'une échelle de 0 à 2, avec 0 = aucune, 1 = moyenne, 2 = bonne. Trois questions finales portant sur la PL d'une part et sur la PC d'autre part étaient également posées à chaque opérateur : (i) quelle est la méthode de ponction avec laquelle vous étiez le plus à l'aise ? ; (ii) quelle technique utiliseriez-vous pour votre prochaine ponction ? ; (iii) avez-vous apprécié participer à cette étude ?

Les données ont donc été obtenues à partir de 332 ponctions (83 opérateurs x 4 techniques). Une analyse descriptive a été réalisée. Un test de Z a été appliqué pour comparer les

pourcentages de réussite entre les deux méthodes (aveugle et échoguidée) pour chaque localisation de ponction sur l'ensemble du groupe d'opérateurs et sur les sous-groupes. Un test non paramétrique de Wilcoxon pour les données paires a été utilisé pour comparer différentes variables : nombre de tentative, temps, confiance en soi entre les deux techniques pour chaque ponction, dans les 4 sous-groupes d'opérateurs.

Pour comparer les pourcentages de réponses aux questions posées à la fin du questionnaire aux opérateurs, la loi binomiale a été appliquée. Une lettre commune (a, b ou c) a été attribuée aux pourcentages qui ne différaient pas selon un seuil de $p=0,01$.

Une régression logistique a été réalisée au moyen d'une procédure logistique dans SAS (SAS Institute, Inc., Gary, North Carolina, USA). L'influence d'un ou plusieurs paramètres (variables continues ou discrètes) sur le taux de réussite de la technique (variable dépendante) a été évaluée. Pour commencer, l'association entre le taux de réussite de la ponction (cisternale et lombaire) et chaque variable indépendante (avec la variable « opérateur » incluse) a été calculée (analyse univariée). Puis, une analyse multi-variable a été appliquée à la PC et à la PL sur l'ensemble des opérateurs et sur les sous-groupes isolés avec les variables qui avaient une relation forte à modérée ($p \leq 0,10$) dans l'analyse univariée. Le modèle le plus puissant était finalement calculé avec les variables laissées par l'option « stepwise » dans la procédure logistique.

3. Résultats

En se basant sur le questionnaire, le groupe contrôle contenait 46 étudiants, le groupe P-expérience contenait deux vétérinaires, le groupe E-expérience contenait soit 26 opérateurs (20 étudiants et 6 vétérinaires) pour la PC soit 27 opérateurs (20 étudiants et 7 vétérinaires) pour la PL, le groupe P+E expérience contenait soit 9 vétérinaires pour la PC soit 8 vétérinaires pour la PL. Le sous-groupe P-expérience, contenant seulement deux opérateurs, n'était pas représentatif de cette population et n'a donc pas fait l'objet d'analyses statistiques (tableau I).

Tableau I : répartition des opérateurs dans les différents sous-groupes

		nombre total d'opérateurs		
			nombre d'étudiants	nombre de vétérinaires
groupe contrôle		46	46	0
groupe P-expérience		2	0	2
groupe E-expérience	ponction cisternale	26	20	6
	ponction lombaire	27	20	7
groupe P+E expérience	ponction cisternale	9	0	9
	ponction lombaire	8	0	8

Groupe contrôle (sans expérience en ponction ni en échographie ni en échoguidage), groupe expérimenté en ponctions (P-expérience), groupe expérimenté en échographie/échoguidage (E-expérience) et groupe expérimenté à la fois en ponction et en échographie/échoguidage (P+E-expérience)

Tableau II : taux de réussite (exprimé en %) des ponctions cisternale et lombaire selon la technique utilisée pour (i) l'entièreté du groupe d'opérateurs et (ii) les différents sous-groupes

		Taux de réussite					
		Ponction cisternale			Ponction lombaire		
		Aveugle	Echoguidé	<i>p</i>	Aveugle	Echoguidé	<i>p</i>
Tous les opérateurs		78 %	95 %	0,01*	46 %	78 %	0,001*
Groupes	contrôle	76 %	93 %	0,09	35 %	72 %	0,007*
	E-expérience	77 %	100 %	0,005*	52 %	85 %	0,045*
	P+E expérience	100 %	89 %	0,29	75 %	100 %	0,102

p : valeur de *p* du test de Z comparant les pourcentages de réussite entre les 2 méthodes (aveugle et échoguidée) pour chaque site de ponction, * : statistiquement significatif pour *p* < 0,05

La méthode échoguidée augmentait significativement le taux de réussite global par rapport à la méthode en aveugle quelque soit la localisation de la ponction : PC : 95 % *versus* 78 % et la PL : 78 % *versus* 46 % (tableau II). L'effet bénéfique du guidage échographique était plus marqué avec la PL : $p = 0,001 < p = 0,01$ (tableau II).

À l'échelle des sous-groupes, alors que la technique échoguidée lombaire augmentait significativement le taux de réussite des groupes contrôle ($p = 0,007$) et E-expérience ($p = 0,045$), la technique échoguidée cisternale n'augmentait significativement que le taux de réussite du groupe E-expérience ($p = 0,005$) (tableau II).

L'apport de la méthode échoguidée par rapport à la méthode par palpation sur les autres variables montrait

également des différences entre la PC et PL (tableau III). Dans les groupes contrôle et E-expérience, la méthode échoguidée cisternale améliorait significativement les trois variables évaluées : nombre de tentatives, temps et confiance en soi alors que la méthode échoguidée lombaire améliorait significativement que la confiance en soi et dans le groupe contrôle uniquement, le nombre de tentatives également (tableau III). Dans le groupe P+E-expérience, aucune méthode échoguidée améliore significativement les variables considérées par rapport aux techniques à l'aveugle (tableau III).

En considérant l'ensemble des données recueillies pour les quatre techniques de ponction de LCR sur l'entièreté du groupe, l'analyse par régression logistique « univariante » nous indiquait

que la technique échoguidée et le site cisternal était largement associée de façon significative à la réussite de la ponction ($p < 0,0001$). En séparant les données sur les PC et PL, l'analyse par régression logistique « multivariante » montrait quelque soit le site de ponction, une association significative entre la réussite de la ponction et la variable temps ($p = 0,0272$ pour PC et $p = 0,0178$ pour PL) (tableau IV). Par contre, pour la PL uniquement, la variable nombre de tentatives était associée de façon significative à la réussite ($p < 0,0001$) (tableau IV).

Les causes d'échecs ressenties par les opérateurs et transcrites sur leurs formulaires ont été comparées entre la technique échoguidée cisternale et lombaire (tableau V). Pour la technique échoguidée cisternale indirecte, les causes d'échec les plus

Tableau III : comparaison, pour les différents groupes d'opérateurs évalués, de trois variables (nombre de tentatives nécessaires, temps nécessaire et confiance en soi), en fonction des deux techniques évaluées (en aveugle – par palpation de repères anatomiques – et échoguidée) et les deux types de ponction (cisternale et lombaire) chez le chien

		Ponction cisternale			Ponction lombaire			
		aveugle	échoguidée		aveugle	échoguidée		
Groupe (n)	Variabes	moyenne ± σ	moyenne ± σ	<i>p</i>	moyenne ± σ	moyenne ± σ	<i>p</i>	
Contrôle (46)	Nb tentatives	2,80 ± 1,17	1,67 ± 0,87	< 0,0001*	3,40 ± 1,02	2,37 ± 1,18	< 0,0001*	
	Temps (min)	5,68 ± 3,94	3,89 ± 3,37	0,02*	6,72 ± 3,79	6,41 ± 3,69	0,70	
	Confiance en soi	0,80 ± 0,66	1,20 ± 0,66	0,01*	0,63 ± 0,61	1,24 ± 0,64	< 0,0001*	
E-expérience	Nb tentatives	2,58 ± 1,24	1,27 ± 0,53	< 0,0001*	2,81 ± 1,21	2,22 ± 1,28	0,09	
	(PC = 26 ; PL = 27)	Temps (min)	4,85 ± 3,21	3,36 ± 3,00	0,04*	5,85 ± 3,95	6,15 ± 3,69	0,80
	Confiance en soi	0,65 ± 0,56	1,35 ± 0,56	< 0,0001*	0,78 ± 0,58	1,48 ± 0,51	0,0006*	
P+E-expérience	Nb tentatives	2,00 ± 1,12	1,55 ± 1,13	0,32	2,37 ± 1,19	1,37 ± 0,52	0,06	
	(PC = 9 ; et PL = 8)	Temps (min)	4,33 ± 2,60	4,22 ± 3,90	0,47	5,06 ± 3,88	3,87 ± 3,48	0,31
	Confiance en soi	1,22 ± 0,83	1,55 ± 0,53	0,50	1,12 ± 0,35	1,50 ± 0,53	0,25	

σ = écart type ; *p* = valeur de *p* du test de Wilcoxon comparant la même variable entre les 2 méthodes (aveugle et échoguidée) pour chaque site de ponction ; * : statistiquement significatif pour *p* < 0,05

Tableau IV : résultats de l'analyse par régression logistique multinomiale de la réussite de la ponction (cisternale et lombaire) en fonction de différentes variables (temps nécessaire, nombre de tentatives nécessaires, technique utilisée : aveugle ou échoguidée, confiance en soi)

variables	valeur de <i>p</i>	
	ponction cisternale	ponction lombaire
Temps	0,0272*	0,0178*
Nombre de tentatives	0,0643	< 0,0001*
Technique utilisée	0,0720	0,1211
Confiance en soi	0,1178	0,0719

* : statistiquement significatif pour *p* < 0,05

fréquemment évoquées étaient liées au marquage indirect des repères : le fait que la peau du cadavre bouge lors du marquage des repères cutanés (75 %) suivie de la difficulté à noter les repères au marqueur sur la peau (50 %)(tableau V). Pour la technique échoguidée lombaire directe, les principales causes d'échec mentionnées étaient liées à l'échoguidage direct : difficulté d'atteindre la cible avec l'aiguille spinale : 89 % et

difficulté de conserver l'image échographique correcte sur l'écran : 72 % (tableau V). Des causes communes aux 2 ponctions étaient également observées: le nombre insuffisant de tentatives et le manque de temps (tableau V).

La méthode échoguidée était la technique avec laquelle les opérateurs se sentaient le plus confortable pour réaliser les PL (68 % d'entre eux) et les

PC (63 % d'entre eux) (tableau VI). Ce pourcentage de préférence était significativement différent de ceux des autres réponses. La majorité des opérateurs ont répondu qu'ils utiliseraient la méthode échoguidée pour leur prochaine ponction quel que soit le site (tableau VI). De plus, la totalité des opérateurs (100 %) ont apprécié participer à cette étude sur les PL et PC.

4. Discussion

Dans l'étude présente, l'utilisation de la technique échoguidée améliorerait significativement le taux de réussite global (ensemble des opérateurs) en aveugle de la PC (*p* = 0,01) et PL (*p* = 0,001). Cet impact positif du guidage échographique sur le taux de réussite par rapport aux méthodes « traditionnelles » par palpation a été également identifié dans de nombreuses études humaines portant sur la pose de cathéters centraux (Verghese *et al.*, 1999 ; Karakitsos *et al.*, 2006 ; Dodge *et al.*, 2012), sur l'anesthésie tronculaire (Greher *et al.*, 2004 ; Koscielniak-Nielsen et Dahl,

Tableau V : distribution des causes d'échec des ponctions cisternales et lombaires avec la méthode échoguidée

Causes	ponction cisternale (%)	ponction lombaire (%)
Peau bouge	28	–
Difficulté de noter les repères au feutre	18	–
Difficulté d'obtenir l'image sagittale	18	–
Difficulté d'obtenir l'image transversale	9	–
Difficulté d'obtenir l'image de référence	9	9
Nombre insuffisant de tentatives	9	14
Manque de temps	9	8
Difficulté d'atteindre la cible avec l'aiguille	–	25
Difficulté à garder l'image à l'écran durant la ponction	–	20
Difficulté à visualiser l'aiguille sur l'écran	–	16
Manque d'expérience	–	3
Autre	–	5

Tableau VI : tableau récapitulatif des réponses aux questions posées aux 83 participants à la fin de l'étude

Réponses aux questions	à l'aveugle	échoguidée	les deux	aucune	indécis
Technique favorite pour la PC ?	11 (13 %) ^a	52 (63 %) ^b	13 (16 %) ^a	7 (8 %) ^a	0 (0 %) ^c
Technique favorite pour la PL ?	11 (13 %) ^a	56 (68 %) ^b	7 (8 %) ^a	9 (11 %) ^a	0 (0 %) ^c
Quelle technique pour votre prochaine PC ?	12 (15 %) ^a	70 (84 %) ^b	0 (0 %) ^c	0 (0 %) ^c	1 (1 %) ^c
Quelle technique pour votre prochaine PL ?	7 (9 %) ^a	75 (90 %) ^b	0 (0 %) ^c	0 (0 %) ^c	1 (1 %) ^c

À l'aveugle= technique à l'aveugle ; échoguidée= technique échoguidée ; PC = ponction cisternale ; PL = ponction lombaire. Selon la loi binomiale, si deux pourcentages diffèrent au seuil de $p = 0,01$, leur lettre attribuée (a, b ou c) est différente

2012) ou sur les PL de LCR (Peterson et Abele, 2005 ; Ferre et Sweeney, 2007 ; Strony, 2010). De même, en médecine vétérinaire, cet avantage a été abordé et doit être confirmé dans des études notamment sur les injections épidurales (Gregori *et al.*, 2014 ; Liotta *et al.*, 2015) et les poses de cathéters centraux (Chamberlin *et al.*, 2013). Cependant, nos résultats montraient une amélioration du taux de réussite plus marquée pour la PL que pour la PC ($p = 0,001 < p = 0,01$). Cette différence peut s'expliquer en partie par un pourcentage de réussite en aveugle plus élevé en cisternal qu'en lombaire (78 % *versus* 46 %) car la PC est techniquement plus facile et par conséquent une différence moins marquée entre les pourcentages de réussite sans et avec usage de l'échoguidage cisternal.

À l'échelle des groupes, les méthodes échoguidées amélioraient significativement le pourcentage de réussite du groupe E-expérience pour les deux localisations de ponctions alors que seul l'échoguidage pour la PL améliorerait la réussite du groupe contrôle (groupe sans expérience en ponction ni en échographie/échoguidage). En médecine humaine, le niveau d'expérience préalable des opérateurs influençait les conclusions des études comparant les procédures traditionnelles à celles échoguidées. Plusieurs études démontraient que la méthode échoguidée de pose de cathéters veineux améliorait significativement le taux de réussite qu'elle soit pratiquée par des novices (Gualtieri *et al.*, 1995 ; Verghese *et al.*, 1999 ; Dodge *et al.*, 2012) ou par des personnes expérimentées (Karakitsos *et al.*, 2006). Nos résultats suggèrent que l'utilité de la

technique échoguidée en termes de réussite pour la PC est plus justifiée si l'opérateur a une expérience préalable en échographie alors que pour la PL la technique échoguidée est utile même si l'opérateur n'a pas d'expérience préalable en échographie.

