

ANNEE 2021 THESE : 2021 – TOU 3 – 4110

L'ECHOGRAPHIE COMME MOYEN DE SURVEILLANCE INSTRUMENTALE PERANESTHESIQUE DE LA FONCTION CARDIOVASCULAIRE – REVUE BIBLIOGRAPHIQUE CHEZ L'HOMME ET L'ANIMAL DE COMPAGNIE

THESE

pour obtenir le titre de
DOCTEUR VETERINAIRE

DIPLOME D'ETAT

*présentée et soutenue publiquement
devant l'Université Paul-Sabatier de Toulouse*

par

HARDY Marie

Née le 08/02/1997 à REIMS (51)

Directrice de thèse : Mme Géraldine JOURDAN

JURY

PRESIDENT :

M. Christian VIRENQUE

Professeur à l'Université Paul Sabatier de TOULOUSE

ASSEESSEURES :

Mme Géraldine JOURDAN

Mme Sylvie CHASTANT-MAILLARD

Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

Professeure à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

**Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation
ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE TOULOUSE**

Liste des directeurs/assesseurs de thèse de doctorat vétérinaire

Directeur : Professeur Pierre SANS

PROFESSEURS CLASSE EXCEPTIONNELLE

- M. **BERTAGNOLI Stéphane**, *Pathologie infectieuse*
- M. **BOUSQUET-MELOU Alain**, *Pharmacologie, thérapeutique*
- M. **BRUGERE Hubert**, *Hygiène et industrie des aliments d'origine animale*
- Mme **CHASTANT-MAILLARD Sylvie**, *Pathologie de la reproduction*
- M. **CONCORDET Didier**, *Mathématiques, statistiques, modélisation*
- M. **DELVERDIER Maxence**, *Anatomie pathologique*
- M. **ENJALBERT Francis**, *Alimentation*
- Mme **GAYRARD-TROY Véronique**, *Physiologie de la reproduction, endocrinologie*
- Mme **HAGEN-PICARD Nicole**, *Pathologie de la reproduction*
- M. **MEYER Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- M. **SCHELCHER François**, *Pathologie médicale du bétail et des animaux de basse-cour*
- Mme **TRUMEL Catherine**, *Biologie médicale animale et comparée*

PROFESSEURS 1^{ère} CLASSE

- M. **BAILLY Jean-Denis**, *Hygiène et industrie des aliments*
- Mme **BOURGES-ABELLA Nathalie**, *Histologie, anatomie pathologique*
- Mme **CADIERGUES Marie-Christine**, *Dermatologie vétérinaire*
- M. **DUCOS Alain**, *Zootéchnie*
- M. **FOUCRAS Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- M. **GUERIN Jean-Luc**, *Aviculture et pathologie aviaire*
- M. **JACQUIET Philippe**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
- Mme **LACROUX Caroline**, *Anatomie pathologique, animaux d'élevage*
- Mme **LETRON-RAYMOND Isabelle**, *Anatomie pathologique*
- M. **LEFEBVRE Hervé**, *Physiologie et thérapeutique*
- M. **MAILLARD Renaud**, *Pathologie des ruminants*

PROFESSEURS 2^{ème} CLASSE

- Mme **BOULLIER Séverine**, *Immunologie générale et médicale*
- M. **CORBIERE Fabien**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **DIQUELOU Armelle**, *Pathologie médicale des équidés et des carnivores*
- M. **GUERRE Philippe**, *Pharmacie et toxicologie*
- Mme **MEYNADIER Annabelle**, *Alimentation animale*
- M. **MOGICATO Giovanni**, *Anatomie, imagerie médicale*
- Mme **PAUL Mathilde**, *Epidémiologie, gestion de la santé des élevages avicoles*
- M. **RABOISSON Didier**, *Médecine de population et économie de la santé animale*

MAITRES DE CONFERENCES HORS CLASSE

- M. **BERGONIER Dominique**, *Pathologie de la reproduction*
- Mme **BIBBAL Delphine**, *Hygiène et industrie des denrées alimentaires d'origine animale*
- Mme **CAMUS Christelle**, *Biologie cellulaire et moléculaire*
- M. **JAEG Jean-Philippe**, *Pharmacie et toxicologie*
- M. **LYAZRHI Faouzi**, *Statistiques biologiques et mathématiques*
- M. **MATHON Didier**, *Pathologie chirurgicale*
- Mme **PALIERNE Sophie**, *Chirurgie des animaux de compagnie*
- Mme **PRIYENKO Nathalie**, *Alimentation*
- M. **VOLMER Romain**, *Microbiologie et infectiologie*

MAITRES DE CONFERENCES CLASSE NORMALE

- M. **ASIMUS Erik**, *Pathologie chirurgicale*
- Mme **BRET Lydie**, *Physique et chimie biologiques et médicales*
- Mme **BOUHSIRA Emilie**, *Parasitologie, maladies parasitaires*
- M. **CARTIAUX Benjamin**, *Anatomie, imagerie médicale*
- M. **CONCHOU Fabrice**, *Imagerie médicale*
- Mme **DANIELS Hélène**, *Immunologie, bactériologie, pathologie infectieuse*
- Mme **DAVID Laure**, *Hygiène et industrie des aliments*
- M. **DIDIMO IMAZAKI Pedro**, *Hygiène et industrie des aliments*
- M. **DOUET Jean-Yves**, *Ophthalmologie vétérinaire et comparée*
- Mme **FERRAN Aude**, *Physiologie*
- Mme **GRANAT Fanny**, *Biologie médicale animale*
- Mme **JOURDAN Géraldine**, *Anesthésie, analgésie*
- M. **JOUSSERAND Nicolas**, *Médecine interne des animaux de compagnie*
- Mme **LALLEMAND Elodie**, *Chirurgie des équidés*
- Mme **LAVOUE Rachel**, *Médecine Interne*
- M. **LE LOC'H Guillaume**, *Médecine zoologique et santé de la faune sauvage*
- M. **LIENARD Emmanuel**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
- Mme **MEYNAUD-COLLARD Patricia**, *Pathologie chirurgicale*
- Mme **MILA Hanna**, *Elevage des carnivores domestiques*
- M. **NOUVEL Laurent**, *Pathologie de la reproduction*
- M. **VERGNE Timothée**, *Santé publique vétérinaire, maladies animales réglementées*
- Mme **WASET-SZKUTA Agnès**, *Production et pathologie porcine*

INGENIEURS DE RECHERCHE

- M. **AUMANN Marcel**, *Urgences, soins intensifs*
- M. **AUVRAY Frédéric**, *Santé digestive, pathogénie et commensalisme des entérobactéries*
- M. **CASSARD Hervé**, *Pathologie des ruminants*
- M. **CROVILLE Guillaume**, *Virologie et génomique cliniques*
- Mme **DEBREUQUE Maud**, *Médecine interne des animaux de compagnie*
- Mme **DIDIER Caroline**, *Anesthésie, analgésie*
- Mme **DUPOUY GUIRAUTE Véronique**, *Innovations thérapeutiques et résistances*
- Mme **GAILLARD Elodie**, *Urgences, soins intensifs*
- Mme **GEFFRE Anne**, *Biologie médicale animale et comparée*
- Mme **GRISEZ Christelle**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
- Mme **JEUNESSE Elisabeth**, *Bonnes pratiques de laboratoire*
- Mme **PRESSANTI Charline**, *Dermatologie vétérinaire*
- M. **RAMON PORTUGAL Félipe**, *Innovations thérapeutiques et résistances*
- M. **REYNOLDS Brice**, *Médecine interne des animaux de compagnie*
- Mme **ROUCH BUCK Pétra**, *Médecine préventive*

REMERCIEMENTS

À Monsieur le Docteur Christian VIRENQUE

Professeur des Universités Paul Sabatier de Toulouse

Praticien Hospitalier

Anesthésiologie

Qui me fait l'honneur d'accepter la présidence du jury de cette thèse

Hommages respectueux

À Madame la Docteur Géraldine JOURDAN

Maître de Conférences en anesthésie-analgésie

Professeur de l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse

Anesthésie – Analgésie

Qui m'a soutenue tout au long de ce travail et de ma scolarité, pour sa bienveillance et son

aide précieuse

Remerciements très chaleureux

À Madame la Docteur Sylvie CHASTANT-MAILLARD

Professeur à l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse,

Pathologie de la reproduction

Qui me fait l'honneur de faire partie de mon jury de soutenance de thèse, pour sa

disponibilité et son engagement en clinique

Sincères remerciements

Enfin, j'adresse mes sincères remerciements et toute ma sympathie à l'équipe du service d'Anesthésie, pour m'avoir soutenue pendant la rédaction de ce travail, et pour m'avoir donné goût à cette discipline lors de mes rotations en clinique.