Les différences des taux de réussite des groupes entre les deux types de ponctions peuvent s'expliquer d'une part par la différence de difficulté technique entre les PC et PL (Oliver, 1997). En effet, le pourcentage de réussite en aveugle était plus élevé en cisternal qu'en lombaire mettant possiblement moins en évidence l'impact de l'échoguidage. D'autre part, le guidage échographique mis en place pour chaque localisation de ponction dans notre étude était différent. Pour la ponction voie haute, la petite fenêtre acoustique cutanée disponible

en regard de la jonction atlanto-occipitale pour la sonde et l'aiguille nous a amené à préférer une méthode échoguidée indirecte. Un guidage échographique direct parasagittal aurait été possible pour visualiser l'aiguille sur des images transversales de la *cisterna magna*. Cependant, à cause de la position parasagittale des sinus veineux, une approche sagittale associée à une technique échoguidée indirecte ont été choisies pour la voie haute. De plus, cette méthode indirecte ne nécessite pas une coordination main-yeux pour placer l'aiguille dans le plan échographique qui est difficile pour les novices en échographie. Pour la PL, à cause de l'importante obliquité des processus épineux lombaires et de la profondeur de l'espace sous-arachnoïdien lombaire, une technique échoguidée directe nous a semblé mieux adaptée, comme décrit par Etienne et collaborateurs (2010). En médecine humaine, une étude portant sur la cathétérisation vasculaire a comparé la technique échoguidée dynamique (directe), statique (indirecte) et en aveugle (Milling *et al.*, 2005). Les résultats démontraient que la méthode échoguidée indirecte était inférieure à la directe mais restait supérieure à la technique aveugle. Nos résultats montrant un bénéfice supérieur de la méthode échoguidée directe (avec la PL) sur le taux de réussite (global et dans les sous-groupes) sont confortés par cette étude humaine.

Dans nos résultats, la variable temps était clairement améliorée grâce à la technique échoguidée indirecte cisternale (dans 2/3 groupes) alors qu'elle ne l'était pas avec la méthode échoguidée directe lombaire (dans 0/3 groupes). Ce résultat peut facilement s'expliquer par la nécessité de coordonner l'introduction de l'aiguille spinale avec sa visualisation sur l'écran par le même opérateur pour la méthode échoguidée directe alors que la méthode échoguidée indirecte ne nécessite que le placement de l'aiguille spinale sans contrôle échographique. Cette coordination main-yeux nécessite du temps qui n'était pas requis pour l'échoguidage cisternal. De plus, nous avons défini que le temps commence quand l'aiguille spinale pénètre la peau du chien comme décrit dans plusieurs études humaines (Miller *et al.*, 2002 ; Grebenik *et al.*, 2004). Cela signifie que le repérage échographique et le marquage des repères cutanés préalables à la ponction cis-

ternale et chronophages ne sont pas comptabilisés. L'association significative entre le temps et la réussite de la ponction démontrée par la régression logistique, quelque soit sa localisation et la méthode utilisée, peut s'expliquer en partie par la limite de temps imposée par l'étude. Une durée longue de la procédure (10 minutes) est associée à un échec alors qu'un temps court (1 à 2 minutes) est associé à une réussite.

Notre étude a démontré un effet positif semblable des méthodes échoguidées par rapport aux méthodes à l'aveugle sur la variable « confiance en soi » dans tous les groupes mais de façon significative dans les groupes contrôle et E-expérience. Ce résultat est semblable à ceux de Fodor et collaborateurs (2007) reportant que la confiance en soi ressentie s'améliorait significativement chez les étudiants utilisant l'échographie. Le guidage échographique pour les ponctions permet à l'opérateur de visualiser l'espace « cible » et les structures anatomiques adjacentes avant (guidage indirect et direct) et pendant (guidage direct) l'insertion de l'aiguille. Ceci permet d'augmenter la confiance en soi ressentie et l'appréciation de la méthode échoguidée.

Dans notre étude, le nombre de tentatives était amélioré avec les techniques échoguidées significativement dans le groupe contrôle et uniquement dans le groupe E-expérience avec la PC. Un nombre de tentatives le plus bas possible est recommandé car la répétition augmente le risque de contamination sanguine du LCR, ce qui risque d'invalider ou rendre difficile l'analyse et l'interprétation des résultats (Aleman *et al.*, 2007) et augmente les chances de créer des lésions iatrogéniques du tronc cérébral pour la PC (Lujan Feliu-Pascual *et al.*, 2008), de la moelle épinière (Kishimoto *et al.*, 2004) et des hémorragies sous-arachnoïdienne intracrânienne pour la PL (Packer *et al.*, 2007). Nos résultats sont en accord avec plusieurs études humaines traitant de la contribution bénéfique du guidage échographique sur le nombre de tentatives chez des opérateurs novices et expérimentés (Denys *et al.*, 1993 ; Verghese *et al.*, 1999 ; Miller *et al.*, 2002 ; Karakitsos *et al.*, 2006). Nos données montrent que même si l'opérateur a une expérience préalable en échographie et

ponction, l'utilisation de la technique échoguidée résulte en une diminution du nombre de tentatives.

Par contre, l'amélioration légère mais non significative des paramètres évalués dans le groupe P+E-expérience avec aucune des 2 méthodes échoguidées s'apparente aux travaux des équipes de Grebenik et collaborateurs (2004) et Tran et collaborateurs (2010) montrant que la méthode échoguidée n'apportait pas de bénéfice significatif sur le taux de réussite, le temps de réalisation, le nombre de tentatives et le taux de complication par rapport à la méthode traditionnelle chez les opérateurs expérimentés. L'obtention d'une tendance dans ce groupe et non d'un résultat significatif peut être mieux investigué au moyen d'études supplémentaires avec un nombre d'opérateurs P+E-expérience plus grand et des cadavres de chiens jugés difficiles à ponctionner à l'aveugle (animaux avec un haut score d'embonpoint ou des anomalies vertébrales).

D'après les réponses aux questionnaires, la méthode favorite pour réaliser une PC ou une PL restait significativement la méthode échoguidée et ce de façon semblable entre la PC et la PL. De plus, le pourcentage d'opérateurs qui utiliseraient la méthode échoguidée pour leur prochaine ponction était plus élevé que le pourcentage d'opérateurs qui préférerait la méthode échoguidée (PC : 84 % vs 63 % et PL : 90 % vs 68 %). Ce choix de la méthode échoguidée pour la prochaine ponction malgré une préférence pour la méthode en aveugle est plus marqué avec la PL. Ce constat peut s'expliquer par la plus grande difficulté technique de la PL qui engendrerait une plus grande préférence pour la méthode échoguidée lombaire.

Nos résultats ont montré que les principales causes d'échec ressenties par les opérateurs des méthodes échoguidées sont différentes selon le site de ponction. Les principales causes observées sont directement corrélées à la nature (directe ou indirecte) du guidage échographique. En effet, pour la PC indirecte, une fois la sonde échographique retirée et les repères marqués au feutre sur le cadavre, la peau du chien ne doit plus bouger afin que les repères restent valides, comme décrit sur chiens vivants pour le guidage

indirect (Nyland et Mattoon, 2002). Une des causes principales d'échec est donc les mouvements de la peau du cadavre générés par la rotation de la sonde échographique. Lors du repérage de la *cisterna magna* et du marquage des repères, la sonde échographique doit être légèrement soulevée afin qu'elle ne tire pas sur la peau. L'échoguidage direct nécessite distinctement une bonne coordination main-yeux ainsi qu'une capacité psychomotrice (Magee *et al.*, 2007). Le défaut de ces deux qualités est cité comme causes récurrentes d'échec. De plus, comme démontré dans l'étude de Nielsen (Nielsen *et al.*, 2003) avec les injections échoguidées intra-articulaires cervicales chez les chevaux, la précision de l'injection échoguidée est significativement associée à l'expérience de l'opérateur.

Nos résultats doivent être interprétés en gardant à l'esprit les limites de cette étude. La réalisation des PC et PL sur cadavres et donc l'absence d'obtention de LCR ont conduit à adapter le contrôle du placement correct de l'aiguille spinale. La méthode de contrôle alternative pour la PL semblable à celle employée dans l'étude de Nielsen et collaborateurs (Nielsen *et al.*, 2003), consiste à injecter du produit de contraste iodé dans l'aiguille spinale en place afin de contrôler radiographiquement le marquage de l'espace sous arachnoïdien. Le contrôle du placement de l'aiguille spinale dans la *cisterna magna* est plus aisé et rapide grâce à la visualisation échographique directe de l'aiguille dans la citerne. Toutefois, la PC était considérée réussie malgré un enfoncement de l'aiguille spinale trop important dans la *cisterna magna*. En effet, cette étude *ex vivo* ne permet pas l'obtention de LCR ni la sensation de « pop » lors du passage des tissus fibreux (Dewey, 2003) qui sont selon les auteurs deux critères essentiels à l'arrêt de l'enfoncement de l'aiguille spinale lors d'une PC.

À cause du nombre limité de cadavres disponibles, les opérateurs de cette étude n'ont pas eu un entraînement pratique mais juste une démonstration pratique par un opérateur expérimenté et un exposé sur les principes généraux des ultrasons et de l'échoguidage, reconnues comme primordiaux à l'apprentissage des procédures échoguidées (Belbachir *et al.*, 2012).

Chaque opérateur ne réalisa qu'une fois chaque technique de ponction toujours dans le même ordre : la technique aveugle en premier puis échoguidée pour le même site de ponction. La réalisation de la technique aveugle en premier peut influencer les résultats comme étant déjà de l'entraînement « pratique » pour la technique échoguidée. Or dans cette étude ce sont les méthodes échoguidées qui sont comparées entre elles et non les méthodes à l'aveugle avec les méthodes échoguidées. Si les deux méthodes échoguidées ont été réalisées après la méthode à l'aveugle, elles « contiennent » toutes les deux le même biais et donc peuvent être comparées entre elles. De plus, la limite de cinq techniques antérieures déjà réalisée (PC ou PL ou échographie ou échoguidage) et non une seule, a été fixée pour distinguer les opérateurs « expérimentés » de ceux « non expérimentés ».

Finalement, le nombre d'opérateurs dans les quatre sous-groupes est inhomogène : 46 pour les groupes contrôle, 2 pour les groupes P-expérience, 26 et 27 pour les groupes E-expérience en PC et PL respectivement et 9 et 8 pour les groupes P+E-expérience en PC et PL respectivement. La petite taille du groupe P-expérience ne permet pas son inclusion dans l'analyse statistique et a rendu impossible, via cette étude, une estimation du taux de réussite des ponctions à l'aveugle chez des opérateurs expérimentés en ponction uniquement. À cause du manque de données disponibles dans la littérature sur les taux de réussite à l'aveugle des PL et PC chez le chien, il est impossible de savoir si le guidage échographique direct et indirect peut être suggéré pour toutes les ponctions dans un contexte clinique ou plutôt comme une modalité de « secours » lors de ponctions difficiles, comme suggéré dans des études humaines (Bauman *et al.*, 2009 ; Benkhadra *et al.*, 2012 ; Egan *et al.*, 2013).

Nos résultats montrent que les effets positifs du guidage échographique sur le taux de réussite sont plus visibles avec la PL que l'opérateur soit expérimenté ou non. Par contre, les effets bénéfiques du guidage échographique cisternal sont plus évidents sur l'acte technique de la ponction pour les opérateurs novices et expérimentés. Cette étude démontre que l'échoguidage direct pour la PL et indirect pour

la PC après un court enseignement théorique, peut être appliqué par des opérateurs inexpérimentés et avoir un impact significativement positif sur leurs performances. Ce résultat supporte l'utilisation du guidage échographique à des fins d'apprentissage.

Comparison of the effect of ultrasound guidance on cerebrospinal fluid punctures between cisternal and lumbar locations in the dog: an ex-vivo study

The ultrasound-guided needle placements for cisternal and lumbar canine puncture have been described. The aim of this work was to compare the effect of ultrasound guidance for cerebrospinal fluid puncture between cisternal and lumbar locations.

Eighty-three operators participated to the study. They were classified in 4 groups based on their experience. Each operator had a short theoretical teaching about each technique and then performed the blind and the ultrasound-guided cisternal and lumbar punctures on randomized cadavers. The lumbar ultrasound guidance was direct while the cisternal was indirect. After the procedures volunteers filled-in a questionnaire about their previous experience, their performance and their self-confidence.

Ultrasound-guidance increased significantly the total success rate of the puncture (compared to the blind technique) but more clearly with the lumbar location. Cisternal ultrasound guidance improved significantly the number of attempts, time and self-confidence in inexperienced and experienced operators. The first mentioned cause of failure was different according to location and was related to the nature of guidance.

This study demonstrates that inexperienced operators were able to realize ultrasound-guided puncture after a short theoretical teaching and this supports the use of ultrasound-guidance for learning purposes.

BIBLIOGRAPHIE

- ADAMS W.M. Myelography. *Vet. Clin. North Am. Small Anim. Pract.*, 1982, **12**, 295-311.
- ALEMAN M., BORCHERS A., KASS P.H., PUCHALSKI S.M. Ultrasound-assisted collection of cerebrospinal fluid from the lumbosacral space in equids. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 2007, **230**, 378-384.
- AUDIGIE F., TAPPREST J., DIDIERLAURENT D., DENOIX J.M. Ultrasound-guided atlanto-occipital puncture for myelography in the horse. *Vet. Radiol. Ultrasound*, 2004, **45**, 340-344.
- BAGLEY R.S. Options for diagnostic testing in animals with neurologic disease. In : Bagley R.S., *Fundamentals of Veterinary Clinical Neurology*. Blackwell Publishing Professional : Oxford, 2005, 207-238.
- BAUMAN M., BRAUDE D., CRANDALL C. Ultrasound-guidance vs. standard technique in difficult vascular access patients by ED technicians. *Am. J. Emerg. Med.*, 2009, **27**, 135-140.
- BELBACHIR A., BINHAS M., NOUETTE-GAULAIN K., BOCCARA G., CARLES M. Échographie : enseignement. *Ann. Fr. Anesth. Reanim.*, 2012, **31**, 179-183.
- BENKHADRAM., COLLIGNON M., FOURNEL I., OEUVRARD C., ROLLIN P., PERRIN M., VOLOT F., GIRARD C. Ultrasound guidance allows faster peripheral IV cannulation in children under 3 years of age with difficult venous access: a prospective randomized study. *Paediatr. Anaesth.*, 2012, **22**, 449-454.
- BLOOM J.E., RISCHIN, A., JOHNSTON, R. V., BUCHBINDER, R. Image-guided versus blind glucocorticoid injection for shoulder pain. *Cochrane Database Syst. Rev.*, 2012, **8**, CD009147.
- BROKING K., WAURICK R. How to teach regional anesthesia. *Curr. Opin. Anaesthesiol.*, 2006, **19**, 526-530.
- CAPALBO E., PELI M., LOVISATTI M., COSENTINO M., TICHA V., CARIATI M., CORNALBA G. Placement of port-a-cath through the right internal jugular vein under ultrasound guidance. *Radiol. Med.*, 2013, **118**, 608-15.
- CHAMBERLIN S.C., SULLIVAN L.A., MORLEY P.S., BOSCAN P. Evaluation of ultrasound-guided vascular access in dogs. *J. Vet. Emerg. Crit. Care*, 2013, **23**, 498-503.
- DENYS B.G., URETSKY B.F., REDDY P.S. Ultrasound-assisted cannulation of the internal jugular vein. A prospective comparison to the external landmark-guided technique. *Circulation*, 1993, **87**, 1557-1562.
- DEWEY C.W. A practical guide to canine and feline neurology. Blackwell Publishing Company : Ames, 2003, 642 p.
- DI TERLIZZI R., PLATT S.R. The function, composition and analysis of cerebrospinal fluid in companion animals: part II - analysis. *Vet. J.*, 2009, **180**, 15-32.
- DODGE K.L., LYNCH C.A., MOORE C.L., BIROSCAK B.J., EVANS L.V. Use of ultrasound guidance improves central venous catheter insertion success rates among junior residents. *J. Ultrasound Med.*, 2012, **31**, 1519-1526.
- EGAN G., HEALY D., O'NEILL H., CLARKE-MOLONEY M., GRACE P.A., WALSH S.R. Ultrasound guidance for difficult peripheral venous access: systematic review and meta-analysis. *Emerg. Med. J.*, 2013, **30**, 521-526.
- ELIAS A., BROWN C. Cerebellomedullary cerebrospinal fluid collection in the dog. *Lab. Anim.*, 2008, **37**, 457-458.
- ETIENNE A.L., PEETERS D., BUSONI V. Ultrasonographic percutaneous anatomy of the caudal lumbar region and ultrasound-guided lumbar puncture in the dog. *Vet. Radiol. Ultrasound*, 2010, **51**, 527-532.
- ETIENNE A.L., AUDIGIE F., PEETERS D., GABRIEL A., BUSONI V. Ultrasonographic percutaneous anatomy of the atlanto-occipital region and indirect ultrasound-guided cisternal puncture in the dog and the cat. *Anat. Histol. Embryol.*, 2015, **44**, 92-8.
- FERRE R.M., SWEENEY T.W. Emergency physicians can easily obtain ultrasound images of anatomical landmarks relevant to lumbar puncture. *Am. J. Emerg. Med.*, 2007, **25**, 291-296.
- FODOR D., BADEA R., POANTA L., DUMITRASCU D.L., BUZOIANU A.D., MIRCEA P.A. The use of ultrasonography in learning clinical examination - a pilot study involving third year medical students. *Med. Ultrason.*, 2007, **14**, 177-181.
- GRAUT., LEIPOLD R.W., CONRADI R., MARTIN E., MOTSCH J. Efficacy of ultrasound imaging in obstetric epidural anesthesia. *J. Clin. Anesth.*, 2002, **14**, 169-175.
- GREBENIK C.R., BOYCE A., SINCLAIR M.E., EVANS R.D., MASON D.G., MARTIN B. NICE guidelines for central venous catheterization in children. Is the evidence base sufficient? *Br. J. Anaesth.*, 2004, **92**, 827-830.
- GREGORI T., VISCASILLAS J., BENIGNI L. Ultrasonographic anatomy of the sacrococcygeal region and ultrasound-guided epidural injection at the sacrococcygeal space in dogs. *Vet. Rec.*, 2014, **175**, 68.
- GREHER M., SCHARBERT G., KAMOLZ L.P., BECK H., GUSTORFF B., KIRCHMAIR L., KAPRAL S. Ultrasound-guided lumbar facet nerve

- block: a sonoanatomic study of a new methodologic approach. *Anesthesiology*, 2004, **100**, 1242-1248.
- GUALTIERI E., DEPPE S.A., SIPPERLY M.E., THOMPSON D.R. Subclavian venous catheterization: greater success rate for less experienced operators using ultrasound guidance. *Crit. Care Med.*, 1995, **23**, 692-697.
- KARAKITSOS D., LABROPOULOS N., DE GROOT E., PATRIANAKOS A.P., KOURAKLIS G., POULARAS J., SAMONIS G., TSOUTSOS D.A., KONSTADOULAKIS M.M., KARABINIS A. Real-time ultrasound-guided catheterisation of the internal jugular vein: a prospective comparison with the landmark technique in critical care patients. *Crit. Care*, 2006, **10**, R162.
- KISHIMOTO M., YAMADA K., UENO H., KOBAYASHI Y., WISNER E.R. Spinal cord effects from lumbar myelographic injection technique in the dog. *J. Vet. Med. Sci.*, 2004, **66**, 67-69.
- KOSCIELNIAK-NIELSEN Z.J., DAHL J.B. Ultrasound-guided peripheral nerve blockade of the upper extremity. *Curr. Opin. Anaesthesiol.*, 2012, **25**, 253-259.
- LIOTTAA., BUSONIV., CARROZZO M.V., SANDERSEN C., GABRIEL A., BOLEN G. Feasibility of ultrasound-guided epidural access at the lumbo-sacral space in dogs. *Vet. Radiol. Ultrasound*, 2015, **56**, 220-8.
- LUJAN FELIU-PASCUAL A., GAROSIL., DENNIS R., PLATT S. Iatrogenic brainstem injury during cerebellomedullary cistern puncture. *Vet. Radiol. Ultrasound*, 2008, **49**, 467-471.
- MAECKEN T., GRAU T. Ultrasound imaging in vascular access. *Crit. Care Med.*, 2007, **35**, S178-185.
- MAGEE D., ZHU Y., RATNALINGAMR., GARDNER P., KESSEL D. An augmented reality simulator for ultrasound guided needle placement training. *Med. Biol. Eng. Comput.*, 2007, **45**, 957-967.
- MILLER A.H., ROTH B.A., MILLS T.J., WOODY J.R., LONGMOOR C.E., FOSTER B. Ultrasound guidance versus the landmark technique for the placement of central venous catheters in the emergency department. *Acad. Emerg. Med.*, 2002, **9**, 800-805.
- MILLING T.J., JR., ROSE J., BRIGGS W.M., BIRKHAHN R., GAETA T.J., BOVE J.J., MELNIKER L.A. Randomized, controlled clinical trial of point-of-care limited ultrasonography assistance of central venous cannulation: the Third Sonography Outcomes Assessment Program (SOAP-3) Trial. *Crit. Care Med.*, 2005, **33**, 1764-1769.
- NIELSEN J.V., BERG L.C., THOEFNERT M.B., THOMSEN P.D. Accuracy of ultrasound-guided intra-articular injection of cervical facet joints in horses: a cadaveric study. *Equine Vet. J.*, 2003, **35**, 657-661.
- NYLAND T.G., MATTOON J.S. Ultrasound-guided biopsy. In: Nyland T.G., Mattoon J.S. (Eds), *Small animal diagnostic ultrasound*. Saunders: Philadelphia, 2002, 30-48.
- O'LEARY R., AHMED S.M., MCLURE H., ORAM J., MALLICK A., BHAMBRA B., BODENHAM A.R. Ultrasound-guided infraclavicular axillary vein cannulation: a useful alternative to the internal jugular vein. *Br. J. Anaesth.*, 2012, **109**, 762-768.
- OLIVER J.E., LORENZ, M.D. Confirming a diagnosis. In: Oliver J.E., Lorenz M.D., *Handbook of veterinary neurology*. Saunders: Philadelphia, 1997, 89-108.
- PACKER R.A., BERGMAN R.L., COATES J.R., ESSMAN S.C., WEIS K., O'BRIEN D.P., JOHNSON G.C. Intracranial subarachnoid hemorrhage following lumbar myelography in two dogs. *Vet. Radiol. Ultrasound*, 2007, **48**, 323-327.
- PEASE A., BEHAN A., BOHART G. Ultrasound-guided cervical centesis to obtain cerebrospinal fluid in the standing horse. *Vet. Radiol. Ultrasound*, 2012, **53**, 92-95.
- PETERSON M.A., ABELE J. Bedside ultrasound for difficult lumbar puncture. *J. Emerg. Med.*, 2005, **28**, 197-200.
- ROBERTSON I., THRALL D.E. Imaging dogs with suspected disc herniation: pros and cons of myelography, computed tomography, and magnetic resonance. *Vet. Radiol. Ultrasound*, 2011, **52**, S81-84.
- SHIMIZU J., YAMADA K., MOCHIDA K., KAKO T., MUROYA N., TERATANI Y., KISHIMOTO M., LEE K., IWASAKI T., MIYAKE Y. Comparison of the diagnosis of intervertebral disc herniation in dogs by CT before and after contrast enhancement of the subarachnoid space. *Vet. Rec.*, 2009, **165**, 200-202.
- STRONY R. Ultrasound-assisted lumbar puncture in obese patients. *Crit. Care Clin.*, 2010, **26**, 661-664.
- THATCHER C.D., HAND M.S., REMILLARD R.L. Small animal clinical nutrition: an iterative process. In: Hand M.S., Thatcher C.D. Remillard R.L., Roudebush P., Novotny B.J. (Eds), *Small animal clinical nutrition*. 5th ed. Mark Morris Institute: Topeka, 2010, 3-20.
- THOMSON C.E., KORNEGAY J.N., STEVENS J.B. Analysis of cerebrospinal fluid from the cerebellomedullary and lumbar cisterns of dogs with focal neurologic disease: 145 cases (1985-1987). *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 1990, **196**, 1841-1844.
- TIPOLD A. Cerebrospinal Fluid. In: Braund K.G. (Ed.), *Clinical neurology in small animals - Localization, diagnosis and treatment [en ligne]* (2003) Adresse URL: http://www.ivis.org/special_books/Braund/tipold/ivis.pdf?q=cerebrospinal, consulté le 17/09/2009.

DISCUSSION, CONCLUSIONS GENERALES ET PERSPECTIVES

I. Discussion

Bien que les ponctions de l'ESA chez le chien soient des procédures réalisées fréquemment en médecine vétérinaire, aucune information n'existe sur leur taux de réussite et l'existence de méthodes alternatives à leur réalisation en cas d'échec. A l'inverse, en médecine humaine les ponctions sous-arachnoïdiennes échoguidées connaissent un intérêt et un essor importants pour pallier aux échecs des méthodes à l'« aveugle » (Peterson et Abele, 2005; Ferre et Sweeney, 2007; Stiffler *et al.*, 2007).

Les principaux objectifs de ce travail étaient de mettre au point des méthodes échoguidées de placement d'aiguille spinale dans l'ESA chez le chien et d'évaluer l'impact (bénéfices et inconvénients) de ces méthodes alternatives par rapport aux méthodes à l'« aveugle ».

Les Etudes I et II nous ont permis de répondre aux deux premiers objectifs, à savoir mettre au point des techniques échoguidées de placement d'aiguille spinale dans l'ESA lombaire et cisternal chez le chien. Pour ces deux études, une étape préalable et indispensable a été d'étudier l'anatomie échographique des régions concernées sur des cadavres de chiens afin de comprendre pleinement les images échographiques et de tester la technique échoguidée avant son application *in-vivo*. Comme rapporté en médecine humaine, une description et une connaissance détaillées des structures anatomiques lombaires constituent une base nécessaire à l'application d'une technique de ponction sous-arachnoïdienne lombaire (Boon *et al.*, 2004; Greher *et al.*, 2004; Ferre et Sweeney, 2007; Stiffler *et al.*, 2007). L'anatomie échographique de la jonction crânio-cervicale a été décrite chez des chiens brachycéphales anesthésiés (Schmidt *et al.*, 2008) et nos résultats sont similaires. Les seules différences entre les 2 études sont que les chiens utilisés dans l'Etude II de ce travail étaient éveillés et n'appartenaient pas à des races brachycéphales. Ceci aurait pu être la base de différences morphologiques dans la description anatomique ou de différences liées au positionnement de l'articulation atlanto-occipitale, potentiellement plus en flexion chez les chiens anesthésiés. Néanmoins, comme le but de l'Etude II était de poser les bases des connaissances nécessaires

à l'échoguidage et pas de collecter des mesures, aucune différence remarquable modifiant les repères utiles à la technique de ponction n'a été mise en évidence. L'application de cette connaissance échographique des structures anatomiques de la région atlanto-occipitale permet l'identification de potentielle anomalie locale comme une hernie caudale du cervelet chez les chiens avec un syndrome de malformation occipitale caudale (Schmidt *et al.*, 2008) et est donc aussi un outil intéressant de dépistage pour évaluer si le chien est un bon candidat pour une ponction de LCR par voie cisternale. En effet, dans le cas de malformation occipitale la ponction dans la *cisterna magna* est contre indiquée à cause du risque accru de ponction cérébelleuse.

Les techniques échoguidées indirectes (Ferre et Sweeney, 2007; Stiffler *et al.*, 2007; Strony, 2010; Shaikh *et al.*, 2013) et directes (Grau *et al.*, 2004; Willschke *et al.*, 2006; Willschke *et al.*, 2007) appliquées aux ponctions lombaires de l'ESA chez l'homme sont couramment utilisées et largement décrites. A cause des nombreux reliefs osseux de la région lombaire caudale et de la grande obliquité des processus épineux du chien, des images optimales de la région lombaire caudale sont difficiles à obtenir contrairement à l'homme. Chez les chiens de petite race et race miniature, un artéfact d'épaisseur de coupe a été observé rendant des structures visibles à l'écran sur un même plan « erroné ». Cet artéfact s'éliminant en bougeant légèrement la sonde échographique (Drost, 2013). Un guidage indirect semblait alors difficile à appliquer et un guidage direct a été testé. Cette technique d'échoguidage direct du rachis d'application en neurologie canine a été la première décrite pour une ponction sous-arachnoïdienne et a ouvert le domaine à une série de publications décrivant des techniques échoguidées directes pour les injections et placement de cathéters épiduraux (Gregori *et al.*, 2014; Liotta *et al.*, 2015; Viscasillas *et al.*, 2014) et pour le placement d'aiguille dans le canal vertébral (Viscasillas *et al.*, 2015). A l'opposé, la *cisterna magna* ayant une localisation assez superficielle par rapport à la surface cutanée (comme démontré dans l'Etude II), sans relief osseux la recouvrant dorsalement lors de la flexion de l'articulation atlanto-occipitale mais avec une fenêtre acoustique restreinte, se prêtait plus facilement à un guidage échographique indirect qui a été testé. Aussi, une technique directe parasagittale aurait pu être évaluée dans cette Etude II mais la position parasagittale des sinus veineux latéraux nous a fait préférer une méthode sagittale, afin d'éviter au maximum une contamination iatrogène du LCR par du sang. Sur le plan sagittal, l'axe de l'aiguille devant être perpendiculaire à la peau pour une

approche correcte des méninges, l'utilisation d'une technique de guidage direct semblait plus difficile étant donné la petite surface disponible.

Dans l'Etude I principalement, une hyperatténuation des ultrasons par la graisse (du tissu sous-cutané et entre les fibres musculaires) a été observée chez les animaux avec un certain état d'embonpoint à cause d'importantes réflexions. Cette constatation a été observée aussi en médecine humaine (Ferre et Sweeney, 2007; Stiffler *et al.*, 2007; Ferre *et al.*, 2009) et peut potentiellement compromettre l'applicabilité de la technique chez les patients obèses. Cependant, en médecine humaine, Ferre et collaborateurs rapportèrent un taux de réussite de 92% pour cette méthode dans une étude plus tardive, quel que soit l'embonpoint du sujet (Ferre *et al.*, 2009), alors que Nomura et collaborateurs ont publié un taux de réussite de 100% chez des patients obèses (Nomura *et al.*, 2007). Plus récemment, en médecine vétérinaire, Liotta et collaborateurs ont utilisé 2 cadavres de chiens obèses pour les injections échoguidées épidurales et ont rapporté une plus grande difficulté à appliquer la technique échoguidée chez ces sujets. Leur taux de réussite sur ces cadavres obèses était cependant de 100% (Liotta *et al.*, 2015).

Lors de l'application de la technique échoguidée lombaire dans des conditions cliniques pour la réalisation d'une myélographie ou d'un myéloscanner (dont certains patients de l'Etude I), une contamination épidurale variable a été également observée, comme décrit lors des méthodes à l'« aveugle » et par fluoroscopie (Jones, 2004; Olby et Thrall, 2014). En effet, la fuite de contraste dans l'espace épidural apparaît habituellement à partir du site de ponction de l'ESA, le long de l'aiguille spinale, suivant le trajet de moindre résistance vers l'espace épidural (Kirberger et Wrigley, 1993; Kirberger, 1994). La contamination épidurale observée sur les cas cliniques avec injection échoguidée de contraste n'a pas fait l'objet d'études statistiques mais ne semble pas différente de celle remarquée avec les méthodes à l'« aveugle » et par fluoroscopie.