TABLE DES MATIERES

Table des abréviations	11
Table des illustrations	13
Introduction	17
I/ La surveillance instrumentale cardiovasculaire par échographie en médecine humaine	19
A/ Evaluation du débit cardiaque	20
1) Par échocardiographie transthoracique	20
2) Par échocardiographie transœsophagienne	21
3) Synthèse	21
B/ Evaluation de la capacité de réponse à la fluidothérapie	22
1) Par échocardiographie transthoracique	22
2) Par échocardiographie transœsophagienne	24
3) Par échographie de la veine cave inférieure et de l'aorte	25
4) Par échographie de la veine jugulaire et de la carotide	27
5) Par échographie de la veine subclaviaire	28
6) Par échographie de l'artère brachiale	28
7) Synthèse	29
C/ Evaluation de la pression veineuse centrale	32
1) Par échocardiographie transœsophagienne	33
2) Par échographie de la veine cave inférieure et de l'aorte	33
3) Par échographie de la veine jugulaire et de la carotide	34
4) Par échographie de la veine et de l'artère fémorale	35
5) Synthèse	36
D/ Evaluation de la pression dans l'atrium droit	38
1) Par échographie de la veine cave inférieure et de l'aorte abdominale	38
2) Par échographie de la veine jugulaire et de la carotide	39
3) Par échographie de la veine subclaviaire	39
4) Synthèse	40
E/ Evaluation de la volémie	41
1) Par échographie de la veine cave inférieure et de l'aorte	41
2) Par échographie de la veine subclaviaire	41
3) Synthèse	42
F/ Evaluation de la pression artérielle pulmonaire moyenne	43
G/ Prédiction de l'hypotension post-induction anesthésique	43
H/ Evaluation des pertes sanguines par échographie de la veine cave et de l'aorte	44
I/ Considérations pratiques	45
1) Echocardiographie transœsophagienne	45
2) Echographie abdominale : visualisation de la veine cave inférieure et de l'aorte abdominale	46
3) Echographie de la région cervicale : visualisation de la jugulaire et de la carotide	48
4) Visualisation de la veine et de l'artère fémorale par échographie	49
5) Visualisation de la veine subclaviaire par échographie	50
6) Visualisation de l'artère brachiale par échographie	51

A/ Chez le chien	53
1) Estimation du débit cardiaque	54
1.1) Par échocardiographie transthoracique	54
1.2) Par échocardiographie transœsophagienne	55
1.3) Synthèse	55
2) Evaluation de la capacité de réponse à la fluidothérapie	56
2.1) Par échocardiographie transthoracique	56
2.2) Par échographie de la veine cave caudale et de l'aorte	57
2.3) Synthèse	58
3) Evaluation des pertes sanguines	59
3.1) Echographie de la veine cave caudale et de l'aorte	59
3.2) Synthèse	60
4) Evaluation de la déshydratation	61
4.1) Par échographie de la veine cave caudale et de l'aorte	61
4.2) Synthèse	61
5) Evaluation des variations de la pression veineuse centrale	61
5.1) Par échographie de la veine cave caudale et de l'aorte	62
5.2) Par échographie de la veine hépatique	62
5.3) Synthèse	63
6) Evaluation des variations de la pression artérielle	64
6.1) Par échographie de la veine cave caudale et de l'aorte	64
6.2) Par échographie de la veine hépatique	64
6.3) Par échographie de la veine jugulaire et de l'artère carotide	64
6.4) Synthèse	64
7) Détection d'une insuffisance cardiaque congestive droite	65
7.1) Par échographie de la veine cave caudale et de l'aorte	65
7.2) Par échographie de la veine hépatique	66
7.3) Synthèse	66
8) Détection d'une hypertension artérielle systémique par échographie de la veine cave caudale et de l'aorte	67
9) Estimation du reflux tricuspide par échographie en Pw-doppler de la veine hépatique	67
10) Considérations pratiques	69
10.1) Vues utilisées en échocardiographie transthoracique pour la surveillance instrumentale par échographie	69
10.2) Vues utilisées en échocardiographie transœsophagienne pour la surveillance instrumentale par échographie	71
10.3) Echographie de la veine cave caudale et de l'aorte	74
10.4) Echographie de la veine hépatique	79
10.5) Echographie de la jugulaire et de la carotide	81
B/ Chez le chat	82
1) Mise en évidence des variations de la pression artérielle par échographie de la veine cave caudale et de l'aorte	82
2) Evaluation des pertes sanguines par échographie de la veine cave caudale et de l'aorte	82
3) Considérations pratiques	83
C/ Chez le cheval	87
1) Mesure du débit cardiaque	87

2) Considérations pratiques : mise en place de l'échocardiographie transœsophagienne	87
3) Détermination d'une nouvelle méthode de surveillance instrumentale par échographie chez le poulain	88
3.1) Les différentes vues décrites	88
3.2) Faisabilité de la méthode	90
CONCLUSION	95
Bibliographie	97

TABLE DES ABREVIATIONS

Δ CDPV : Variation respiratoire du pic de vitesse de la carotide

Δ Vpicbrach : variation respiratoire du pic de vitesse de l'artère brachiale

Δ VTI : variation de la velocity time integral

Δ Vpic : Variation du pic de vitesse aortique

Ao : Aorte

Ao/VCC : rapport des diamètres de l'aorte sur la veine cave caudale

B-Mode : "Brightness Mode"

CDPV_{max} : pic maximal de vitesse de l'artère carotide

CDPV_{min} : pic minimal de vitesse de l'artère carotide

CPAP : pression positive continue dans les voies aériennes

DC : Débit cardiaque

DVF : diamètre de la veine fémorale

DVF/DAF : rapport des diamètres de la veine fémorale et de l'artère fémorale

ECG : Electrocardiogramme

ETO : Echocardiographie transoesophagienne

FC : Fréquence cardiaque

ICCD : insuffisance cardiaque congestive droite

ICCG : insuffisance cardiaque congestive gauche

M-Mode : "Motion Mode"

PAM : pression artérielle moyenne

PEEP : pression positive en fin d'expiration

PVC : Pression Veineuse Centrale

PW - Doppler : "Pulsed Wave Doppler"

S/D : rapport des vitesses de la S-wave et de la D-wave

VCC : veine cave caudale

VCC/Ao : rapport des diamètres de la VCC et de l'Aorte

VCCCI : indice de collapsibilité de la veine cave caudale

VCCDI : indice de distensibilité de la veine cave caudale

VCC_{max} : diamètre maximal de la veine cave caudale

VCC_{min} : diamètre minimal de la veine cave caudale

VCI : Veine Cave Inférieure

VCI/Ao : Rapport des diamètres de la veine cave inférieure et de l'aorte

VCI CI : indice de collapsibilité de la veine cave inférieure

VCI DI : indice de distensibilité de la veine cave inférieure

VCI_{max} : diamètre maximal de la veine cave inférieure

VCI_{min} : diamètre minimal de la veine cave inférieure

VFCI : indice de collapsibilité de la veine fémorale

VJI : Veine Jugulaire Inférieure

VJI/AC : rapport des diamètres de la veine jugulaire inférieure et de l'artère carotide

VJICI : indice de collapsibilité de la veine jugulaire inférieure

VP/AP : rapport des diamètres de la veine pulmonaire et de l'artère pulmonaire

Vpicbrach_{max} : pic maximal de vitesse de l'artère brachiale

Vpicbrach_{min} : pic minimal de vitesse de l'artère brachiale

Vpic_{max} : Pic de vitesse aortique maximal

Vpic_{min} : Pic de vitesse aortique minimal

VSC : veine subclaviaire

VSCCI : indice de collapsibilité de la veine subclaviaire

VSC_{max} : diamètre maximal de la veine subclaviaire

VSC_{min} : diamètre minimal de la veine subclaviaire

VTI : "Velocity Time Integral"

TABLE DES ILLUSTRATIONS

FIGURES

<i>Figure 1 : Position de la sonde pour les vues parasternales, apicales et subcostales chez l'homme (Echopedia.org, 2016)</i>	21
<i>Figure 2: Variation de la VTI aortique au cours du cycle respiratoire en PW-DOPPLER chez l'homme (MIELNICKI ET AL. 2016)</i>	23
<i>Figure 3 : VTI du flux sortant du ventricule gauche avant administration de fluide, pendant une occlusion en fin d'expiration, pendant une occlusion en fin d'inspiration et après l'administration de fluide chez l'homme par échocardiographie transoesophagienne. (Jozwiak et al. 2017)</i>	24
<i>Figure 4 : Vue 4 cavités en échocardiographie transoesophagienne chez l'homme (Flachskampf, 2001)</i>	45
<i>Figure 5 : Vue moyenne bicavité en échocardiographie transoesophagienne chez l'homme : mesure du diamètre de la veine cave inférieure à la jonction avec l'atrium droit. (Arthur et al. 2009)</i>	46
<i>Figure 6 : Approche sub-xiphoidienne "long-axis" de la VCI (=IVC) en B-Mode et en M-mode chez l'homme. (A) : respiration passive ; (B) inspiration forcée. (Finnerty et al. 2017)</i>	46
<i>Figure 7 : Méthode de visualisation échographique de la veine jugulaire interne chez l'homme. Vue transversale en M-mode. (Kent et al. 2015)</i>	48
<i>Figure 8 : Images de la veine femorale (CFV) et de l'artère femorale (CFA) par échographie chez l'homme. (Ma et al. 2021).</i>	50
<i>Figure 9 : Image échographique de la veine sub claviaire en coupe transversale en B-mode chez l'homme. (IISUKA ET AL. 2020)</i>	50
<i>Figure 10 : Forme pulsée du flux de la veine hépatique médiale droite en pw-doppler avec enregistrement ecg en parallèle chez un chien sain anesthésié. le flux rétrograde par rapport à la sonde (s'éloigne du cœur) est reporté en haut de la ligne, le flux rétrograde par rapport à la sonde est reporté sous la ligne. (NELSON ET AL, 2010)</i>	62
<i>Figure 11 : PW-Doppler de la veine hépatique chez le chien sain anesthésié. (A) dans un contexte cardiovasculaire normal, (B) lors d'augmentation de la pression veineuse centrale par remplissage vasculaire. (Nelson et al. 2010)</i>	63
<i>Figure 12 : visualisation de la dilatation de la veine hépatique en vue sub-xiphoidienne chez le chien en insuffisance cardiaque congestive droite (Chou et al. 2021)</i>	66
<i>Figure 13 : flux veineux hépatique chez des chiens présentant un reflux tricuspide. (A) : flux à dominance systolique normale avec reflux tricuspide léger. (B&C) : pattern inversé avec une S-wave plus petite que la d-wave, reflux tricuspide modéré. (D) : flux rétrograde pendant la systole ventriculaire avec fusion de la S-wave avec la A- et la v-wave avec reflux tricuspide sévère (Kim et al. 2017)</i>	68
<i>Figure 14 : Positionnement du Doppler juste distalement à la valve pulmonaire en vue "short-axis" gauche chez le chien. RV = ventricule droit, AO = AORTE, PA = artère pulmonaire (Lopes et al. 2010)</i>	69
<i>Figure 15 : Coupe "short-axis" gauche chez le chien. (thomas et al. 1993)</i>	69
<i>Figure 16 : Positionnement du doppler au niveau de l'aorte ascendante en vue apicale 5 cavités gauche chez le chien. RV = ventricule droit, LV = ventricule gauche, RA = atrium droit, LA = atrium gauche. (Lopes et al. 2010)</i>	70
<i>Figure 17 : Vue échocardiographique sub-costale en Doppler du flux en sortie du ventricule gauche chez le chien. (Rabozzi et al. 2020)</i>	70
<i>Figure 18 : "Longitudinal cranial-esophageal aorta long-axis-view" avec le marqueur d'échantillonnage (sample volume) au centre de l'aorte ascendante par ETO chez le chien. PA = artère pulmonaire, RaU = AURICULE DROIT, LVPEP = période pré-éjectionnelle du ventricule gauche, LVET = temps d'éjection du ventricule gauche. (GOYA et al. 2017)</i>	71
<i>Figure 19 : Position de la sonde pOUr les vues longitudinale craniale par ETO chez le chien. (Domenech et aloviera, 2013)</i>	71
<i>Figure 20 : position de la sonde pour les coupes transverse moyenne par ETO chez le chien (Domenech et aliviera 2013)</i>	72

Figure 21 : " transverse middle-esophageal mitral valve long-axis-view" avec le marqueur d'échantillonnage (sample volume) a la pointe de la valve mitrale (mv) par eto chez le chien. La = atrium gauche, ra = atrium droit, rv = ventricule droit, lv = ventricule gauche. A = pic de vitesse atriale systolique, e = pic de vitesse diastolique precoce. (goya et al. 2017)	72
Figure 22 : Position de la sonde en vue transgastrique par ETO chez le chien (Domenech et Oliveira, 2013)	73
Figure 23 : ETO chez le chien : (A) Vue transgastrique du flux sortant du ventricule gauche par échocardiographie transoesophagienne. (B) VTI du flux aortique calculé par le contour du flux sanguin aortique. (Mantovani et al. 2017)	73
Figure 24 : Placement de la sonde pour obtenir la vue hépatique chez le chien. CR = crânial. (Darnis et al. 2018)	74
Figure 25: Visualisation de la veine cave caudale en vue transhépatique en M-mode chez le chien. (Donati et al. 2020)	74
Figure 26: Coupe transversale de la veine cave caudale (CVC), de l'Aorte (AA) et de la veine porte (PV) en vue transhépatique en B-Mode chez le chien (Sartor et al, 2010)	74
Figure 27 : placement de la sonde pour obtenir la vue sub-xiphoidienne chez le chien. CR = cranial (darnis et al. 2018)	75
Figure 28 : Mise en évidence de la veine cave caudale et de son diamètre en vue sub-xiphoidienne en B-mode chez le chien (Darnis et al. 2019)	75
Figure 29 : Mise en évidence de la veine cave caudale et de son diamètre maximal et minimal en vue sub-xiphoidienne en M-Mode chez le chien (Darnis et al. 2019)	75
Figure 30 : placement de la sonde pour obtenir la vue paralombaire chez le chien. CR = cranial. (darnis et al. 2018)	76
Figure 31 : Mise en évidence de la veine cave caudale (CVC) et de l'aorte (AO) en vue paralombaire chez le chien en B-MODE à droite et en M-mode à gauche. (DARNIS ET AL. 2018)	76
Figure 32: Placement de la sonde pour obtenir la vue spléno-renal chez le chien (Cambournac et al. 2018)	77
Figure 33 : Coupe transversale du rein gauche (LK), de la veine cave caudale (CVC) et de l'aorte (Ao) en vue spléno-rénale en B-Mode chez le chien (cambournac et al. 2018)	77
Figure 34 : Formules prédictives pour les mesures échographiques de la VCC et de l'aorte avec la méthode de l'échelle scallométrique chez le chien.	78
Figure 35 : visualisation de la veine hépatique en vue sub-xiphoidienne chez le chien sain (CHOU et al. 2021)	79
Figure 36 : Image échographique et pw-doppler associé, de la veine du lobe carré du foie et de sa proximité avec la vésicule biliaire chez le chien. (Smithenson et al, 2004)	80
Figure 37 : Valeurs de références des différentes vagues du flux hépatique en PW-Doppler en vue sub-xiphoidienne selon le poids du chien. (Silva et al. 2020)	80
Figure 38 : Diamètre moyen de la veine cave caudale avant (T0) et après (T1) un don de sang, et après restauration de la volémie (T2) chez le chat par échographie. (SANGER ET AL. 2021)	83
Figure 39 : Visualisation de la position de la sonde pour la vue trans-hépatique (HV), la vue paralombaire (PV) et la vue sub-xiphoidienne (SV) chez le chat (Sänger et al. 2021)	84
Figure 40 : Image échographique de la veine cave caudale (CVC, en rouge) et de la veine porte (en bleu) en vue trans-hépatique en B-Mode. (SANGER ET AL. 2021)	84
Figure 41 : Localisation de la sonde en vue iliaque gauche chez le chat (Nguyen, 2021)	85
Figure 42 : Coupe transversale de la VCC (1) et de l'aorte (2) en vue iliaque chez le chat (nguyen 2021)	85
Figure 43 : Valeurs de références chez des chats (Poids moyen = 5kg), vigiles, pour différentes vues. (SV = sub-xiphoidienne ; HV = transhépatique ; PV = paralombaire) (Sänger et al, 2021)	86
Figure 44 : En haut : image échographique du foie, du diaphragme et de la veine cave caudale en vue sub-xiphoidienne en B-mode chez le poulain.	88
Figure 45 : VUE dorsale droite : (a) placement de la sonde et (b) image échographique du rein droit, de la veine cave caudale (cvc) et de l'aorte (ao) chez le poulain (DEL PRETE ET AL. 2021)	89
Figure 46 : Vue dorsale gauche: (A) placement de la sonde et (b) image échographique du rein gauche, de la Veine cave caudale (CVC) et de l'aorte (AO) chez le poulain (del prete et al. 2021)	89

Figure 47: vue ventrale gauche : (a) placement de la sonde et (b) image échographique du rein gauche, de la veine cave caudale (CVC) et de l'AORTE (AO) chez le poulain. (del prete et al. 2021) _____ 90

TABLEAUX

Tableau 1 : Synthèse des différents paramètres échographiques permettant de prédire la capacité de réponse à la fluidothérapie chez l'homme. _____	31
Tableau 2 : Synthèse des différents paramètres échographiques permettant d'estimer la pression veineuse centrale chez l'homme _____	38
Tableau 3 : Synthèse des différents paramètres échographiques permettant d'estimer la pression atrial droite chez l'homme _____	40
Tableau 4 : Synthèse des différents paramètres échographiques permettant d'estimer la volémie chez l'homme _____	42
Tableau 5 : Synthèse des différents paramètres échographiques permettant d'évaluer la capacité de réponse à la fluidothérapie chez le chien _____	59
Tableau 6 : Valeurs de référence du diamètre de l'aorte et de la veine cave caudale, ainsi que du rapport VCC/Ao par échographie en vue splénorenale chez le chien _____	78
Tableau 7 : Valeurs de référence du diamètre de la veine cave caudale et de l'indice de collapsibilité de la VCC par échographie en vue sub-xiphœidienne chez le chien _____	79

INTRODUCTION

Que ce soit en médecine humaine ou en médecine vétérinaire, il est essentiel de surveiller la fonction cardiovasculaire durant la période peranesthésique. En effet, au-delà d'une surveillance permettant de maintenir le patient en vie, il est essentiel d'éviter toutes les complications liées à une perturbation cardiovasculaire. Parmi les principales complications, on peut retrouver l'hypotension, l'hypovolémie voire la surcharge volémique. Il est également important de pouvoir détecter des pertes sanguines et de les quantifier. Enfin, il est possible de surveiller l'intensité des reflux tricuspidiens au cours de l'anesthésie afin d'adapter au mieux la prise en charge.

En médecine humaine, de nombreuses méthodes existent afin d'évaluer ces paramètres, mais elles sont pour la plupart invasives et présentent des risques ainsi qu'un coût non négligeable. Des recherches sont ainsi menées depuis plusieurs dizaines d'années afin de mettre en œuvre de nouvelles méthodes non invasives d'estimation de ces paramètres. Avec l'essor de l'échographie, de nombreuses études sont réalisées depuis une dizaine d'années afin d'évaluer des paramètres échographiques statiques et dynamiques au niveau du cœur et de différents vaisseaux sanguins, permettant l'évaluation de ces paramètres d'intérêts.