La possibilité de visualiser l'aiguille spinale durant la procédure échoguidée directe (Etude I) permet de diriger sa trajectoire vers l'espace cible. Cependant, la finesse de l'aiguille spinale la rend difficile à visualiser lors de la technique et elle doit donc être parfaitement maintenue dans le plan du champ de vision étroit de la sonde au risque de ne voir qu'un petit mouvement indirect des tissus traversés. Pour éviter ce désagrément, la technique pourrait être réalisée avec un « guide-aiguille » attaché à la sonde. Toutefois avec ce support, l'angle et la distance par rapport à la sonde avec lesquels l'aiguille est insérée sont fixes et les mouvements de

l'aiguille limités. C'est pourquoi, la technique en « main libre » a été préférée et appliquée dans l'Etude I, car la grande liberté d'insertion par rapport à la sonde échographique et la capacité de rediriger l'aiguille au besoin étaient considérées nécessaires pour introduire efficacement l'aiguille dans le petit espace cible. Afin d'améliorer sa visibilité, l'échogénicité de l'aiguille peut être améliorée en abrasant la surface de l'aiguille avec une lime métallique pour augmenter les réflexions de la surface de l'aiguille ou en utilisant une aiguille hautement réfléchive (aiguille recouverte d'une couche de Téflon) (Audigie *et al.*, 2004). Toutefois, la première solution d'abrasion présente un risque d'introduction de fragments métalliques dans l'ESA lors de ponctions lombaires et donc n'est pas recommandée *in-vivo*. Plus innovant, un logiciel augmentant la brillance et donc la visibilité de l'aiguille sur l'écran de l'échographe (SonoSite[®], Inc, WA, USA) a facilité et augmenté le taux de réussite de blocs nerveux sur des cadavres de chiens avec des opérateurs inexpérimentés et pourrait donc être utilisé efficacement aussi pour les ponctions lombaires (Viscasillas *et al.*, 2013). De même, en médecine humaine, un système innovant de suivi en temps réel de la pointe de l'aiguille sur l'écran de l'échographe (le SonixGPS[®]) a été appliqué avec succès pour des anesthésies spinales dans des conditions cliniques (Brinkmann *et al.*, 2013; Niazi *et al.*, 2014).

Les types d'aiguille utilisées pour une ponction sous-arachnoïdienne chez l'homme sont l'aiguille atraumatique (Sprotte ou Pajunk) et l'aiguille standard (Quincke) (**Figure 16**). L'usage de cette dernière a été beaucoup débattu suite à l'incidence élevée de céphalées post-ponction (Straus *et al.*, 2006; Arendt *et al.*, 2009).



Figure 16. Photographie de deux types de biseaux d'aiguilles : atraumatique (non coupante) à gauche et spinale-traumatique (coupante) avec biseau de Quincke à droite. D'après Davis et collaborateurs, *Atraumatic needles for lumbar puncture: why haven't neurologists changed? Pract. Neurol.*, 2016, **16**, 18–22.

Les aiguilles atraumatiques sont celles recommandées par l'Académie Américaine de Neurologie afin de diminuer le risque de maux de tête après ponction (Armon et Evans, 2005). Des études similaires n'existent pas en médecine vétérinaire. Dans le présent travail, seules des aiguilles spinales avec biseau de Quincke ont été utilisées car ce sont les plus utilisées actuellement et la comparaison des aiguilles dépassait les objectifs de ce travail. La longueur de l'aiguille spinale nécessaire pour réaliser une ponction doit être par contre bien évaluée et établie en fonction des mesures obtenues à l'échographie de repérage (distance entre la surface cutanée et le milieu de l'espace cible). En effet, une étude en médecine humaine a démontré que, chez les patients obèses, une longueur « classique » d'aiguille spinale peut être trop courte et devenir une cause d'échec (Halpenny *et al.*, 2013). Par rapport au guidage indirect utilisé en médecine humaine, l'avantage de la technique directe décrite dans l'Etude I est la prise de conscience en temps réel de la longueur trop faible de l'aiguille qui n'arrive pas à atteindre la cible (ou qui la dépasse de trop peu). Ceci permet ainsi rapidement le remplacement par une aiguille plus longue.

L'identification échographique percutanée des structures anatomiques pertinentes de la région lombaire du chien dépend surtout de 2 principaux facteurs : la morphologie du chien et l'opérateur. Dans l'Etude I, deux puis trois opérateurs expérimentés en échographie ont obtenu les images *in-vivo* et ont réalisé les ponctions lombaires échoguidées respectivement. Bien que non testée statistiquement, la répétabilité du repérage et de la réalisation de la technique échoguidée peut donc être supposée grâce à cette Etude I.

L'Etude III et partiellement l'Etude IV ont évalué davantage « l'effet » de l'opérateur et de l'animal sur la réalisation des ponctions échoguidées. L'Etude III a permis de répondre au cinquième objectif à savoir créer et valider le modèle « cadavre » de chien pour le placement de l'aiguille spinale dans l'ESA lombaire. Les compétences techniques nécessaires à la réalisation d'une ponction lombaire peuvent être difficiles à enseigner, tout comme la sensation lors du passage à travers les différentes couches de tissus par l'aiguille spinale est difficile à décrire. L'entraînement pratique des ponctions lombaires sur chiens vivants anesthésiés est inconcevable pour des raisons évidentes d'éthique et par conséquent un modèle cadavérique canin a été choisi dans l'Etude III. L'avantage d'un entraînement préalable sur cadavres ou simulateurs avant la réalisation de la procédure dans des conditions cliniques est supposé réduire le stress de l'opérateur novice tout en lui offrant un entraînement manuel réaliste non théorique (Broking et Waurick, 2006; Narouze *et al.*, 2012). Le modèle cadavre canin a été validé par des opérateurs expérimentés en ponctions lombaires qui considéraient que les cadavres frais offraient une anatomie réaliste et une consistance des tissus semblable à celle des tissus vivants, comme décrit en médecine humaine (Ocel *et al.*). De manière similaire à notre travail, plusieurs articles chez l'homme supportent l'utilisation de cadavres comme modèles d'enseignement pour acquérir une connaissance détaillée de l'anatomie régionale pertinente, incluant l'anatomie échographique spécifique, dans le but de faciliter l'identification des structures et d'acquérir une expertise et une confiance en soi dans la réalisation des procédures échoguidées interventionnelles (Broking et Waurick, 2006; Kessler *et al.*, 2014a). Plus spécifiquement pour les ponctions lombaires, un cadavre congelé frais est considéré fournir un environnement plus réaliste qu'un modèle de mannequin typique (Ocel *et al.*, 2006). Cependant, même si les cadavres de chiens frais peuvent être considérés comme un outil valide d'enseignement et d'entraînement pour le placement de l'aiguille spinale dans l'ESA lombaire, la sensation exacte *in-vivo* du passage des couches de tissus, des réactions de l'animal (comme le soubresaut de la queue ou des membres postérieurs, la sensation de « pop » lors de l'entrée dans l'ESA), l'obtention éventuelle de LCR et/ou de sang peuvent être expérimentés et sentis uniquement *in-vivo* sur animaux anesthésiés.

L'Etude III a répondu au quatrième objectif : comparer, sur un modèle cadavre, les techniques de guidage échographique direct et par palpation (à l'« aveugle ») pour le placement de l'aiguille spinale dans l'ESA lombaire de chiens par des opérateurs novices en

échographie et en ponction lombaire. Pour élargir l'analyse de l'Etude III, l'Etude IV a pris en considération des opérateurs avec des degrés d'expérience différents et comparé l'impact de l'échoguidage selon les localisations des ponctions (cisternal versus lombaire) tout en restant dans le même contexte *ex-vivo*. Elle répondit ainsi au cinquième objectif de ce travail.

Les Etudes III et IV ont démontré la faisabilité, par des opérateurs novices, de la méthode échoguidée directe pour le placement de l'aiguille dans l'ESA lombaire (Etude III) et indirecte pour la localisation cisternale (Etude IV), sur des cadavres de chiens, après une formation théorique, tout en y apportant un impact positif par rapport à la méthode par palpation. En effet, la technique échoguidée lombaire directe et la technique échoguidée cisternale indirecte améliorent le taux de réussite du placement de l'aiguille dans l'ESA par rapport à la technique par palpation dans l'ensemble du groupe d'opérateurs. Ces résultats sont en accord avec des études en médecine humaine sur les ponctions spinales et épidurales lombaires qui montrent que le guidage échographique (qu'il soit indirect ou direct) améliore le taux de réussite par rapport à des méthodes à l'« aveugle » chez des opérateurs de degrés d'expérience différents (Grau *et al.*, 2004, 2003; Willschke *et al.*, 2007, 2006; Nomura *et al.*, 2007; Strony, 2010). Plus précisément, la technique échoguidée lombaire directe améliore le taux de réussite chez les opérateurs novices (Etudes III et IV) et expérimentés en échographie/échoguidage (E-expérience) tandis que la technique échoguidée cisternale indirecte ne l'améliore que chez les opérateurs expérimentés en échographie/échoguidage (Etude IV). Cette différence d'impact entre les techniques échoguidées peut s'expliquer en partie par la différence de difficulté technique entre les ponctions cisternales et lombaires (Oliver et Lorenz, 1997). En effet, le pourcentage de réussite à l'« aveugle » était plus élevé pour les ponctions cisternales que pour les ponctions lombaires mettant possiblement moins en évidence l'impact de l'échoguidage dans le premier cas. D'autre part, la nature du guidage échographique était différente selon la localisation de la ponction : indirecte en région atlanto-occipitale et directe, « dans le plan », en région lombaire. La technique échoguidée cisternale indirecte permet une visualisation et une localisation exacte de la *cisterna magna* et de ses structures anatomiques adjacentes avant la ponction mais ne nécessite ni d'une dextérité manuelle supplémentaire pour manipuler en même temps la sonde et l'aiguille ni d'une coordination main-cerveau. Dans le guidage indirect, les repères marqués sur la peau du patient après le retrait de la sonde n'indiquent pas l'angle avec lequel l'aiguille spinale doit être insérée et ce dernier ne peut être estimé que par la position de la sonde échographique

donnant une image optimale de la *cisterna magna* (Chin *et al.*, 2011a). Cette évaluation indirecte est probablement plus aisée pour un opérateur expérimenté en échographie et guidage échographique. La technique échoguidée lombaire directe permet une visualisation simultanée de l'espace « cible », de ses structures adjacentes et de l'aiguille durant toute la procédure mais nécessite des compétences manuelles et de coordination main-cerveau plus importantes. Même avec cette technicité importante, nos résultats démontrent un bénéfice supérieur en terme de réussite de la technique échoguidée directe lombaire y compris chez les opérateurs novices. Ceci est semblable à une étude en médecine humaine sur les taux de réussite de cathétérisation vasculaire montrant que la méthode échoguidée indirecte était supérieure à la méthode à l'« aveugle » et restait inférieure au guidage direct (Milling *et al.*, 2005).

Avec un entraînement minimal et similaire dans les 4 techniques de ponctions les résultats de ces Etudes III et IV suggèrent une courbe d'apprentissage rapide avec la méthode échoguidée, tandis qu'un entraînement plus intensif semble requis pour la technique à l'« aveugle ». Ce même impact positif a été suggéré en médecine humaine sur le processus d'apprentissage de l'anesthésie neuraxiale (Grau *et al.*, 2003; Perlas, 2010; Kessler *et al.*, 2014b).

Le guidage échographique sur cadavres de chiens diminue également significativement le nombre de tentatives pour le placement de l'aiguille en position sous-arachnoïdienne cisternale et lombaire chez les novices. Cet effet est uniquement rencontré lors du guidage indirect pour la ponction cisternale chez le groupe expérimenté en échographie et échoguidage. La diminution du nombre de tentatives est très appréciée dans les conditions cliniques où ce nombre doit être le plus faible possible pour minimiser le risque de contamination iatrogène du LCR par du sang (Aleman *et al.*, 2007; Di Terlizzi et Platt, 2009). Ce bénéfice permettrait aussi la diminution du risque de créer des lésions iatrogènes du tronc cérébral pour la ponction cisternale (Lujan Feliu-Pascual *et al.*, 2008) et de la moelle épinière pour la ponction lombaire (Kishimoto *et al.*, 2004) et de provoquer des hémorragies sous-arachnoïdiennes intracrâniennes toujours pour la ponction lombaire (Packer *et al.*, 2007).

Comme décrit dans des études de médecine humaine (Kim et Adler, 2014; Restrepo *et al.*, 2015) même dans un contexte *ex-vivo* et indépendamment du taux de réussite, la confiance en soi rapportée de l'opérateur augmentait significativement avec l'utilisation de la méthode échoguidée, quelque soit la localisation de la ponction et dans les 2 groupes d'opérateurs,

novices et expérimentés. En effet, en fournissant à l'opérateur une visualisation de la zone cible et des structures adjacentes avant la procédure pour la ponction cisternale et en permettant de suivre l'insertion de l'aiguille en temps réel pour la ponction lombaire, le guidage échographique rassure les opérateurs sur l'accomplissement correct de la technique durant la procédure (Mattoon et Nyland, 2014). Cet impact positif se reflétait également dans les réponses aux questionnaires des opérateurs. La méthode favorite pour réaliser une ponction cisternale ou lombaire était donc significativement la méthode échoguidée et les réponses au questionnaire indiquaient que ces opérateurs préféraient utiliser la méthode échoguidée pour leur prochaine ponction. Ces résultats peuvent s'expliquer par l'aspect « sécurisant » et offrant une confiance en soi accrue de la méthode échoguidée par rapport à la méthode à l'« aveugle » perçue comme plus aléatoire.

L'impact des méthodes échoguidées sur le temps nécessaire pour un positionnement d'aiguille dans l'ESA sur un cadavre de chien, c'est à dire le temps écoulé entre la ponction de la peau et le placement correct de l'aiguille, différait (Etudes III et IV). Avec l'application de la technique échoguidée cisternale indirecte, le temps de la procédure était significativement réduit dans les groupes novices et expérimentés en échographie alors qu'avec la technique échoguidée directe lombaire la durée de la ponction n'était pas significativement différente de la méthode par palpation dans aucun groupe d'opérateurs. Ce résultat peut facilement s'expliquer par la nature du guidage échographique : la nécessité de coordonner l'introduction de l'aiguille spinale avec sa visualisation sur l'écran par le même opérateur pour la technique échoguidée directe lombaire alors que la technique échoguidée indirecte cisternale ne nécessite pas l'introduction de l'aiguille sous guidage échographique. Cette coordination main-yeux nécessite du temps qui n'était pas requis pour la technique échoguidée indirecte cisternale. Ces résultats s'apparentent d'une part aux résultats de certaines études de médecine humaine où l'application de la méthode échoguidée indirecte permettait une réduction du temps de la ponction spinale lombaire (Chin *et al.*, 2011b; Mofidi *et al.*, 2013; Lim *et al.*, 2014) et d'autre part à des études où le guidage échographique n'améliorait pas le temps sur des patients non sélectionnés (patients « faciles à palper») (Conroy *et al.*, 2013; Ansari *et al.*, 2014; Peterson *et al.*, 2014).

Les résultats de l'étude sur le guidage direct par des opérateurs novices (Etude III) indiquent également que tenir de façon simultanée la sonde échographique et l'aiguille n'empêche pas la manipulation et l'insertion de l'aiguille par l'opérateur novice. Cependant,

le temps nécessaire à la préparation des procédures (repérage des repères anatomiques à l'échographie et par palpation, temps pour marquer les repères cutanés pour la technique échoguidée indirecte cisternale, temps de mise en marche/réglages de l'échographe et temps pour obtenir des images échographiques convenables et pertinentes) n'a pas été mesuré ni comparé entre opérateurs novices et expérimentés, dans les Etudes III et IV. Toutefois, selon notre expérience clinique et comme décrit dans une étude en médecine humaine (Conroy *et al.*), en conditions cliniques le temps de préparation pour les méthodes échoguidées (direct ou indirect) est plus long (estimé à 8 minutes) que celui pour la méthode à l'« aveugle ». Cette augmentation de la durée totale de la procédure pourrait être une limite à l'application de ces méthodes alternatives dans certaines conditions *in-vivo*, notamment quand les opérateurs sont expérimentés avec la procédure à l'« aveugle ».