En médecine vétérinaire, l'estimation de ces paramètres est essentiellement clinique et les méthodes invasives ne sont pas utilisées en pratique courante. Suites aux études réalisées en médecine humaine, l'échographie s'est révélée comme une méthode peu invasive et peu coûteuse d'évaluation de paramètres jusque-là peu évaluables en clinique, notamment la capacité de réponse de l'animal à la fluidothérapie. Le but de ce travail bibliographique est donc de réaliser un état des lieux des connaissances acquises en médecine humaine en monitoring cardiovasculaire par échographie, et de le comparer à ce qui est actuellement décrit en médecine vétérinaire.

I/ LA SURVEILLANCE INSTRUMENTALE CARDIOVASCULAIRE PAR ECHOGRAPHIE EN MEDECINE HUMAINE

Depuis plusieurs dizaines d'années de nombreuses méthodes échographiques de surveillance instrumentale cardiovasculaire sont développées en médecine humaine. Elles permettent ainsi d'évaluer de nombreux paramètres d'intérêts, notamment durant la période peranesthésique.

La plupart de ces paramètres sont liés entre eux, on retrouve notamment le débit cardiaque, la pression veineuse centrale, la pression dans l'atrium droit, la pression artérielle pulmonaire moyenne et la volémie. D'autres éléments peuvent être évalués afin d'anticiper et d'optimiser la prise en charge des patients comme la capacité de réponse à la fluidothérapie, l'évaluation des pertes sanguines ou encore la prédiction des hypotensions post-induction anesthésique.

Ainsi, pour chacun de ces paramètres, différentes méthodes d'évaluation échographiques ont été étudiées. On retrouve principalement l'échocardiographie transthoracique et transoesophagienne, ainsi que l'échographie de la veine cave inférieure et de l'aorte par abord abdominal.

Cependant ces méthodes présentent des limites : l'échocardiographie transoesophagienne reste une méthode invasive qui ne peut pas être utilisée chez tous les patients, et l'échocardiographie transthoracique ainsi que l'échographie de la veine cave inférieure et de l'aorte par abord abdominal sont deux méthodes peu utilisables dans un bloc opératoire ou bien chez certains patients comme les patients obèses.

D'autres méthodes sont alors étudiées, impliquant des vaisseaux plus périphériques comme la veine jugulaire, la carotide, la veine subclaviaire, la veine et l'artère fémorale, ou encore l'artère brachiale.

A/ EVALUATION DU DEBIT CARDIAQUE

Le débit cardiaque (DC), exprimé en L/min, est défini comme le produit du volume d'éjection systolique par la fréquence cardiaque. Si la pression artérielle dépend largement du débit cardiaque, sa régulation est fine et fait intervenir de nombreux autres déterminants et mécanismes. Il est ainsi possible d'obtenir des valeurs de pression artérielle satisfaisantes alors que le débit cardiaque est trop bas et donc la délivrance tissulaire en oxygène insuffisante.

Ainsi, durant la période peranesthésique, il peut être intéressant de surveiller le débit cardiaque en plus de la pression artérielle, afin de s'assurer d'une perfusion tissulaire adéquate et ainsi éviter toute défaillance organique pouvant être secondaire aux perturbations cardiovasculaires liées à l'anesthésie.

Actuellement, la méthode de référence pour la mesure du débit cardiaque est la méthode par thermodilution. Cette technique est invasive, coûteuse, et nécessite du personnel expérimenté. C'est pourquoi des études sont actuellement menées afin de déterminer une méthode fiable d'évaluation non invasive du débit cardiaque, par échographie. Différents abords échographiques ont été étudiés.

1) PAR ECHOCARDIOGRAPHIE TRANSTHORACIQUE

La mesure du flux sanguin d'une artère par échographie en PW-Doppler permet d'obtenir une valeur appelée "Velocity Time Intégral" (VTI) et ainsi obtenir une estimation du débit cardiaque à l'aide de la formule :

$$DC = VTI \times \text{aire de l'artère en coupe transversale} \times FC$$

L'échocardiographie transthoracique permet donc l'évaluation du débit cardiaque à l'aide de l'aorte (Ao) en vue parasternale et en vue apicale 5 cavités, ou bien à l'aide de l'artère pulmonaire (AP) en vue subcostale (Barbier et al. 2004; Airapetian et al. 2015). Les différents abords sont ainsi représentés en figure 1.

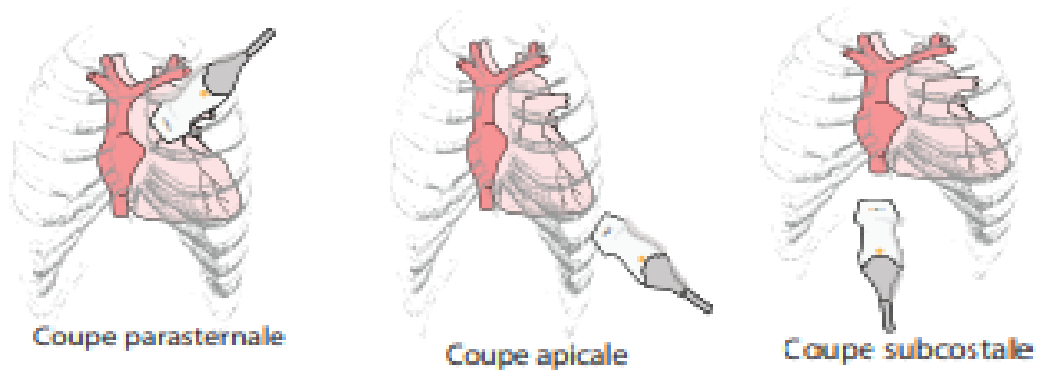


FIGURE 1 : POSITION DE LA SONDE POUR LES VUES PARASTERNALES, APICALES ET SUBCOSTALES CHEZ L'HOMME (ECHOPEDIA.ORG, 2016)

2) PAR ECHOCARDIOGRAPHIE TRANSŒSOPHAGIENNE

De la même manière que pour l'échocardiographie transthoracique, il est possible de calculer le débit cardiaque à l'aide de la formule utilisant la VTI en échocardiographie transœsophagienne (ETO). La VTI est alors mesurée au niveau du flux sortant du ventricule gauche, en vue 4 cavités (Jozwiak et al. 2017; Flachskampf 2001).

3) SYNTHÈSE

Il est ainsi possible de calculer le débit cardiaque d'un patient par échocardiographie transthoracique et par échocardiographie transœsophagienne, en mesurant la VTI au niveau de l'aorte, de l'artère pulmonaire ou bien au niveau du flux sortant du ventricule gauche.

Ces deux méthodes permettent une surveillance régulière du débit cardiaque, avec un coût réduit par rapport à la méthode de référence par thermodilution. Elles sont également beaucoup moins invasives, à conditions de prendre toutes les précautions nécessaires à la mise en place de l'ETO.

B/ EVALUATION DE LA CAPACITE DE REPONSE A LA FLUIDOTHERAPIE

Comme évoqué dans la partie précédente, maintenir un débit cardiaque suffisant est essentiel durant la période peranesthésique afin d'éviter toute complication liée à une éventuelle hypoperfusion tissulaire.

Une des méthodes les plus utilisées pour maintenir le débit cardiaque est la fluidothérapie. En effet, l'administration de fluide permet d'augmenter la précharge et ainsi le DC. Cependant, un excès de fluide peut être délétère et entraîner des œdèmes pulmonaires, la formation de 3^{ème} secteur ou encore diminuer la capacité de diffusion de l'oxygène.

Il est ainsi essentiel de déterminer la capacité de réponse à la fluidothérapie d'un patient afin de ne pas le surcharger inutilement en fluide. L'évaluation clinique du patient ne suffisant pas, des méthodes d'évaluation échographique ont été mises au point.

1) PAR ECHOCARDIOGRAPHIE TRANSTHORACIQUE

L'index cardiaque, obtenu par échocardiographie transthoracique, a été un des premiers éléments étudiés afin de décrire la capacité de réponse à la fluidothérapie. Il est défini comme le rapport du débit cardiaque sur la surface du corps.

Ainsi, chez des patients ventilés mécaniquement une augmentation de 15% ou plus de l'index cardiaque (en vue subcostale) après un bolus intraveineux de fluide, indique que le patient est répondant à la fluidothérapie (Barbier et al. 2004).

Cependant cette méthode ne permet pas de prédire la capacité de réponse à la fluidothérapie avant la réalisation d'un bolus de fluide.

Des indices statiques ont d'abord été étudiés, chez des patients en respiration spontanée, en vue apicale 5 cavités, la valeur de la VTI aortique maximale avant le bolus est supérieure (19cm en moyenne) chez les patients répondant à la fluidothérapie que chez les non répondants (16cm en moyenne) (Airapetian et al. 2015).

Récemment, des indices dynamiques ont été étudiés et permettent de prédire plus précisément la capacité de réponse à la fluidothérapie grâce à la détermination de valeurs seuils (en vue apicale).

De manière générale, la variation de la VTI aortique au cours du cycle respiratoire (Figure 2), est corrélée avec la capacité de réponse à la fluidothérapie. Ainsi, si la variation de la VTI est >20% au cours du cycle respiratoire, alors le patient est considéré comme répondant à la fluidothérapie (Mielnicki, Dyla, Zawada 2016).