Nos résultats ont montré que les opérateurs perçoivent des différentes causes d'échec selon le site de placement de l'aiguille et la nature du guidage échographique (direct versus indirect) (Etude IV). Pour la localisation cisternale, une fois la sonde échographique retirée et les repères marqués au feutre sur le cadavre, la peau du chien ne doit plus bouger afin que les repères restent valides, comme décrit sur chiens vivants pour le guidage indirect (Mattoon et Nyland, 2014). Une des causes principales d'échec est donc identifiée dans les mouvements de la peau du cadavre générés par la rotation de la sonde échographique. Ceci est bien décrit en médecine humaine (Chin *et al.*, 2011a) et peut être évité si la sonde échographique est légèrement soulevée afin qu'elle ne tire pas sur la peau pendant le repérage. L'échoguidage direct nécessite par contre distinctement d'une bonne coordination main-yeux ainsi qu'une capacité psychomotrice (Magee *et al.*, 2007). Le défaut de ces deux qualités est cité comme causes récurrentes d'échec par tous les opérateurs.

La méthode traditionnelle par palpation ne requiert pas d'équipement spécifique, est facilement disponible et peu coûteuse. Cependant, son application nécessite un entraînement, comme le confirment les nombreux simulateurs de ponctions lombaires utilisés en médecine humaine pour la formation des opérateurs (Wang *et al.*, 2008; Farber *et al.*, 2009; Uppal *et al.*, 2011; Adachi *et al.*, 2012; Capogna *et al.*, 2013). De plus, l'applicabilité de la technique à l'« aveugle » est compromise si les repères osseux ne sont pas palpés à cause soit de l'embonpoint du patient, soit de la présence d'anomalies morphologiques, soit de l'inexpérience de l'opérateur (Stiffler *et al.*, 2007; Edwards *et al.*, 2015). En revanche, la méthode échoguidée requiert un équipement plus onéreux et moins facilement disponible.

Cependant, son application potentielle à un plus grand nombre de patients incluant ceux avec des repères anatomiques de surface difficiles (dus à l'obésité, à une chirurgie spinale antérieure, à une déformation ou à des changements dégénératifs liés à l'âge) (Strony, 2010; Chin et Perlas, 2011; Chin *et al.*, 2011b), l'échoguidage contribuera à l'amélioration des compétences et des connaissances d'anatomie et même de palpation. En effet, en médecine vétérinaire une étude démontra la faisabilité d'une injection échoguidée lombo-sacrée sur des chiens avec des vertèbres lombaires et sacrées anormales (Liotta *et al.*, 2015). Par rapport à d'autres méthodes guidées par l'image (par fluoroscopie ou par tomodensitométrie) qui ont des avantages similaires le guidage échographique présente l'intérêt de ne pas recourir aux radiations ionisantes.

Excepté pour l'application dans des conditions cliniques des méthodes échoguidées mises au point, les différentes études de ce travail sont limitées aux images et procédures réalisées *ex-vivo*. Ces études *ex-vivo* sont indispensables pour établir les images échographiques normales des régions investiguées (Etudes I et II) et pour étudier la faisabilité des procédures échoguidées (Etudes I et II) et les aspects pratiques de celles-ci (Etudes III et IV) dans des conditions éthiques acceptables avant l'application *in-vivo*. Toutefois, le score corporel et la taille des cadavres de chiens utilisés n'étaient pas sélectionnés, tout comme l'âge et le statut clinique *ante-mortem* n'étaient pas disponibles. La population canine *ex-vivo* de ce travail d'études était donc principalement composée de chiens fins (scores corporels principaux 2/5 et 3/5) et de taille petite à moyenne (fourchette de poids : 4-32 kg). Ceci a potentiellement biaisé certains résultats. En effet, l'état d'embonpoint influence la palpation des repères anatomiques osseux comme décrits en médecine humaine (Strony, 2010; Chin et Perlas, 2011; Chin *et al.*, 2011b) et la graisse peut réduire la qualité des images échographiques (Chin *et al.*, 2011a, 2011b; Edwards *et al.*, 2015) rendant potentiellement en termes de difficulté chez les patients obèses les techniques échoguidée et par palpation similaires.

La réalisation des Etudes III et IV dans un contexte *ex-vivo* ne nous a pas permis d'obtenir du LCR et donc nous a amené à utiliser la radiographie pour le contrôle du placement correct de l'aiguille spinale pour les ponctions lombaires. Cette méthode est celle employée dans l'étude de Nielsen et collaborateurs (Nielsen *et al.*, 2003) et consiste à injecter du produit de contraste iodé dans l'aiguille spinale en place afin de contrôler radiographiquement le marquage de l'ESA. Le contrôle du placement de l'aiguille spinale dans la *cisterna magna* est

plus aisé et rapide grâce à la visualisation échographique directe de l'aiguille dans la citerne. Toutefois, la ponction cisternale était considérée réussie malgré un enfoncement de l'aiguille spinale trop important dans la *cisterna magna*. En effet, l'Etude IV *ex vivo* ne permettait pas l'obtention de LCR ni la sensation de « pop » lors du passage des tissus fibreux (Dewey, 2008) qui sont selon les auteurs deux critères essentiels à l'arrêt de l'enfoncement de l'aiguille spinale lors d'une ponction cisternale. De manière générale, même si l'enseignement et l'entraînement *ex-vivo* ont été validé pour être de bons simulateurs des conditions cliniques, les résultats obtenus dans ces Etudes III et IV ne peuvent pas être extrapolés directement à l'application des techniques échoguidées sur des patients anesthésiés.

A cause du nombre limité de cadavres disponibles, les opérateurs des Etudes III et IV n'ont pas eu un entraînement pratique mais juste une démonstration pratique par un opérateur expérimenté et un exposé sur les principes généraux des ultrasons et de l'échoguidage, reconnus comme primordiaux à l'apprentissage des procédures échoguidées (Belbachir *et al.*, 2012). Cette formation théorique courte et démonstrative a eu lieu juste avant les manipulations des opérateurs et donc son efficacité pourrait être différente si elle avait été antérieure aux manipulations ou si elle avait été juste théorique. Dans ce travail, chaque opérateur ne réalisa qu'une seule fois chaque technique de placement d'aiguille spinale (2 à l'« aveugle » et 2 échoguidées), ce qui n'a pas permis l'élaboration de courbes d'apprentissage des techniques par palpation et échoguidées ni d'établir le nombre de ponctions à réaliser afin d'acquérir une certaine compétence dans la procédure.

De plus, seul un nombre limité de tentatives d'introduction échoguidée de l'aiguille spinale est réalisable. En effet, chaque nouvel essai contamine les tissus traversés par de l'air, qui apparaît comme des travées hyperéchogènes mal délimitées sur l'écran. Ces dernières parasitent l'image en se confondant avec la visualisation de la fine aiguille spinale et rendent difficiles voire impossible la poursuite de la procédure échoguidée et/ou la localisation des repères anatomiques. Cette constatation constitue une limite aux techniques échoguidées en ne permettant pas un nombre illimité de tentatives en regard du même espace. Cette observation nous a également amené à limiter le nombre de tentatives de placement d'aiguille à 4 pour chaque technique dans les Etudes III et IV.

Le nombre d'opérateurs dans les quatre groupes d'opérateurs de l'Etude IV est inhomogène. La petite taille du groupe expérimenté en ponctions uniquement (2 opérateurs) ne permet pas son inclusion dans l'analyse statistique et a rendu impossible, via ce travail, une

estimation du taux de réussite des ponctions à l'« aveugle » chez des opérateurs expérimentés en ponction uniquement. Aussi, l'amélioration légère mais non significative des paramètres évalués dans le groupe expérimenté en ponction et en échographie-échoguidage (9 et 8 opérateurs) avec aucune des 2 méthodes échoguidées s'apparente à certaines études humaines qui décrivent l'absence d'impact positif significatif de l'échoguidage par rapport à la méthode à l'« aveugle » chez les opérateurs expérimentés (Ansari *et al.*, 2014; Peterson *et al.*, 2014). Pour approfondir l'analyse sur ce point, il serait intéressant de réaliser des études supplémentaires avec un nombre d'opérateurs expérimentés en ponction et en échographie-échoguidage plus grand et des cadavres de chiens jugés difficiles à ponctionner à l'« aveugle » (par exemple animaux avec un haut score d'embonpoint ou anomalies vertébrales).

D'autres méthodes de guidage par l'image existent et sont appliquées en médecine vétérinaire : le guidage par fluoroscopie et le guidage par tomodensitométrie. Par rapport à l'échographie la fluoroscopie a une disponibilité limitée en pratique vétérinaire, n'est pas portable, est onéreuse et utilise des radiations ionisantes. De plus, la fluoroscopie ne donne qu'une image en 2 dimensions (vue latéro-latérale ou dorso-ventrale de l'aiguille et de la colonne vertébrale) et ne permet donc pas de connaître la relation avec le plan sagittal (Stiffler *et al.*, 2007; Sidhu *et al.*, 2009; Miksys *et al.*, 2010). De plus, cette technique possède des limites identiques au guidage par échographie à savoir un temps de procédure augmentant avec l'état d'embonpoint du patient et dépendant de l'expérience de l'opérateur (Boddu *et al.*, 2014). Un guidage par tomodensitométrie est également décrit en médecine humaine pour les ponctions lombaires (Boddu *et al.*, 2014; Rodriguez *et al.*, 2016). Il présente l'avantage de fournir une anatomie détaillée complète de la zone d'intérêt (muscles, nerfs, graisse, structures vasculaires, et aussi les os) par rapport à l'échographie et la fluoroscopie et un guidage dans les 3 dimensions. Il permet une visualisation directe intermittente de l'aiguille et une précision au millimètre pour le guidage (Brook *et al.*, 2014). Toutefois, sa disponibilité en médecine vétérinaire reste limitée et son risque lié à l'usage des radiations ionisantes sont ses 2 principaux inconvénients. Le temps moyen pour une ponction lombaire guidée par tomodensitométrie en médecine humaine par des opérateurs expérimentés est de 10 minutes (Brook *et al.*, 2014), ce qui est plus chronophage que la réalisation à l'« aveugle » et potentiellement que la technique échoguidée par des opérateurs expérimentés.

A cause de l'absence de données disponibles dans la littérature vétérinaire au sujet du taux de réussite des ponctions sous-arachnoïdiennes, il est impossible de comparer les taux

de réussite obtenus dans ce travail à d'autres données disponibles dans la littérature. L'intérêt et les conditions d'application dans un contexte clinique des méthodes échoguidées décrites dans ce travail restent encore à justifier en médecine vétérinaire et sont encore débattus en médecine humaine. Quelques études récentes chez l'homme suggèrent un intérêt limité des techniques de ponctions spinales lombaires pour les opérateurs déjà expérimentés dans l'usage des techniques à l'« aveugle », sur des patients non sélectionnés (Ansari *et al.*, 2014; Peterson *et al.*, 2014). Cependant, d'autres auteurs montrent que le temps et le nombre de tentatives sont améliorés avec ces méthodes guidées par l'image même avec des opérateurs expérimentés (Perlas, 2010; Lim *et al.*, 2014). D'autres études suggèrent l'échographie comme technique préparatoire à la procédure pour prédire la difficulté de la ponction spinale lombaire (Chin *et al.*, 2013). Sur la base de ce travail, l'utilisation systématique de la technique échoguidée pour toutes les ponctions sous-arachnoïdiennes ne peut pas être conseillée d'office dans un contexte clinique. Toutefois, le guidage échographique peut-être indiqué comme méthode « de secours » pour les ponctions difficiles sur base de plusieurs études humaines (Chin *et al.*, 2009, 2010).

II. Conclusions générales

Pour conclure, les résultats de ce travail d'études ont permis d'établir l'anatomie échographique percutanée de la région lombaire caudale chez le chien. La faisabilité d'une technique échoguidée directe, « dans le plan » pour les ponctions de l'ESA lombaire du chien, applicable dans des conditions cliniques a pu être établie. De manière similaire, l'anatomie échographique percutanée de la région atlanto-occipitale canine a été décrite en détail et la faisabilité d'une technique échoguidée, indirecte pour les ponctions de la *cisterna magna* du chien, applicable dans des conditions cliniques a pu être établie.

Le modèle cadavre de chien est suggéré comme outil valide d'enseignement et d'entraînement pour les ponctions lombaires sous-arachnoïdiennes sur la base de ce travail car l'impact de ces méthodes échoguidées par rapport aux méthodes à l'« aveugle » a pu être évalué dans un contexte *ex-vivo*. En effet, les techniques échoguidées décrites dans ce travail, peuvent être facilement applicables par des opérateurs inexpérimentés après un court enseignement théorique et démonstratif et sont appréciées par tous les opérateurs.

Les effets positifs du guidage échographique sur le taux de réussite global sont plus marqués pour la localisation lombaire, quel que soit le degré d'expérience de l'opérateur. Par contre, les effets bénéfiques du guidage échographique sur la performance technique (nombre de tentatives, durée de la procédure et confiance en soi de l'opérateur) sont plus évidents avec la localisation cisternale chez tous les opérateurs, quelle que soit leur expérience. Dans le cas de la localisation lombaire, le guidage échographique améliore significativement chez tous les opérateurs la confiance en soi uniquement et chez les novices, diminue le nombre de tentatives également.

Enfin, ces méthodes échoguidées ont la caractéristique commune d'augmenter la confiance en soi de l'opérateur, quelque soit son degré d'expérience. Leur utilisation pour l'apprentissage et l'entraînement du placement de l'aiguille spinale dans l'ESA lombaire et cisternal, dans un contexte *ex-vivo*, est donc fortement supporté y compris pour les opérateurs novices et sans expérience préalable en échographie.

III. Perspectives

L'application de l'échoguidage pour le placement de l'aiguille spinale dans l'ESA s'est révélée avoir un impact positif dans un contexte *ex-vivo*. Sa facilité d'utilisation permet d'envisager des études avec un nombre plus élevé d'opérateurs (expérimentés et inexpérimentés) sur différentes populations de chiens sélectionnées : chiens jugés difficiles ou faciles à ponctionner. Ces études, dans un contexte *ex-vivo* puis *in-vivo*, permettraient de mieux définir l'utilité des méthodes échoguidées dans un contexte clinique : uniquement comme préparatif à la ponction, réservée aux chiens jugés difficiles, comme technique de secours après plusieurs tentatives à l'« aveugle » infructueuses ou pour toutes les ponctions si l'opérateur est inexpérimenté. Dans ce cadre, afin de mieux comprendre l'utilité des méthodes échoguidées, une échelle permettant de classer la difficulté des ponctions spinale pourrait être établie comme en médecine humaine (Atallah *et al.*, 2004).

Maintenant que l'impact positif des méthodes échoguidées pour les positionnements d'aiguilles dans l'ESA a été démontré chez les novices, des recherches futures à portée pédagogique peuvent être réalisées. Dans ce contexte, des opérateurs inexpérimentés pourraient être invités à répéter plusieurs fois la même procédure afin d'établir les courbes d'apprentissage des méthodes à l'« aveugle » et échoguidées et d'obtenir une approximation

du nombre idéal de procédures à réaliser pour acquérir les compétences requises à une ponction. Ceci pourrait être réalisé grâce à la méthode des sommes cumulées («*cusum*») comme dans des études en médecine humaine (Naik *et al.*, 2003; Barrington *et al.*, 2012; Deacon *et al.*, 2014). Des travaux de médecine sur l'anesthésie régionale et sur l'échographie lombaire ayant démontré que les concepts clés d'éducation ne dépendent pas seulement de l'élève mais aussi des méthodes d'enseignement et du type de conseils du formateur (Slater *et al.*, 2014), des études ultérieures focalisées sur la procédure d'enseignement et d'encadrement de ces méthodes échoguidées aux novices pourraient fournir des renseignements sur la méthode d'enseignement à adopter.