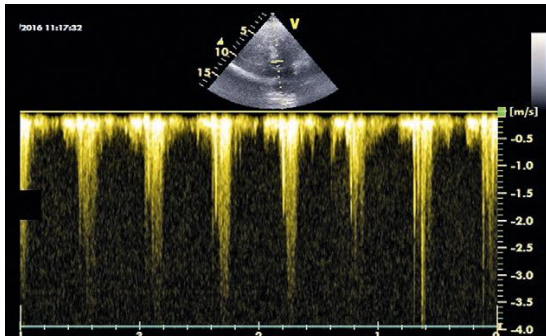


FIGURE 2: VARIATION DE LA VTI AORTIQUE AU COURS DU CYCLE RESPIRATOIRE EN PW-DOPPLER CHEZ L'HOMME (MIELNICKI ET AL. 2016)

Un dernier paramètre dynamique est utilisable en échocardiographie transthoracique, la variation du pic de vélocité aortique (ΔV_{pic}) tel que : (Desgranges et al. 2016)

$$\Delta V_{pic} (\%) = \frac{V_{pic \max} - V_{pic \min}}{0,5 \times (V_{pic \max} + V_{pic \min})}$$

Des études menées sur des enfants en choc septique et ventilés mécaniquement, ont pu démontrer que la ΔV_{pic} permet de prédire la capacité de réponse à la fluidothérapie avec une sensibilité moyenne de 92% et une spécificité de 85,5%. La valeur seuil retenue dans les différentes études est alors comprise entre 7 et 20% (Desgranges et al. 2016).

Cependant des limites s'appliquent à ces méthodes d'évaluation échographique de paramètres dynamiques : (Mielnicki, Dyla, Zawada 2016)

- L'angle du Doppler doit être bien parallèle au flux sanguin
- Le patient doit être sous ventilation mécanique avec un volume courant d'au moins 8mL/kg
- Le patient doit avoir un rythme cardiaque sinusal.
- La méthode ne peut pas être utilisée en cas d'hypertension abdominale.

2) PAR ECHOCARDIOGRAPHIE TRANSCŒSOPHAGIENNE

Il est admis qu'une augmentation du débit cardiaque supérieure ou égale à 5% après un test d'occlusion en fin d'expiration (expiration maintenue pendant 15 secondes) indique que le patient est répondant à la fluidothérapie. De même, avec un test d'occlusion en fin d'inspiration où le débit cardiaque doit diminuer (Jozwiak et al. 2017).

A l'aide de l'ETO en vue 4 cavités, la mesure de la VTI du flux sortant du ventricule gauche permet d'estimer le débit cardiaque.

Il est ainsi possible de prédire la capacité de réponse à la fluidothérapie d'un patient par une augmentation de la VTI de plus de 5% lors d'un test d'occlusion en fin d'expiration, lorsque l'on utilise l'ETO avec une sensibilité de 93% et une spécificité de 100% (Jozwiak et al. 2017).

De plus, si la somme des variations des VTI en valeur absolue des effets des occlusions en fin d'expiration et en fin d'inspiration est $\geq 13\%$, alors le patient est répondant à la fluidothérapie avec une sensibilité de 93% et une spécificité de 100%.

De même pour le débit cardiaque estimé à l'aide de la VTI, une variation $\geq 11\%$ lors d'un test d'occlusion permet de prédire une réponse positive à la fluidothérapie pour une sensibilité de 93% et une spécificité de 80% (Jozwiak et al. 2017).

Ces variations de la VTI du flux sortant du ventricule gauche sont illustrées dans la figure 3 pour les différents tests d'occlusion.

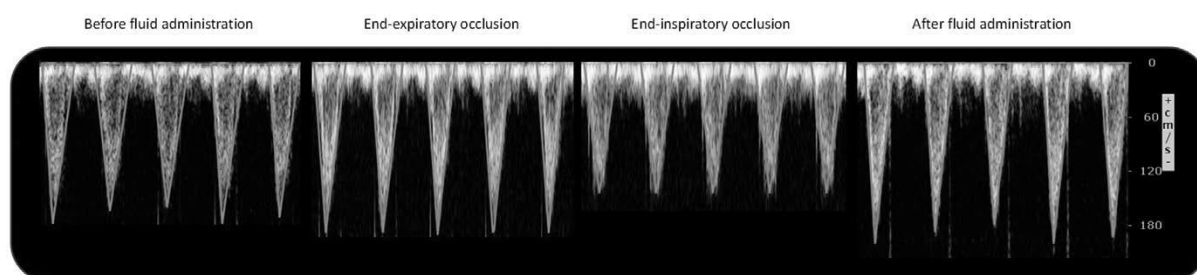


FIGURE 3 : VTI DU FLUX SORTANT DU VENTRICULE GAUCHE AVANT ADMINISTRATION DE FLUIDE, PENDANT UNE OCCLUSION EN FIN D'EXPIRATION, PENDANT UNE OCCLUSION EN FIN D'INSPIRATION ET APRES L'ADMINISTRATION DE FLUIDE CHEZ L'HOMME PAR ECHOCARDIOGRAPHIE TRANSOESOPHAGIENNE. (JOZWIAK ET AL. 2017)

3) PAR ECHOGRAPHIE DE LA VEINE CAVE INFÉRIEURE ET DE L'AORTE

Afin de déterminer la relation entre la Veine Cave Inférieure (VCI) et l'évaluation de la capacité de réponse à la fluidothérapie d'un patient, deux types de paramètres ont été analysés. Sauf mention contraire, toutes les études ont été réalisées en vue sub-xiphœidienne.

Tout d'abord un paramètre statique : le diamètre de la VCI.

Ainsi, un diamètre de la VCI inférieur à 10mm peut prédire une capacité de réponse positive à la fluidothérapie, alors qu'un diamètre de la VCI > 20mm exclut le plus souvent une capacité positive de réponse à la fluidothérapie (Mielnicki, Dyla, Zawada 2016).

Cependant ce genre de paramètre statique n'est pas des plus précis. Il faut alors évaluer des paramètres dynamiques.

Le premier est l'indice de collapsibilité de la VCI (VCICI), évaluable chez les patients en respiration spontanée. Il est défini comme :

$$VCICI (\%) = \frac{VCI_{max} - VCI_{min}}{VCI_{max}} \times 100$$

Le diamètre maximal de la VCI (VCI_{max}) est ainsi obtenu en fin d'expiration, et le diamètre minimal (VCI_{min}) en fin d'inspiration (Yamanoglu et al. 2019).

Selon les études, la sensibilité varie de 39% à 100%, et la spécificité de 28% à 93,3%. Ce qui donne une moyenne de sensibilité de 72% et de spécificité de 75% (Orso et al. 2020). Une valeur seuil a été déterminée, ainsi un patient dont le VCICI est > 40% est considéré comme répondant à la fluidothérapie (Mielnicki, Dyla, Zawada 2016; Das et al. 2018; Zhang et al. 2014; Pereira et al. 2020; Si, Cao, et al. 2018).

Chez les patients pédiatriques, la sensibilité serait de 74% et la spécificité de 68%. Cependant il existe encore peu d'études chez les enfants et il est donc difficile d'établir des conclusions (Orso et al. 2020).

Concernant les patients en sepsis, ils sont considérés comme répondant à la fluidothérapie si VCICI est >48% avec une sensibilité de 74% et une spécificité de 83% (Orso et al. 2020; Preau et al. 2017).

Il est également possible de réduire de 15% l'incidence des hypotensions secondaires aux anesthésies spinales avec un remplissage vasculaire adapté en utilisant la détermination du VCICI. La valeur seuil utilisée est alors de 36% (Ceruti et al. 2018).

Cependant, pour l'évaluation de l'indice de collapsibilité, 25 répétitions ne sont pas suffisantes pour acquérir la technique et la précision pour des jeunes étudiants par rapport à un imageur référent (Di Pietro et al. 2018). Ainsi les mesures ne sont fiables que lorsqu'elles sont réalisées par du personnel expérimenté.

Enfin, l'indice de distensibilité de la VCI (VCIDI), est lui évaluable chez des patients en ventilation mécanique. Il est défini comme :

$$VCIDI (\%) = \frac{VCI_{max} - VCI_{min}}{VCI_{min}} \times 100$$

Le diamètre maximal de la VCI (VCI_{max}) est ainsi obtenu en fin d'inspiration, et le diamètre minimal (VCI_{min}) en fin d'expiration. Le VCIDI permet également de prédire la capacité de réponse à la fluidothérapie.

Différentes études ont été réalisées, et des moyennes ont été établies. Ainsi, un patient est considéré comme répondant à la fluidothérapie si VCIDI est >16% avec une sensibilité de 73% et une spécificité de 82% (Si, Xu, et al. 2018; Das et al. 2018; Mielnicki, Dyla, Zawada 2016; Long et al. 2017; Si, Cao, et al. 2018).

Une autre étude a déterminé que les patients sont répondant à la fluidothérapie si VCIDI > 17,6% avec une sensibilité de 100% et une spécificité de 86,7% (Pereira et al. 2020).

Chez des patients en choc septique, la réponse à la fluidothérapie est positive si VCIDI est >18% avec une sensibilité et une spécificité de 90% (Barbier et al. 2004).

Ainsi l'évaluation de la VCI par échographie en vue sub-xiphôïdienne est une méthode fiable et non invasive de prédiction de la réponse à la fluidothérapie. Elle reste cependant plus précise chez les patients en ventilation mécanique.

4) PAR ECHOGRAPHIE DE LA VEINE JUGULAIRE ET DE LA CAROTIDE

Afin d'évaluer la capacité de réponse à la fluidothérapie deux indices dynamiques ont été étudiés. L'un concerne la Veine Jugulaire Interne (VJI) tandis que l'autre concerne l'artère carotide (AC).