Afin d'augmenter la visibilité de l'aiguille dans les tissus traversés un logiciel augmentant la visibilité de l'aiguille pourrait être appliqué. Des études complémentaires comparant l'échogénicité des aiguilles et donc leur visibilité dans les tissus, selon la profondeur d'insertion par exemple et la mesure de l'impact du choix de l'aiguille et de l'usage du logiciel, seraient intéressantes pour optimiser la procédure échoguidée directe décrite dans ce travail, comme cela a été réalisé en médecine humaine (Gofeld *et al.*, 2013).

L'étude des bénéfices du guidage échographique pour les procédures de placement d'aiguilles décrites dans cette thèse est passionnante et prometteuse. Des variantes et alternatives aux méthodes échoguidées décrites dans ce travail sont envisageables comme suggéré dans des études vétérinaires postérieures qui ont utilisé le présent travail comme base (Viscasillas *et al.*, 2015; Liotta *et al.*, 2016). A plus grande échelle, le guidage échographique pourrait être développé et étudié pour d'autres procédures techniquement difficiles ou à risque pour nos patients comme en médecine humaine pour la pose de cathéters dans les vaisseaux de gros calibre (Capalbo *et al.*, 2013). Si les bénéfices de l'échoguidage mis en évidence *ex-vivo* dans ce travail s'avèrent transposables dans les conditions cliniques, les ponctions et injections sous-arachnoïdiennes seraient moins «*effrayantes*» pour les opérateurs novices et deviendraient des actes routiniers applicables par un grand nombre de vétérinaires formés laissant entrevoir le développement de nouvelles thérapies vétérinaires intrathécales (chimiothérapie, anti-inflammatoires, ...).

LISTE DES ARTICLES ORIGINAUX

Ultrasonographic percutaneous anatomy of the caudal lumbar region and ultrasound-guided lumbar puncture in the dog

Etienne A.-L., Peeters D., Busoni V.

Vet. Radiol. Ultrasound, 2010 Sept-Oct, **51**, 527-32.

Ultrasonographic percutaneous anatomy of the atlanto-occipital region and indirect ultrasound-guided cisternal puncture in the dog and the cat

Etienne A.-L., Audigié F., Peeters D., Gabriel A., Busoni V.

Anat. Histol. Embryol., 2015 Apr, **44**, 92-8.

Comparison of ultrasound-guided vs. standard landmark techniques for training novice operators in placing needles into the lumbar subarachnoid space of canine cadavers

Etienne A.-L., Delguste C., Busoni V.

Vet. Radiol. Ultrasound, accepted for publication December 17, 2015. doi: 10.1111/vru.12358, publié en ligne.

Comparaison de l'effet du guidage échographique sur les ponctions de liquide céphalo-rachidien entre les localisations cisternales et lombaires chez le chien : une étude *ex vivo*

Etienne A.-L., Peeters D., Busoni V.

Ann. Méd. Vét., 2014, **158**, 126-136.

BIBLIOGRAPHIE GENERALE

ADACHI K., YOSHIMURA A., ASO R., MIYASHITA T., YOSHIDA D., TERAMOTO A., SHIMURA T. Clinical clerkship course for medical students on lumbar puncture using simulators. *J. Nippon Med. Sch.*, 2012, **79**, 430–437.

ADAMS W.M., STOWATER J.L. Complications of metrizamide myelography in the dog: a summary of 107 clinical case histories. *Vet. Radiol.* 1981, **22**, 27–34.

AIUM, AMERICAN INSTITUTE OF ULTRASOUND IN MEDICINE. AIUM Practice parameter for the performance of selected ultrasound-guided procedures. [en ligne] (2014) Adresse URL : <http://www.aium.org/resources/guidelines/usguidedprocedures.pdf>, Consulté le 07/01/2016.

ALEMAN M., BORCHERS A., KASS P.H., PUCHALSKI S.M. Ultrasound-assisted collection of cerebrospinal fluid from the lumbosacral space in equids. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 2007, **230**, 378–384.

ANSARI T., YOUSEF A., EL GAMASSY A., FAYEZ M. Ultrasound-guided spinal anaesthesia in obstetrics: is there an advantage over the landmark technique in patients with easily palpable spines? *Int. J. Obs. Anesth.*, 2014, **23**, 213–216.

ARANY-TOTH A., CSEBI P., REICZIGEL J., NEMETH T. Pressure-volume index-based volume calculation of contrast medium for atlanto-occipital myelography in dogs. *Vet. Radiol. Ultrasound*, 2012, **53**, 430–436.

ARANY-TOTH A., CSEBI P., REICZIGEL J., SERE V., NEMETH T. Subarachnoid pressures and cardiorespiratory parameters during cisternal myelography in isoflurane anaesthetized dogs. *Vet. Anaesth. Analg.*, 2013, **40**, 390–398.

ARENDT K., DEMAERSCHALK B.M., WINGERCHUK D.M., CAMANN W. Atraumatic lumbar puncture needles: after all these years, are we still missing the point? *Neurologist*, 2009, **15**, 17–20.

ARLIEN-SØBORG P., KJAER L., PRAESTHOLM J. Myelography, CT, and MRI of the spinal canal in patients with myelopathy: a prospective study. *Acta Neurol. Scand.*, 1993, **87**, 95–102.

ARMON C., EVANS R.W. Addendum to assessment: Prevention of post-lumbar puncture headaches: report of the Therapeutics and Technology Assessment Subcommittee of the American Academy of Neurology. *Neurology*, 2005, **65**, 510–512.

ATALLAH M.M., DEMIAN A.D., SHORRAB A.A. Development of a difficulty score for spinal anaesthesia. *Br. J. Anaesth.*, 2004, **92**, 354–360.

AUDIGIE F., TAPPREST J., DIDIERLAURENT D., DENOIX J.M. Ultrasound-guided atlanto-occipital puncture for myelography in the horse. *Vet. Radiol. Ultrasound*, 2004, **45**, 340–344.

AYA A.G., MANGIN R., ROBERT C., FERRER J.M., ELEDJAM J.J. Increased risk of unintentional dural puncture in night-time obstetric epidural anesthesia. *Can. J. Anaesth. = J. Can. d'anesthésie*, 1999, **46**, 665–669.

AZAR-KIA B., FINE M., NAHEEDY M.H. Importance of metrizamide CT for evaluation of the thoracic spine. *Comput. Radiol.* **9**, 233–241.

BAGLEY R.S. Options for diagnostic testing in animals with neurologic disease. In: Bagley R.S., *Fundamentals of Veterinary Clinical Neurology*. Blackwell Publishing Professional: Iowa, 2005, 207-238.

BARONE G., ZIEMER L.S., SHOFER F.S., STEINBERG S.A. Risk factors associated with development of seizures after use of iohexol for myelography in dogs: 182 cases (1998). *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 2002, **220**, 1499–1502.

BARONE R., Colonne vertébrale : Vertèbres lombaires. In : Barone R. (Ed.), *Ostéologie*, Tome 1. Vigot F. : Paris, 1999, 377-395.

BARONE R., BORTOLAMI R., Moelle épinière, In : Barone R. (Ed.), *Neurologie I*, Tome 6. Vigot F. : Paris, 2004a, 99-167.

BARONE R., BORTOLAMI R. Méninges, In : Barone R. (Ed.), *Neurologie I*, Tome 6. Vigot F. : Paris, 2004b, 603-629.

BARR F. Percutaneous biopsy of abdominal organs under ultrasound guidance. *J. Small Anim.*

Pr., 1995, **36**, 105–113.

BARR F., GASCHEN L. BSAVA Manual of Canine and Feline Ultrasonography. First edition. British Small Animal Veterinary Association (Ed.): Gloucester, England, 2011, 222 p.

BARRINGTON M.J., WONG D.M., SLATER B., IVANUSIC J.J., OVENS M. Ultrasound-guided regional anesthesia: how much practice do novices require before achieving competency in ultrasound needle visualization using a cadaver model. *Reg. Anesth. Pain Med.*, 2012, **37**, 334–339.

BARTHEZ P.Y., LEVEILLE R., SCRIVANI P. V. Side lobes and grating lobes artifacts in ultrasound imaging. *Vet. Radiol. Ultrasound*, 1997, **38**, 387–393.

BEHR S., TRUMEL C., CAUZINILLE L., PALENICHE F., BRAUN J.-P. High Resolution Protein Electrophoresis of 100 Paired Canine Cerebrospinal Fluid and Serum. *J. Vet. Intern. Med.*, 2006, **20**, 657–662.

BELBACHIR A., BINHAS M., NOUETTE-GAULAIN K., BOCCARA G., CARLES M. Ultrasound guidance: Teaching. *Ann. Fr. Anesth. Reanim.*, 2012, **31**, e179–83.

BEN-DAVID B., SOLOMON E., LEVIN H., ADMONI H., GOLDIK Z. Intrathecal fentanyl with small-dose dilute bupivacaine: better anesthesia without prolonging recovery. *Anesth. Analg.*, 1997, **85**, 560–565.

BERGMAN R.L., INZANA K.D., INZANA T.J. Characterization of matrix metalloproteinase-2 and -9 in cerebrospinal fluid of clinically normal dogs. *Am. J. Vet. Res.*, 2002, **63**, 1359–1362.

BHATIA A., BRULL R. Is Ultrasound Guidance Advantageous for Interventional Pain Management? A Systematic Review of Chronic Pain Outcomes. *Anesth. Analg.*, 2013, **117**, 236–251.

BODDU S.R., COREY A., PETERSON R., SAINDANE A.M., HUDGINS P.A., CHEN Z., WANG X., APPLGATE K.E. Fluoroscopic-guided lumbar puncture: fluoroscopic time and implications of body mass index—a baseline study. *Am. J. Neuroradiol.*, 2014, **35**, 1475–1480.

BOGIN I.N., STULIN I.D. Application of the method of 2-dimensional echospondylography for

determining landmarks in lumbar punctures. *Zh. Nevropatol. Psikhiatr. Im. S. S. Korsakova*, 1971, **71**, 1810–1811.

BOON J.M., ABRAHAMS P.H., MEIRING J.H., WELCH T. Lumbar puncture: anatomical review of a clinical skill. *Clin. Anat.*, 2004, **17**, 544–553.

BRAUND K.G. Braund's clinical neurology in small animal: localization, diagnosis and treatment. In: Vite C.H., Braund K.G. (Eds). International Veterinary Information Service. IVIS ([www. ivis.org](http://www.ivis.org)), Ithaca, New York. [en ligne] (2003) Adresse URL: <http://www.ivis.org/advances/Vite/toc.asp>, consulté le 10/12/2015.

BRINKMANN S., TANG R., SAWKA A., VAGHADIA H. Single-operator real-time ultrasound-guided spinal injection using SonixGPS™: a case series. *Can. J. Anaesth. = J. Can. d'anesthésie*, 2013, **60**, 896–901.

BROADBENT C.R., MAXWELL W.B., FERRIE R., WILSON D.J., GAWNE-CAIN M., RUSSELL R. Ability of anaesthetists to identify a marked lumbar interspace. *Anaesthesia*, 2000, **55**, 1122–1126.

BROKING K., WAURICK R. How to teach regional anesthesia. *Curr. Opin. Anaesthesiol.*, 2006, **19**, 526–530.

BROOK A.D., BURNS J., DAUER E. SCHOENFELD A.H., MILLER T.S. Comparison of CT and fluoroscopic guidance for lumbar puncture in an obese population with prior failed unguided attempt. *J. Neurointerv. Surg.*, 2014, **6**, 324–328.

CAMPOY L. Epidural and spinal anaesthesia in the dog. *In Pract.*, 2004, **26**, 262–269.

CAPALBO PELI M., LOVISATTI M., COSENTINO M., TICHA V., CARIATI M., CORNALBA G.E. Placement of port-a-cath through the right internal jugular vein under ultrasound guidance. *Radiol. Med.*, 2013, **118**, 608–615.

CAPOGNA G., STIRPARO S., CANIGGIA S. Evaluation of a new training device to simulate the epidural and subarachnoid spaces for neuraxial anesthesia techniques. *Minerva Anesthesiol.*, 2013, **79**, 385–390.

CARLISLE C.H., PASS M.A., LOWNDES H.E., REUHL K.R. Toxicity of the radiographic contrast media iopamidol, iohexol and metrizamide to cell cultures. *Vet. Radiol. Ultrasound*, 1995, **36**,

207–211.

CARMICHAEL N. Nervous system. In: Davidson M., Else R., Lumsden J. (Eds), *Manual of Small Animal Clinical Pathology*. British Small Animal Veterinary Association: Cheltenham, 1998, 235-240.

CARROLL G.L., KEENE B.W., FORREST L.J. Asystole associated with iohexol myelography in a dog. *Vet. Radiol. Ultrasound*, 1997, **38**, 284–287.

CARVALHO, J.C. Ultrasound-facilitated epidurals and spinals in obstetrics. *Anesth. Clin.*, 2008, **26**, 145–158.

CHIN K.J., KARMAKAR M.K., PENG P. Ultrasonography of the adult thoracic and lumbar spine for central neuraxial blockade. *Anesthesiology*, 2011, **114**, 1459–1485.

CHIN K.J., CHAN V.W., RAMLOGAN R., PERLAS A. Real-time ultrasound-guided spinal anesthesia in patients with a challenging spinal anatomy: two case reports. *Acta Anaesthesiol. Scand.*, 2010, **54**, 252–255.

CHIN K.J., KARMAKAR M.K., PENG P. Ultrasonography of the adult thoracic and lumbar spine for central neuraxial blockade. *Anesthesiology*, **114**, 2011a, 1459–1485.

CHIN K.J., MACFARLANE A.J., CHAN V., BRULL R. The use of ultrasound to facilitate spinal anesthesia in a patient with previous lumbar laminectomy and fusion: a case report. *J. Clin. Ultrasound*, **37**, 2009, 482–485.

CHIN K.J., PERLAS A. Ultrasonography of the lumbar spine for neuraxial and lumbar plexus blocks. *Curr. Opin. Anaesthesiol.*, **24**, 2011, 567–572.

CHIN K.J., PERLAS A., CHAN V., BROWN-SHREVES D., KOSHKIN A., VAISHNAV V. Ultrasound imaging facilitates spinal anesthesia in adults with difficult surface anatomic landmarks. *Anesthesiology*, 2011b, **115**, 94–101.

CHIN K.J., RAMLOGAN R., ARZOLA C., SINGH M., CHAN V. The utility of ultrasound imaging in predicting ease of performance of spinal anesthesia in an orthopedic patient population. *Reg. Anesth. Pain Med.*, 2013, **38**, 34–38.

CONROY P.H., LUYET C., MCCARTNEY C.J., MCHARDY P.G. Real-time ultrasound-guided spinal

anaesthesia: a prospective observational study of a new approach. *Anesth. Res. Pr.*, 2013, 2013: 525818, doi: 10.1155/2013/525818.

CRONE C. Facilitated transfer of glucose from blood into brain tissue. *J. Physiol.*, 1965, **181**, 103–113.

CUILLE J., SENDRAIL M. Analgésie cocainique par voie rachidienne. *Rev. Vet.*, 1901, **26**, 98–103.

CURATOLO M., PETERSEN-FELIX S., ARENDT-NIELSEN L., ZBINDEN A.M. Spinal anaesthesia inhibits central temporal summation. *Br. J. Anaesth.*, 1997, **78**, 88–89.