Ainsi, l'indice de collapsibilité de la VJI droite permet de prédire la capacité de réponse à la fluidothérapie chez des patients en ventilation mécanique. Cette corrélation n'a cependant pas été montrée pour la VJI gauche. Ainsi si le VJICI à droite est >11,4%, alors le patient est considéré comme répondant à la fluidothérapie avec une sensibilité de 83% et une spécificité de 94% (Iizuka et al. 2020).

Chez des patients ventilés mécaniquement, l'indice de variation respiratoire du pic de vélocité de la carotide ($\Delta CDPV$) peut être utilisé pour déterminer la capacité de réponse à la fluidothérapie d'un patient.

Le pic maximal ($CDPV_{max}$) et minimal ($CDPV_{min}$) de vélocité de la carotide sont mesurés au cours d'un cycle respiratoire. On obtient alors: (Lu et al. 2017)

$$\Delta CDPV (\%) = \frac{2 \times (CDPV_{max} - CDPV_{min})}{(CDPV_{max} + CDPV_{min})} \times 100$$

$\Delta CDPV$ a une sensibilité moyenne de 85% et une spécificité moyenne de 86% pour détecter la capacité de réponse à la fluidothérapie avec une valeur seuil comprise entre 11% et 14%. Ce paramètre est donc utilisable, mais des études supplémentaires sont nécessaires pour confirmer sa précision (Yao, Liu, Sun 2018).

Chez des patients en choc septique, un $\Delta CDPV$ supérieur ou égale à 13% permet de prédire une réponse à la fluidothérapie avec une sensibilité de 78% et une spécificité de 90% (Lu et al. 2017).

5) PAR ECHOGRAPHIE DE LA VEINE SUBCLAVIAIRE

Un des premiers paramètres à être utilisé pour déterminer la capacité de réponse à la fluidothérapie, est l'indice de variabilité de la Veine Sous Clavière (VSC), défini comme :

$$VSC_{\text{variabilité}} = \frac{VSC_{\text{max}} - VSC_{\text{min}}}{(VSC_{\text{max}} + VSC_{\text{min}}) \times 0,5}$$

Chez des patients en ventilation mécanique, la variabilité de la VSC est significativement plus élevée chez les patients répondant à la fluidothérapie que chez les patients non répondants. Une valeur seuil de 14% a ainsi été définie avec une sensibilité de 100% et une spécificité de 82% (Giraud et al. 2018).

L'indice de collapsibilité de la VSC (VSCCI) est lui aussi significativement plus élevé chez les patients ventilés mécaniquement répondant à la fluidothérapie que chez les patients non répondants. Une valeur seuil de 13% a été définie, avec une sensibilité de 100% et une spécificité de 82% (Giraud et al. 2018). Cependant, une autre étude vient contredire ce résultat. D'après Lizuka (Lizuka et al. 2020), VSCCI ne permet pas de prédire la capacité de réponse à la fluidothérapie chez les patients en ventilation mécanique. Des études supplémentaires sont ainsi nécessaires afin de déterminer la précision du VSCCI pour l'évaluation de la capacité de réponse à la fluidothérapie.

6) PAR ECHOGRAPHIE DE L'ARTERE BRACHIALE

L'indice de variation respiratoire du pic de vitesse de l'artère brachiale ($\Delta V_{\text{picbrach}}$) est défini comme : (Lu et al. 2017)

$$\Delta V_{\text{picbrach}} (\%) = \frac{(V_{\text{picbrach max}} - V_{\text{picbrach min}})}{0,5 \times (V_{\text{picbrach max}} + V_{\text{picbrach min}})} \times 100$$

Chez les patients ventilés mécaniquement, si $\Delta V_{\text{picbrach}}$ est $>11,6\%$ alors on a une sensibilité moyenne de 72% et une spécificité moyenne de 85% pour détecter les patients répondant à la fluidothérapie. Ce paramètre est donc utilisable, mais des études supplémentaires sont nécessaires pour confirmer sa précision (Yao, Liu, Sun 2018).

Chez des patients en choc septique ventilés mécaniquement, l'indice de variation respiratoire du pic de vitesse de l'artère brachiale ($\Delta V_{\text{picbrach}}$) est significativement plus élevé avant un bolus de fluide chez les patients répondant à la fluidothérapie que chez les

non répondants. Ainsi une valeur supérieure ou égale à 11,7% permet de prédire une réponse positive à la fluidothérapie avec une sensibilité de 70% et une spécificité de 80% (Lu et al. 2017).

Une seconde étude a montré des valeurs similaires avec une valeur seuil à 13,3% pour une sensibilité de 71,9% et une spécificité de 80,8% (Zhu et al. 2016).

Ces différentes études montrent une certaine homogénéité dans la précision et les valeurs seuils. Cependant d'autres études sont nécessaires afin de confirmer ces résultats.

7) SYNTHÈSE

La détermination de la capacité de réponse à la fluidothérapie d'un patient est un des paramètres les plus étudiés en surveillance instrumentale cardiovasculaire par échographie. En effet, l'évaluation ne pouvant pas se faire cliniquement et devant se faire régulièrement en situation d'urgence, il est nécessaire d'avoir une méthode rapide, reproductible et peu invasive.

De nombreuses possibilités ont ainsi été investiguées. Certaines d'entre-elles n'ont pas permis la détermination ni de valeurs seuils ni de la précision de la méthode. Sont donc résumées dans le tableau 1, les méthodes échographiques d'évaluation de la capacité de réponse à la fluidothérapie applicable en clinique.

Il est également possible de réduire de 15% l'incidence des hypotensions secondaires aux anesthésies spinales en effectuant un remplissage vasculaire adapté. Pour cela, l'indice de collapsibilité de la VCI a été évalué. S'il est supérieur à 36%, alors le patient reçoit de la fluidothérapie.

Concernant l'indice de collapsibilité de la veine subclaviaire, les résultats étant discutés, ils n'ont pas été ajoutés dans le tableau de synthèse. Les limites inhérentes à chaque méthode ne sont pas détaillées dans le tableau mais sont résumés dans les parties correspondantes.

Paramètre	Méthode	Vue	Type de patient	Valeur seuil	Sensibilité	Spécificité	Référence
Variation de la VTI aortique au cours du cycle respiratoire	Echocardiographie transthoracique	Apicale	Ventilation mécanique	> 20%	/	/	Mielnicki et al. 2016
ΔV_{pic}	Echocardiographie transthoracique	Apicale	Enfants en choc septique Ventilation mécanique	> 7-20%	92%	85,5%	Desgranges et al. 2016
Augmentation VTI en test d'occlusion	ETO	4 cavités	Ventilation mécanique	> 5%	93%	100%	Jozwiak et al. 2017
Somme des variations de VTI après les tests d'occlusions	ETO	4 cavités	Ventilation mécanique	$\geq 13\%$	93%	100%	Jozwiak et al. 2017
Variation DC (par calcul VTI) en test d'occlusion	ETO	4 cavités	Ventilation mécanique	$\geq 11\%$	93%	80%	Jozwiak et al. 2017
VCICI	Echographie VCI & Ao	Sub-xiphoidienne	Respiration spontanée	> 40%	72%	75%	Mielnicki et al. 2016 Das et al. 2018 Zhang et al. 2014 Pereira et al. 2020 Si, Cao, et al. 2018
VCICI	Echographie VCI & Ao	Sub-xiphoidienne	Pédiatrique Respiration spontanée	> 40%	74%	68%	Orso et al. 2020
VCICI	Echographie VCI & Ao	Sub-xiphoidienne	En choc septique Respiration spontanée	> 48%	74%	83%	Orso et al. 2020 Preau et al. 2017
VCIDI	Echographie VCI & Ao	Sub-xiphoidienne	Ventilation mécanique	> 16%	73%	82%	Si, Xu, et al. 2018 Das et al. 2018 Mielnicki et al. 2016 Long et al. 2017 Si, Cao, et al. 2018

VCIDI	Echographie VCI & Ao	Sub-xiphœidienne	En choc septique Ventilation mécanique	> 18%	90%	90%	Barbier et al. 2004
Indice de collapsibilité de la VJI droite	Echographie jugulaire & carotide	/	Ventilation mécanique	> 11,4%	83%	94%	Iizuka et al. 2020
Δ CDPV	Echographie jugulaire & carotide	/	Ventilation mécanique	> 11-14%	85%	86%	Yao et al. 2018
Δ CDPV	Echographie jugulaire & carotide	/	En choc septique Ventilation mécanique	\geq 13%	78%	90%	Lu et al. 2017
Indice de variabilité de la VSC	Echographie veine subclaviaire	/	Ventilation mécanique	> 14%	100%	82%	Giraud et al. 2018
Δ Vpicbrach	Echographie artère brachiale	/	Ventilation mécanique	> 11,6%	72%	85%	Yao et al. 2018
Δ Vpicbrach	Echographie artère brachiale	/	En choc septique Ventilation mécanique	> 11,7%	70%	80%	Lu et al. 2017

TABEAU 1 : SYNTHÈSE DES DIFFÉRENTS PARAMÈTRES ÉCHOGRAPHIQUES PERMETTANT DE PRÉDIRE LA CAPACITÉ DE RÉPONSE À LA FLUIDOTHÉRAPIE CHEZ L'HOMME.

C/ EVALUATION DE LA PRESSION VEINEUSE CENTRALE

La pression veineuse centrale (PVC) est un paramètre qui résulte de l'interaction entre les déterminants du retour veineux et de l'éjection cardiaque. Elle dépend ainsi du débit cardiaque, de la volémie, des résistances vasculaires systémiques, mais également de la pression intrathoracique et intrapéritonéale. On la considère équivalente à la pression dans l'atrium droit en l'absence de résistance vasculaire importante.

La pression veineuse centrale peut s'exprimer en mmHg ou en cmH₂O, elle est alors considérée comme normale quand :

- 2mmHg < PVC < 7mmHg
- 5cmH₂O < PVC < 15cmH₂O

On notera également qu'il est plus important de s'attacher à l'évolution relative de la pression veineuse centrale, qu'à sa valeur absolue.

Si la PVC a tendance à être trop basse, cela signe plutôt un défaut de précharge et donc une hypovolémie (saignement, choc hypovolémique, diurétique, ...). Alors qu'une tendance haute de la PVC peut indiquer une hypervolémie, une insuffisance cardiaque droite, une augmentation de pression dans l'abdomen ou le thorax, une tamponnade, une obstruction de la veine cave... La surveillance de la PVC peut également donner des indices sur la capacité de réponse à la fluidothérapie.

Il est donc très intéressant de surveiller la PVC durant la période peranesthésique afin de détecter précocement d'éventuels troubles cardiovasculaires. Hors, actuellement, la surveillance se fait essentiellement par la mise en place d'un cathéter veineux central, qui peut causer de nombreuses complications. Il est donc intéressant de déterminer des méthodes non invasives d'estimation de la PVC.

1) PAR ECHOCARDIOGRAPHIE TRANSCŒSOPHAGIENNE

L'ETO peut être utilisée afin d'estimer la pression veineuse centrale (PVC) à l'aide d'une vue moyenne en coupe bicavités. Les mesures de la VCI et de l'Ao doivent être réalisées au point d'entrée de la VCI dans l'atrium droit afin d'obtenir la meilleure corrélation possible avec la PVC (Naghipour, Faridaalae 2016).

Il a ainsi été montré que chez des patients anesthésiés et ventilés mécaniquement, il existe une forte corrélation linéaire positive entre le diamètre de la VCI et la PVC (Arthur et al. 2009). Le diamètre de l'aorte et le rapport VCI/Ao ont également une corrélation positive avec la PVC (Naghipour, Faridaalae 2016).

Cependant, des études supplémentaires sont nécessaires afin de déterminer des valeurs seuils pour ces paramètres dans un contexte d'évaluation de la PVC à l'aide de l'échocardiographie transœsophagienne.

2) PAR ECHOGRAPHIE DE LA VEINE CAVE INFÉRIEURE ET DE L'AORTE

De nombreuses études essaient d'établir une corrélation entre la VCI et la PVC. Les résultats sont cependant hétérogènes. Toutes les études ont été réalisées en vue sub-xiphoidienne.

Chez l'adulte, il existe une corrélation positive forte entre le diamètre de la VCI et la PVC et entre le rapport VCI/Ao et la PVC. Il existe également une corrélation négative avec le VCICI et la PVC (Ilyas et al. 2017; Mercolini et al. 2021).

On obtient les valeurs seuils suivantes : (Mercolini et al. 2021)

- $PVC \geq 10 \text{ mmHg}$ si :
 - $VCICI \leq 20\%$
 - $VCI/Ao \geq 1,3$
- $PVC \leq 4 \text{ mmHg}$ si :
 - $VCICI \geq 35\%$
 - $VCI/Ao \leq 0,8$

Chez des sujets pédiatriques, les mêmes corrélations existent. Ainsi il est possible de prédire une $PVC \leq 8 \text{ mmHg}$: (Babaie et al. 2018)

- $VCI \geq 50\%$ avec une sensibilité de 45,5% et une spécificité de 91,7%
- $VCI/Ao \leq 0,8$ avec une sensibilité de 50% et une spécificité de 87,5%

Le VCI semble plus précis que le rapport VCI/Ao chez les sujets pédiatriques. Ainsi ces deux indices semblent être capables de différencier les enfants avec une faible et ceux avec une forte PVC (Mercolini et al. 2021).

Un dernier paramètre, le rapport VCI_{\max}/VCI_{\min} est corrélé avec la PVC chez les patients en ventilation mécanique. Un rapport $>1,76$ permet de prédire une $PVC < 8 \text{ mmHg}$ avec une sensibilité de 76,5% et une spécificité de 78,1% (Zhang et al. 2018).

3) PAR ECHOGRAPHIE DE LA VEINE JUGULAIRE ET DE LA CAROTIDE

Les diamètres de la veine jugulaire (diamètre antéropostérieur) et de l'artère carotidienne ont été décrits comme étant positivement corrélés avec la PVC chez des patients en respiration spontanée. Cependant, des études supplémentaires sont nécessaires afin de déterminer des valeurs seuils et la précision de la méthode (Parenti et al. 2019; Kasem Rashwan et al. 2020).

Le rapport VJI/AC est également corrélé avec la PVC.

- Ainsi, si ce ratio est $<1,75$ chez des patients en respiration spontanée, alors on peut prédire une $PVC < 10 \text{ cmH}_2\text{O}$ avec une sensibilité de 84,62% et une spécificité de 52,17% (Bano et al. 2018).

Une autre étude a déterminé une valeur seuil <2 avec une sensibilité de 90% et une spécificité de 86% (Hosseini-Nejad, Mohammadinejad, Ahmadi 2016). Cependant cette étude comprenait des patients en respiration spontanée et des patients en ventilation mécanique pour lesquels la corrélation est mauvaise. Ainsi il est recommandé d'utiliser la valeur seuil défini par Bano et al.

- Il est également possible de prédire une PVC comprise entre 8 et 12 cmH₂O (Kasem et al. 2021) :
 - si le rapport VJI/AC est supérieur à 2,56 à l'inspiration avec une sensibilité de 56% et une spécificité de 83%,
 - ou si le rapport est supérieur à 2,58 à l'inspiration avec une sensibilité de 65% et une spécificité de 75%.

On remarque ainsi que le rapport VJI/AC permet de prédire la PVC de manière hétérogène, et que d'autres études sont nécessaires afin d'établir la précision de cette méthode.

Enfin, le ratio_{30/0} permet également d'estimer la PVC. Il est calculé en mesurant le diamètre de la veine jugulaire quand le patient est en position semi-couchée (30°) et en position couchée (0°). On obtient alors le ratio_{30/0} :

$$Ratio\ 30/0 = \frac{Diamètre\ VJI\ [30°]}{Diamètre\ VJI\ [0°]}$$

Chez des patients en ventilation mécanique, un ratio_{30/0}<0,45 indique une PVC ≤ 5mmHg avec une sensibilité de 76% et une spécificité de 73%, et un ratio_{30/0}> 0,65 indique une PVC ≥ 10 mmHg avec une sensibilité de 73% et une spécificité de 75% (Hilbert et al. 2016).

Cependant cette méthode nécessite la mobilisation du patient est peut donc être plus difficilement mise en œuvre durant la période peranesthésique lors de chirurgie.

4) PAR ECHOGRAPHIE DE LA VEINE ET DE L'ARTERE FEMORALE

Une étude a permis de montrer que le diamètre de la veine fémorale (DVF) est positivement corrélé avec la PVC. Une équation permettant d'estimer la valeur de la PVC en cmH₂O à l'aide du diamètre de la veine fémorale en centimètre a ainsi été proposée : (Malik et al. 2016)

$$PVC\ (cmH_2O) = -0,039 + 10,718 \times DVF$$

Des valeurs seuils ont également été définies (Cho, Williams, Leatherman 2016):

- Si le DVF est ≤ 0,8cm, il permet de prédire une PVC ≤ 10cmH₂O avec une sensibilité de 77% et une spécificité de 95%.
- Si le DVF est ≤ 0,7 cm, il permet de prédire une PVC ≤ 8cmH₂O avec une sensibilité de 95% et une spécificité de 89%.

- Si le DVF est $\geq 1,0\text{cm}$, il permet de prédire une PVC $\geq 12\text{cmH}_2\text{O}$ avec une sensibilité et une spécificité de 70%. Cependant, si on prend une valeur seuil de 1,2cm, la spécificité augmente à 94%.

La précision de l'échographie de la veine fémorale est similaire à l'échographie de la VCI pour l'estimation de la PVC. Elle est donc une méthode alternative envisageable lorsque la mesure de la VCI est impossible. Il reste cependant une zone d'incertitude lorsque le DVF est compris entre 0,7 et 1,2cm (Cho, Williams, Leatherman 2016).

Un autre paramètre, le rapport du diamètre de la veine fémorale sur le diamètre de l'artère fémorale (DVF/DAF) est positivement corrélé avec la PVC (Ma et al. 2021) :

- Ainsi un ratio $\geq 1,495$ permet de prédire une PVC $\geq 12\text{cmH}_2\text{O}$ (Se = 87%, Sp = 96%)
- Un ratio $\leq 1,467$ permet de prédire une PVC $\leq 10\text{cmH}_2\text{O}$ (Se= 100%, Sp = 71%)
- Si la PVC est $\leq 5\text{cmH}_2\text{O}$, le ratio est $\leq 0,854$. (Sensibilité et spécificité non déterminées)

5) SYNTHÈSE

Il est ainsi possible d'estimer la PVC de plusieurs façons.

Concernant l'échocardiographie transœsophagienne, il existe une corrélation positive entre la PVC et le diamètre de la VCI ou avec le rapport VCI/Ao. Mais aucune valeur seuil ou formule n'a pu être définie.

Pour l'échographie de la veine cave inférieure et de l'aorte, et celle de la jugulaire et de la carotide, des valeurs seuils ont pu être définies et ont été reportées dans le tableau 2.