DA COSTA R.C., PARENT J.M., DOBSON H. Incidence of and risk factors for seizures after myelography performed with iohexol in dogs: 503 cases (2002-2004). *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 2011, **238**, 1296–1300.

DA COSTA R.C., SAMII V.F. Advanced imaging of the spine in small animals. *Vet. Clin. North Am. Small Anim. Pract.*, 2010, **40**, 765–790.

DAVIS A., DOBSON R., KANINIA S., GIOVANNONI G., SCHMIERER K. Atraumatic needles for lumbar puncture: why haven't neurologists changed? *Pract. Neurol.*, 2016, **16**, 18–22.

DE GENNARO C., VETTORATO E., CORLETTI F. Retrospective clinical evaluation of hypobaric spinal anaesthesia in dogs undergoing pelvic limb orthopaedic surgery. *J. Small Anim. Pract.*, 2014, **55**, 497–503.

DE LAHUNTA A. Cerebrospinal fluid and hydrocephalus. In: De Lahunta, A. (Ed.), *Veterinary Neuroanatomy and Clinical Neurology*. Saunders : Philadelphia, PA, 1983, 30–52.

DEACON A.J., MELHUIISHI N.S., TERBLANCHE N.C.S. CUSUM method for construction of trainee spinal ultrasound learning curves following standardised teaching. *Anaesth. Intensive Care*, 2014, **42**, 480–6.

DENNIS R. Radiology of the spine. In: Proceedings of 27 WSAVA (World Small Animal Veterinary Association) Congress, Newmarket, [en ligne] (2002) Adresse URL : <http://www.vin.com/proceedings/Proceedings.plx?CID=WSAVA2002&PID=2608>, Consulté le 17/09/2009.

DEWEY C. W. A practical Guide to Canine and Feline Neurology. Second edition. Dewey C.W. (Ed.) Wiley-Blackwell : Ames, Iowa, USA, 2008, 720 p.

DI TERLIZZI R., PLATT S.R. The function, composition and analysis of cerebrospinal fluid in companion animals: part II - analysis. *Vet. J.*, 2009, **180**, 15–32.

DROST W.T. Physics of Ultrasound Imaging. In: Thrall D. E. (Ed), Textbook of Veterinary Diagnostic Radiology. Sixth edition. Saunders: St Louis, 2013, 38-49.

DUBOIS P.J., DRAYER B.P., SAGE M., OSBORNE D., HEINZ E.R. Intramedullary penetrance of metrizamide in the dog spinal cord. *Am. J. Neuroradiol.*, 1981, **2**, 313–317.

EDWARDS C., LEIRA E.C., GONZALEZ-ALEGRE P. Residency training: a failed lumbar puncture is more about obesity than lack of ability. *Neurology*, 2015, **84**, e69–72.

ELIAS A., BROWN C. Cerebellomedullary cerebrospinal fluid collection in the dog. *Lab. Anim.*, 2008, **37**, 457–458.

ENK D., PRIEN T., VAN AKEN H., MERTES N., MEYER J., BRÜSSEL T. Success rate of unilateral spinal anesthesia is dependent on injection flow. *Reg. Anesth. Pain Med.*, 2001, **26**, 420–427.

EVANS H.E., DE LAHUNTA A. Miller's anatomy of the dog. Fourth edition. Saunders (Ed.) : St Louis, Missouri, 2012, 872 p.

FARBER M., HUMMEL F., GERLOFF C., HANDELS H. Virtual reality simulator for the training of lumbar punctures. *Methods Inf. Med.*, 2009, **48**, 493–501.

FATONE G., LAMAGNA F., PASOLINI M.P., POTENA A., BRUNETTI A. Myelography in the dog with non-ionic contrast media at different iodine concentrations. *J. Small Anim. Pract.*, 1997, **38**, 292–294.

FERRE R.M., SWEENEY T.W. Emergency physicians can easily obtain ultrasound images of anatomical landmarks relevant to lumbar puncture. *Am. J. Emerg. Med.*, 2007, **25**, 291–296.

FERRE R.M., SWEENEY T.W., STROUT T.D. Ultrasound identification of landmarks preceding lumbar puncture: a pilot study. *Emerg. Med. J.*, **26**, 2009, 276–277.

GENONI S., PALUS V., EMINAGA S., CHERUBINI G.B. Safety of intrathecal administration of

cytosine arabinoside and methotrexate in dogs and cats. *Vet. Comp. Oncol.*, 2014, doi: 10.1111/vco.12109.

GERHEUSER F., CRASS D. Spinal anaesthesia. *Anaesthetist*, 2005, **54**, 1245–67, quiz 1268–1270.

GOFELD M., KRASHIN D.L., AHN S. Needle echogenicity in ultrasound-guided lumbar spine injections: a cadaveric study. *Pain Physician*, 2013, **16**, E725–730.

GRAU T., BARTUSSECK E., CONRADI R., MARTIN E., MOTSCH J. Ultrasound imaging improves learning curves in obstetric epidural anesthesia: a preliminary study. *Can. J. Anaesth.*, 2003, **50**, 1047–1050.

GRAU T., LEIPOLD R.W., FATEHI S., MARTIN E., MOTSCH J. Real-time ultrasonic observation of combined spinal-epidural anaesthesia. *Eur. J. Anaesthesiol.*, 2004, **21**, 25–31.

GREEN B.A., BARNETT A. A 26 gauge lumbar puncture needleits value in the prophylaxis of headache following spinal analgesia for vaginal delivery. *J. Am. Soc. Anesthesiol.*, 1950, **11**, 464–469.

GREGORI T., VISCASILLAS J., BENIGNI L. Ultrasonographic anatomy of the sacrococcygeal region and ultrasound-guided epidural injection at the sacrococcygeal space in dogs. *Vet. Rec.*, 2014, **175**, doi: 10.1136/vr.102453.

GREHER M., SCHARBERT G., KAMOLZ L.P., BECK H., GUSTORFF B., KIRCHMAIR L., KAPRAL S. Ultrasound-guided lumbar facet nerve block: a sonoanatomic study of a new methodologic approach. *Anesthesiology*, 2004, **100**, 1242–1248.

HAGER D.A., NYLAND T.G., FISHER P. Ultrasound- guided biopsy of the canine liver, kidney and prostate. *Vet. Radiol. Ultrasound*, 1985, **26**, 82–88.

HALPENNY D., O’SULLIVAN K., BURKE J.P., TORREGGIANI W.C. Does obesity preclude lumbar puncture with a standard spinal needle? The use of computed tomography to measure the skin to lumbar subarachnoid space distance in the general hospital population. *Eur. Radiol.* 2013, **23**, 3191–3196.

HOLLAND M. Contrast agents. *Vet. Clin. North Am. Small Anim. Pr.*, 1993, **23**, 269–279.

IFF I., VALESKINI K., MOSING M. Severe pruritus and myoclonus following intrathecal morphine administration in a dog. *Can. Vet. journal. La Rev. vétérinaire Can.*, 2012, **53**, 983–986.

JONES J.C. Neuroimaging. In: Braund K. G. (Eds), *Clinical Neurology in Small Animals-Localization, Diagnosis and Treatment*. International Veterinary Information Service. IVIS (www. ivis.org), Ithaca, New York, 2004.

JONES J.C., INZANA K.D., ROSSMEISL J.H., BERGMAN R.L., WELLS T., BUTLER K. CT myelography of the thoraco-lumbar spine in 8 dogs with degenerative myelopathy. *J. Vet. Sci.*, 2005, **6**, 341–348.

KEHLET H. The surgical stress response: should it be prevented? *Can. J. Surg.*, 1991, **34**, 565–567.

KERWIN S.C. Hepatic aspiration and biopsy techniques. *Vet. Clin. North Am. Small Anim. Pr.*, 1995, **25**, 275–291.

KESSLER J., MORIGGL B., GRAU T. Ultrasound-guided regional anesthesia: learning with an optimized cadaver model. *Surg. Radiol. Anat.*, 2014a, **36**, 383–392.

KESSLER J., MORIGGL B., GRAU T. The use of ultrasound improves the accuracy of epidural needle placement in cadavers. *Surg. Radiol. Anat.*, 2014b, **36**, 695–703.

KIM S., ADLER D.K. Ultrasound-assisted lumbar puncture in pediatric emergency medicine. *J. Emerg. Med.*, 2014, **47**, 59–64.

KIRBERGER R.M. Recent developments in canine lumbar myelography. *Comp. Cont. Educ. Pract. Vet.*, 1994, **16**, 847–854.

KIRBERGER R.M., WRIGLEY R.H. Myelography in the dog: review of patients with contrast medium in the central canal. *Vet. Radiol. Ultrasound*, 1993, **34**, 253–258.

KISHIMOTO M., YAMADA K., UENO H., KOBAYASHI Y., WISNER E.R. Spinal cord effects from lumbar myelographic injection technique in the dog. *J. Vet. Med. Sci.*, 2004, **66**, 67–69.

LEVINE G.J., LEVINE J.M., WITSBERGER T.H., KERWIN S.C., RUSSELL K.E., SUCHODOLSKI J., STEINER J., FOSGATE G.T. Cerebrospinal fluid myelin basic protein as a prognostic biomarker

in dogs with thoracolumbar intervertebral disk herniation. *J. Vet. Intern. Med.*, **24**, 890–896.

LEWIS D.D., HOSGOOD G. Complications associated with the use of iohexol for myelography of the cervical vertebral column in dogs: 66 cases (1988-1990). *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 1992, **200**, 1381–1384.

LIM Y.C., CHOO C.Y., TAN K.T. A randomised controlled trial of ultrasound-assisted spinal anaesthesia. *Anaesth. Intensive Care*, 2014, **42**, 191–198.

LIOTTA A., BUSONI V., CARROZZO M. V., SANDERSEN C., GABRIEL A., BOLEN G. Feasibility of ultrasound-guided epidural access at the lumbo-sacral space in dogs. *Vet. Radiol. Ultrasound*, 2015, **56**, 220-228.

LIOTTA A., SANDERSEN C., COUVREUR T., BOLEN G. Technique, difficulty, and accuracy of computed tomography-guided translaminar and transforaminal lumbosacral epidural and intraarticular lumbar facet joint injections in dogs. *Vet. Radiol. Ultrasound*, 2016, **57**, 191-198.

LOWRIE M., PENDERIS J., MCLAUGHLIN M., ECKERSALL P.D., ANDERSON T.J. Steroid responsive meningitis-arteritis: a prospective study of potential disease markers, prednisolone treatment, and long-term outcome in 20 dogs (2006-2008). *J. Vet. Intern. Med.*, 2009, **23**, 862–870.

LUJAN FELIU-PASCUAL A., GAROSI L., DENNIS R., PLATT S. Iatrogenic brainstem injury during cerebellomedullary cistern puncture. *Vet. Radiol. Ultrasound*, 2008, **49**, 467–471.

MAI W. Magnetic Resonance Imaging and Computed Tomography Features of Canine and Feline Spinal Cord Disease. In: Thrall D. E. (Ed.), *Textbook of Veterinary Diagnostic Radiology*. Sixth edition. Saunders: St Louis, 2013, 194-221.

MAIOLINI A., CARLSON R., SCHWARTZ M., GANDINI G., TIPOLD A. Determination of immunoglobulin A concentrations in the serum and cerebrospinal fluid of dogs: an estimation of its diagnostic value in canine steroid-responsive meningitis-arteritis. *Vet. J.*, 2012, **191**, 219–224.

MATSUKI N., FUJIWARA K., TAMAHARA S., UCHIDA K., MATSUNAGA S., NAKAYAMA H., DOI K., OGAWA H., ONO K. Prevalence of autoantibody in cerebrospinal fluids from dogs with various

CNS diseases. *J. Vet. Med. Sci.*, 2004, **66**, 295–297.

MATTOON J.S., NYLAND T.G. *Small Animal Diagnostic Ultrasound*. Third Edition. Saunders (Ed.) : St Louis, Missouri, 2014, 667 p.

MENARD M., PAPAGEORGES M. Ultrasound corner technique for ultrasound-guided fine needle biopsies. *Vet. Radiol. ultrasound*, 1995, **36**, 137–138.

MIKSYS N., GORDON C.L., THOMAS K., CONNOLLY B.L. Estimating effective dose to pediatric patients undergoing interventional radiology procedures using anthropomorphic phantoms and MOSFET dosimeters. *Am. J. Roentgenol.*, 2010, **194**, 1315–1322.

MILLING T.J. Jr, ROSE J., BRIGGS W.M., BIRKHAHN R., GAETA T.J., BOVE J.J., MELNIKER L.A. Randomized, controlled clinical trial of point-of-care limited ultrasonography assistance of central venous cannulation: the Third Sonography Outcomes Assessment Program (SOAP-3) Trial. *Crit. Care Med.*, 2005, **33**, 1764–1769.

MODIG J. Regional anaesthesia and blood loss. *Acta Anaesthesiol. Scand. Suppl.*, 1988, **89**, 44–48.

MOFIDI M., MOHAMMADI M., SAIDI H., KIANMEHR N., GHASEMI A., HAFEZIMOGHADAM P., REZAI M. Ultrasound guided lumbar puncture in emergency department: Time saving and less complications. *J. Res. Med. Sci.*, 2013, **18**, 303–307.

NAIK V.N., DEVITO I., HALPERN S.H. Cusum analysis is a useful tool to assess resident proficiency at insertion of labour epidurals. *Can. J. Anaesth. = J. Can. d'anesthésie*, 2003, **50**, 694–698.

NAROUZE S.N., PROVENZANO D., PENG P., EICHENBERGER U., LEE S.C., NICHOLLS B., MORIGGL B. The American Society of Regional Anesthesia and Pain Medicine, the European Society of Regional Anaesthesia and Pain Therapy, and the Asian Australasian Federation of Pain Societies Joint Committee recommendations for education and training in ultrasound. *Reg. Anesth. Pain Med.*, 2012, **37**, 657–664.

NIAZI A.U., CHIN K.J., JIN R., CHAN V.W. Real-time ultrasound-guided spinal anesthesia using the SonixGPS ultrasound guidance system: a feasibility study. *Acta Anaesthesiol. Scand.*, 2014, **58**, 875–881.

NIELSEN J. V, BERG L.C., THOEFNERT M.B., THOMSEN P.D. Accuracy of ultrasound-guided intra-articular injection of cervical facet joints in horses: a cadaveric study. *Equine Vet. J.*, 2003, **35**, 657–661.

NOMURA J.T., LEECH S.J., SHENBAGAMURTHI S., SIERZENSKI P.R., O’CONNOR R.E., BOLLINGER M., HUMPHREY M., GUKHOOL J.A. A randomized controlled trial of ultrasound-assisted lumbar puncture. *J. Ultrasound Med.*, 2007, **26**, 1341–1348.

NOVELLO L., CORLETTO F. Combined spinal-epidural anesthesia in a dog. *Vet. Surg.*, 2006, **35**, 191–197.

OCEL J.J., NATT N., TIEGS R.D., ARORA A.S. Formal procedural skills training using a fresh frozen cadaver model: a pilot study. *Clin. Anat.*, 2006, **19**, 142–146.

OLBY N., THRALL D.E. Neuroimaging. In : Platt S.R., Olby N.S. (Eds), *BSAVA Manual of Canine and Feline Neurology*. Fourth edition. British Small Animal Veterinary Association: Gloucester, England, 2014, 77-92.

OLIVER J. E., LORENZ M. D. Confirming a diagnosis. In: Oliver J. E., Lorenz M. D., *Handbook of Veterinary Neurology*. Saunders: Philadelphia, 1997, 89-108.

PACKER R.A., BERGMAN R.L., COATES J.R., ESSMAN S.C., WEIS K., O’BRIEN D.P., JOHNSON G.C. Intracranial subarachnoid hemorrhage following lumbar myelography in two dogs. *Vet. Radiol. Ultrasound*, 2007, **48**, 323–327.

PAPAGEORGES M, GAVIN P.R, SANDE R.D, BARBEE D.D. Ultrasound-guided fine-needle aspiration: An inexpensive modification of the technique. *Vet. Radiol. Ultrasound*, 1988, **29**, 269–271.

PENNINCK D.G., FINN-BODNER S.T. Updates in interventional ultrasonography. *Vet. Clin. North Am. Small Anim. Pr.*, 1998, **28**, 1017–1040.

PERLAS A. Evidence for the use of ultrasound in neuraxial blocks. *Reg. Anesth. Pain Med.*, 2010, **35**, S43–46.

PETERSON M.A., ABELE J. Bedside ultrasound for difficult lumbar puncture. *J Emerg. Med.*, 2005, **28**, 197–200.

PETERSON M.A., PISUPATI D., HEYMING T.W., ABELE J.A., LEWIS R.J. Ultrasound for routine lumbar puncture. *Acad. Emerg. Med.*, 2014, **21**, 130–136.

PIRES S.R.O., GANEM E.M., MARQUES M., CASTIGLIA Y.M.M. Effects of increasing spinal hyperbaric lidocaine concentrations on spinal cord and meninges: experimental study in dogs. *Rev. Bras. Anesthesiol.*, 2006, **56**, 253–262.

REINITZ L.Z., BAJZIK G., GARAMVÖLGYI R., PETNEHAZY Ö., LASSO A., ABONYI-TOTH Z., LORINCZ B., SOTONYI P. Comparison between magnetic resonance imaging estimates of extracranial cerebrospinal fluid volume and physical measurements in healthy dogs. *Vet. Radiol. Ultrasound*, 2015, **56**, 658–665.

RESTREPO C.G., BAKER M.D., PRUITT C.M., GULLETT J.P., PIGOTT D.C. Ability of pediatric emergency medicine physicians to identify anatomic landmarks with the assistance of ultrasound prior to lumbar puncture in a simulated obese model. *Pediatr. Emerg. Care*, 2015, **31**, 15–19.

ROBERTS R.E., SELCER B.A. Myelography and epidurography. *Vet. Clin. North Am. Small Anim. Pract.*, 1993, **23**, 307–329.

ROBERTSON I., THRALL D.E. Imaging dogs with suspected disc herniation: pros and cons of myelography, computed tomography, and magnetic resonance. *Vet. Radiol. Ultrasound*, 2011, **52**, S81–84.

ROBINSON W., TREVAIL R., BEHR S., JOSE-LOPEZ R. Approaches to csf collection. [en ligne] (2013) Adresse URL : <http://www.vettimes.co.uk/article/approaches-to-csf-collection/>, Consulté le 12/05/2016.

RODGERS A., WALKER N., SCHUG S., MCKEE A., KEHLET H., VAN ZUNDERT A., SAGE D., FUTTER M., SAVILLE G., CLARK T., MACMAHON S. Reduction of postoperative mortality and morbidity with epidural or spinal anaesthesia: results from overview of randomised trials. *BMJ.*, 2000, **321**, 1493.

RODRIGUEZ D., BRANSTETTER B.F., AGARWAL V., PALFEY S., CHING K.C., BUMP G.M., HUGHES M.A. Journal club: Incidence of Complications Following Fluoroscopically Guided Lumbar Punctures and Myelograms. *Am. J. Roentgenol.*, 2016, **206**, 20–25.

ROMESBURG J., RAGOZZINO M. Aseptic meningoencephalitis after iohexol CT myelography. *Am. J. Neuroradiol.*, 2009, **30**, 1074–1075.

SADASHIVAIAH J., WILSON R., MCLURE H., LYONS G. Double-space combined spinal-epidural technique for elective caesarean section: a review of 10 years' experience in a UK teaching maternity unit. *Int. J. Obstet. Anesth.*, 2010, **19**, 183–187.

SANDE R.D. Radiography, myelography, computed tomography, and magnetic resonance imaging of the spine. *Vet. Clin. North Am. Small Anim. Pract.*, 1992, **22**, 811–831.

SAROTTI D., RABOZZI R., CORLETTO F. Efficacy and side effects of intraoperative analgesia with intrathecal bupivacaine and levobupivacaine: a retrospective study in 82 dogs. *Vet. Anaesth. Analg.*, 2011, **38**, 240–251.

SAROTTI D., RABOZZI R., FRANCI P. A retrospective study of efficacy and side effects of intrathecal administration of hyperbaric bupivacaine and morphine solution in 39 dogs undergoing hind limb orthopaedic surgery. *Vet. Anaesth. Analg.*, 2013, **40**, 220–224.

SAROTTI D., RABOZZI R., FRANCI P. Comparison of epidural versus intrathecal anaesthesia in dogs undergoing pelvic limb orthopaedic surgery. *Vet. Anaesth. Analg.*, 2015, **42**, 405–413.

SAROTTI D. Elective spinal anaesthesia for caesarean section in a bull terrier. *Vet. Reg. Anaesth. Pain Med.*, 2005, **3**, 53–54.

SCHMIDT M.J., WIGGER A., JAWINSKI S., GOLLA T., KRAMER M. Ultrasonographic appearance of the craniocervical junction in normal brachycephalic dogs and dogs with caudal occipital (Chiari-like) malformation. *Vet. Radiol. Ultrasound*, **49**, 2008, 472–476.

SHAIKH F., BRZEZINSKI J., ALEXANDER S., ARZOLA C., CARVALHO J.C., BEYENE J., SUNG L. Ultrasound imaging for lumbar punctures and epidural catheterisations: systematic review and meta-analysis. *BMJ.*, 2013, **346**, f1720, doi: 10.1136/bmj.f1720.

SHARP N.J. Molecular biology of infectious diseases. In : Bonagura, J.D. (Ed.), *Kirk's Veterinary Therapy*, vol XIII. Saunders : Philadelphia, 1998, 246-250.

SIDHU M., COLEY B.D., GOSKE M.J., CONNOLLY B., RACADIO J., YOSHIZUMI T.T., UTLEY T., STRAUSS K.J. Image Gently, Step Lightly: increasing radiation dose awareness in pediatric

interventional radiology. *Pediatr. Radiol.*, 2009, **39**, 1135–1138.

SITES B.D., CHAN V.W., NEAL J.M., WELLER R., GRAU T., KOSCIELNIAK-NIELSEN Z.J., IVANI G. The American Society of Regional Anesthesia and Pain Medicine and the European Society of Regional Anaesthesia and Pain Therapy joint committee recommendations for education and training in ultrasound-guided regional anesthesia. *Reg. Anesth. Pain Med.*, 2010, **35**, S74–80.

SLATER R.J., CASTANELLI D.J., BARRINGTON M.J. Learning and teaching motor skills in regional anesthesia: a different perspective. *Reg. Anesth. Pain Med.*, 2014, **39**, 230–239.

SMITH E.R., MADSEN J.R. Cerebral pathophysiology and critical care neurology: basic hemodynamic principles, cerebral perfusion, and intracranial pressure. *Semin. Pediatr. Neurol.*, 2004, **11**, 89–104.

SORJONEN D.C., COX N.R., SWANGO L.J. Electrophoretic determination of albumin and gamma globulin concentrations in the cerebrospinal fluid of dogs with encephalomyelitis attributable to canine distemper virus infection: 13 cases (1980-1987). *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 1989, **195**, 977–980.

SORJONEN D.C. Total protein, albumin quota, and electrophoretic patterns in cerebrospinal fluid of dogs with central nervous system disorders. *Am. J. Vet. Res.*, 1987, **48**, 301–305.

SPEAKE T., WHITWELL C., KAJITA H., MAJID A., BROWN P.D. Mechanisms of CSF secretion by the choroid plexus. *Microsc. Res. Tech.*, 2001, **52**, 49–59.

SPROTTE G., SCHEDEL R., PAJUNK H. An “atraumatic” universal needle for single-shot regional anesthesia: clinical results and a 6 year trial in over 30,000 regional anesthetics. *Reg. Anaesth.*, 1987, **10**, 104–108.

STIFFLER K.A., JWAYYED S., WILBER S.T., ROBINSON A. The use of ultrasound to identify pertinent landmarks for lumbar puncture. *Am. J. Emerg. Med.*, 2007, **25**, 331–334.

STIFFLER K.A., JWAYYED S., WILBER S.T., ROBINSON A. The use of ultrasound to identify pertinent landmarks for lumbar puncture. *Am. J. Emerg. Med.*, 2007, **25**, 331–334.

STRAUS S.E., THORPE K.E., HOLROYD-LEDUC J. How do I perform a lumbar puncture and analyze the results to diagnose bacterial meningitis? *JAMA*, 2006, **296**, 2012–2022.

STRONY R. Ultrasound-assisted lumbar puncture in obese patients. *Crit. Care Clin.*, 2010, **26**, 661–664.

TANAKA H., NAKAYAMA M., TAKASE K. Usefulness of myelography with multiple views in diagnosis of circumferential location of disc material in dogs with thoracolumbar intervertebral disc herniation. *J. Vet. Med. Sci.*, 2004, **66**, 827–833.

TIDWELL A.S., JOHNSON K.L. Computed tomography-guided percutaneous biopsy in the dog and cat: description of technique and preliminary evaluation in 14 patients. *Vet. Radiol. Ultrasound*, 1994, **35**, 445–456.

TIPOLD A. Cerebrospinal Fluid. In: Braund K. G. (Eds), *Clinical Neurology in Small Animals-Localization, Diagnosis and Treatment*. International Veterinary Information Service. IVIS (www. ivis.org), Ithaca, New York, 2003.

TIRADO A., NAGDEV A., HENNINGSEN C., BRECKON P., CHILES K. Ultrasound-guided procedures in the emergency department-needle guidance and localization. *Emerg. Med. Clin. North Am.*, 2013, **31**, 87–115.

UPPAL V., KEARNS R.J., MCGRADY E.M. Evaluation of M43B Lumbar puncture simulator-II as a training tool for identification of the epidural space and lumbar puncture. *Anaesthesia*, 2011, **66**, 493–496.

VALVERDE A. Epidural analgesia and anesthesia in dogs and cats. *Vet. Clin. North Am. Small Anim. Pr.*, 2008, **38**, 1205–1230.

VERNAU W. Cerebrospinal Fluid Assessment in Dogs and Cats. In: *Proceedings of IVIS, International Veterinary Information Service, (50° Congresso Nazionale Multisala SCIVAC : Società Culturale Italiana Veterinari per Animali da Compagnia), Rimini, Italie, [en ligne] (2005)* Adresse URL : http://www.ivis.org/proceedings/scivac/2005/Vernau5_en.pdf?LA=1, Consulté le 17/09/2009.

VIGNOLI M., OHLERTH S., ROSSI F., POZZI L., TERRAGNI R., CORLAZZOLI D., KASER-HOTZ B. Computed tomography-guided fine-needle aspiration and tissue-core biopsy of bone lesions in small animals. *Vet. Radiol. Ultrasound*, 2004, **45**, 125–130.

VIGNOLI M., SAUNDERS J.H. Image-guided interventional procedures in the dog and cat. *Vet.*

J., 2011, **187**, 297–303.

VISCASILLAS J., BENIGNI L., BRODBELT D., ALIBHAI H. Use of needle enhancing software to improve injection technique amongst inexperienced anaesthetists performing ultrasound-guided peripheral nerves blocks in dogs. *Vet. Anaesth. Analg.*, 2013, **40**, e83-e90 ;

VISCASILLAS, J., GREGORI, T., CASTIÑEIRAS, D., REDONDO, I., SEYMOUR, C. Description and evaluation of four ultrasound-guided approaches to aid spinal canal puncture in dogs. *Vet. Anaesth. Analg.*, 2015, doi:10.1111/vaa.12324.

VISCASILLAS J., SANCHIS S., SNEDDON C. Ultrasound guided epidural catheter placement in a dog. *Vet. Anaesth. Analg.*, 2014, **41**, 330–331.

VOGEL J.A., HAUKOOS J.S., ERICKSON C.L., LIAO M.M., THEORET J., SANZ G.E., KENDALL J. Is long-axis view superior to short-axis view in ultrasound-guided central venous catheterization? *Crit. Care Med.*, 2015, **43**, 832–839.

WAMSLEY H. Clinical pathology. In : Platt S.R., Olby N.S. (Eds), *BSAVA Manual of Canine and Feline Neurology*. Fourth edition. British Small Animal Veterinary Association: Gloucester, England, 2014, 36-58.

WANG E.E., QUINONES J., FITCH M.T., DOOLEY-HASH S., GRISWOLD-THEODORSON S., MEDZON R., KORLEY F., LAACK T., ROBINETT A., CLAY L. Developing technical expertise in emergency medicine--the role of simulation in procedural skill acquisition. *Acad. Emerg. Med.*, 2008, **15**, 1046–1057.

WEISSMAN C. The metabolic response to stress: an overview and update. *Anesthesiology*, 1990, **73**, 308–327.

WIDMER W.R. Iohexol and iopamidol: new contrast media for veterinary myelography. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 1989, **194**, 1714–1716.

WIDMER W.R., THRALL D. E. Canine and Feline Intervertebral Disc Disease, Myelography, and Spinal Cord Disease. In: Thrall D. E. (Ed.), *Textbook of Veterinary Diagnostic Radiology*. Fifth edition. Saunders: St Louis, 2007, 194-219.

WILLIAMS R.K., ADAMS D.C., ALADJEM E. V, KREUTZ J.M., SARTORELLI K.H., VANE D.W.,

ABAJIAN J.C. The safety and efficacy of spinal anesthesia for surgery in infants: the Vermont Infant Spinal Registry. *Anesth. Analg.*, 2006, **102**, 67–71.

WILLSCHKE H., BOSENBERG A., MARHOFER P., WILLSCHKE J., SCHWINDT J., WEINTRAUD M., KAPRAL S., KETTNER S. Epidural catheter placement in neonates: sonoanatomy and feasibility of ultrasonographic guidance in term and preterm neonates. *Reg. Anesth. Pain Med.*, 2007, **32**, 34–40.

WILLSCHKE H., MARHOFER P., BOSENBERG A., JOHNSTON S., WANZEL O., SITZWOHL C., KETTNER S., KAPRAL S. Epidural catheter placement in children: comparing a novel approach using ultrasound guidance and a standard loss-of-resistance technique. *Br. J. Anaesth.*, 2006, **97**, 200–207.

WINDSOR R.C., VERNAU K.M., STURGES B.K., KASS P.H., VERNAU W. Lumbar cerebrospinal fluid in dogs with type I intervertebral disc herniation. *J. Vet. Intern. Med.*, 2008, **22**, 954–960.

WITSBERGERT H., LEVINE J.M., FOSGATE G.T., SLATER M.R., KERWIN S.C., RUSSELL K.E., LEVINE G.J. Associations between cerebrospinal fluid biomarkers and long-term neurologic outcome in dogs with acute intervertebral disk herniation. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 2012, **240**, 555–562.

WOOD E.F., O'BRIEN R.T., YOUNG K.M. Ultrasound-guided fine-needle aspiration of focal parenchymal lesions of the lung in dogs and cats. *J. Vet. Intern. Med.*, 1998, **12**, 338–342.

ZEKAS L.J., CRAWFORD J.T., O'BRIEN R.T. Computed tomography-guided fine-needle aspirate and tissue-core biopsy of intrathoracic lesions in thirty dogs and cats. *Vet. Radiol. Ultrasound*, 2005, **46**, 200–204.