Concernant l'échographie de la veine et de l'artère fémorale, de la même manière, les valeurs seuils ont été reportée dans le tableau 2. De plus, une formule permettant d'estimer la PVC à l'aide du diamètre de la veine fémorale (en cm) a été déterminée :

$$PVC (\text{cmH}_2\text{O}) = -0,039 + 10,718 \times DVF$$

Estimation de la PVC	Paramètre	Méthode	Type de patient	Valeur seuil	Sensibilité	Spécificité	Référence
≥10 mmHg	VCICI	Echographie VCI & Ao	/	≤ 20%	/	/	Mercolini et al. 2021
	VCI/Ao	Echographie VCI & Ao	/	≥ 1,3	/	/	Mercolini et al. 2021
	Ratio _{30/0}	Echographie VJI & AC	Ventilation mécanique	> 0,65	73%	75%	Hilbert et al. 2016
≤ 4 mmHg	VCICI	Echographie VCI & Ao	/	≥ 35%	/	/	Mercolini et al. 2021
	VCI/Ao	Echographie VCI & Ao	/	≤ 0,8	/	/	Mercolini et al. 2021
≤ 5mmHg	Ratio _{30/0}	Echographie VJI & AC	Ventilation mécanique	< 0,45	76%	73%	Hilbert et al. 2016
≤ 8 mmHg	VCICI	Echographie VCI & Ao	Enfant	≥ 50%	45,5%	91,7%	Babaie et al. 2018
	VCI/Ao	Echographie VCI & Ao	Enfant	≤ 0,8	50%	87,5%	Babaie et al. 2018
	VCI _{max} /VCI _{min}	Echographie VCI & Ao	Ventilation mécanique	> 1,76	76,5%	78,1%	Zhang et al. 2018
< 5cmH2O	DVF/DAF	Echographie VF & AF	/	≤ 0,854	/	/	Ma et al. 2021
<8 cmH2O	DVF	Echographie VF & AF	/	≤ 0,7cm	95%	89%	Cho et al. 2016
<10 cmH2O	VJI/AC	Echographie VJI & AC	Respiration spontanée	< 1,75	84,6%	52,2%	Bano et al. 2018
	DVF/DAF	Echographie VF & AF	/	< 1,467	100%	71%	Ma et al. 2021
	DVF	Echographie VF & AF	/	≤ 0,8 cm	77%	95%	Cho et al. 2016
8 < PVC < 12 cmH2O	VJI/AC à l'inspiration	Echographie VJI & AC	/	> 2,56	56%	83%	Kasem et al. 2021
	VJI/AC à l'inspiration	Echographie VJI & AC	/	> 2,58	65%	75%	Kasem et al. 2021

≥ 12cmH2O	DVF/DAF	Echographie VF & AF	/	≥ 1,495	87%	96%	Ma et al. 2021
	DVF	Echographie VF & AF	/	≥ 1,0cm	70%	70%	Cho et al. 2016

TABEAU 2 : SYNTHÈSE DES DIFFÉRENTS PARAMÈTRES ÉCHOGRAPHIQUES PERMETTANT D'ESTIMER LA PRESSION VEINEUSE CENTRALE CHEZ L'HOMME

D/ EVALUATION DE LA PRESSION DANS L'ATRIUM DROIT

La pression atriale droite est le reflet de la quantité de sang retournant au cœur et de la capacité de celui-ci à pomper le sang. Comme évoqué précédemment, la pression de l'atrium droit correspond le plus souvent à la pression veineuse centrale, sauf en cas de résistance vasculaire trop intense. Les valeurs de référence sont donc identiques.

Enfin, de même que pour la pression veineuse centrale, une diminution de la pression atriale droite est le plus souvent liée à une hypovolémie alors qu'une augmentation est le plus souvent liée à une hypervolémie, une augmentation de la pression thoracique, une tamponnade, etc.. Il est ainsi intéressant de déterminer la pression atriale droite. La méthode de référence étant invasive, des méthodes échographiques ont été explorées afin d'estimer ce paramètre.

1) PAR ECHOGRAPHIE DE LA VEINE CAVE INFÉRIEURE ET DE L'AORTE ABDOMINALE

Il a récemment été montré une corrélation négative entre l'indice de collapsibilité de la VCI (VCICI) et la pression dans l'atrium droit. Ainsi on obtient les valeurs seuils suivantes : (Kaptein et al. 2020)

- Si VCICI > 50%, alors la pression dans l'atrium droit est ≤5mmHg
- Si VCICI < 20%, alors la pression dans l'atrium droit est ≥20mmHg

2) PAR ECHOGRAPHIE DE LA VEINE JUGULAIRE ET DE LA CAROTIDE

Afin d'estimer la pression de l'atrium droit, un indice statique, le diamètre de la VJI, et un indice dynamique, l'indice de collapsibilité de la VJI (VJICI) ont été décrits. VJICI se définit de la même façon que l'indice de collapsibilité de la veine cave inférieure décrit plus haut (Vaidya, Ghafghazi 2021).

On peut ainsi prédire un pression dans l'atrium droit $\leq 10\text{mmHg}$ si :

- le diamètre de la VJI est $\leq 0,5\text{cm}$
- ET si l'indice de collapsibilité de la VJI est $\geq 50\%$

De plus, la pression de l'atrium droit est $\geq 10\text{mmHg}$ si :

- le diamètre maximal de la VJI est $\geq 1,0\text{cm}$ avec une sensibilité de 60% et une spécificité de 72%
- le VJICI est $\leq 50\%$ (la précision de la méthode n'a pas été définie)
- Si ces deux paramètres sont réunis, on obtient une sensibilité de 60% et une spécificité de 80%. (Vaidya, Ghafghazi 2021)

3) PAR ECHOGRAPHIE DE LA VEINE SUBCLAVIAIRE

Chez les patients avec une pression dans l'atrium droit $\geq 10\text{mmHg}$, le diamètre maximal de la VSC est significativement plus élevé, et l'indice de collapsibilité de la VSC (VSCCI) est significativement inférieur que chez les autres patients. Cependant aucune valeur seuil n'a pu être déterminée avec une puissance satisfaisante (Vaidya, Ghafghazi 2021).

4) SYNTHÈSE

Des études concernant l'échographie de la veine cave inférieure et de l'aorte, ainsi que l'échographie de la jugulaire et de la carotide ont permis de déterminer des valeurs seuils afin d'estimer la pression atriale droite. Elles ont été reportées dans le tableau 3.

Pression atriale droite	Paramètre	Méthode	Vue	Valeur seuil	Sensibilité	Spécificité	Référence
≤ 5mmHg	VCICI	Echographie VCI & Ao	Sub-xiphoidienne	> 50%	/	/	Kaptein et al. 2020
< 10mmHg	Diamètre VJI + VJICI	Echographie VJI & AC	/	VJI < 0,5cm ET VJICI > 50%	/	/	Vaidya, Ghafghazi 2021
≥ 10mmHg	(A) : Diamètre max VJI	Echographie VJI & AC	/	≥ 1,0cm	60%	72%	Vaidya, Ghafghazi 2021
	(B) : VJICI	Echographie VJI & AC	/	< 50%	/	/	Vaidya, Ghafghazi 2021
	(A) + (B)	Echographie VJI & AC	/	VJI ≥ 1,0cm ET VJICI < 50%	60%	80%	Vaidya, Ghafghazi 2021
≥ 20mmHg	VCICI	Echographie VCI & Ao	Sub-xiphoidienne	< 20%	/	/	Kaptein et al. 2020

TABEAU 3 : SYNTHÈSE DES DIFFÉRENTS PARAMÈTRES ECHOGRAPHIQUES PERMETTANT D'ESTIMER LA PRESSION ATRIAL DROITE CHEZ L'HOMME

E/ EVALUATION DE LA VOLEMIE

Comme évoqué précédemment, la volémie influence directement de nombreux paramètres tels que le débit cardiaque, la pression veineuse centrale ou encore la pression atriale droite. Il est donc intéressant de pouvoir évaluer la volémie afin de déterminer son éventuel rôle dans les perturbations de ces paramètres.

1) PAR ECHOGRAPHIE DE LA VEINE CAVE INFÉRIEURE ET DE L'AORTE

L'évaluation de la VCI permet d'obtenir des informations sur l'état de remplissage vasculaire du patient. Des valeurs seuils ont été déterminées en vue sub-xiphôïdienne :

- VCICI $\geq 50\%$
- VCIDI $> 18\%$
- VCI/Ao $\leq 0,8$

Si une de ces conditions est remplie, alors le patient est considéré comme en hypovolémie. Parmi ces 3 indices, le VCIDI est le plus précis pour l'estimation du statut volémique (Babaie et al. 2018; Saritaş et al. 2019).

2) PAR ECHOGRAPHIE DE LA VEINE SUBCLAVIAIRE

Il a été montré que : (Kaptein et al. 2020)

- Un indice de collapsibilité de la veine subclaviaire inférieur à 22% indique une relative hypervolémie avec une sensibilité et une spécificité de 74% chez les patients en respiration spontanée et de 88% chez les patients en ventilation mécanique.
- Un indice de collapsibilité de la veine subclaviaire supérieur à 39% indique une relative hypovolémie avec une sensibilité et une spécificité de 70% chez les patients en respiration spontanée, et de 91% chez les patients en ventilation mécanique.

3) SYNTHÈSE

L'évaluation de la volémie peut ainsi se faire par échographie de la veine cave inférieure et de l'aorte ou par échographie de la veine subclaviaire. Il est ainsi possible de détecter une hypovolémie ou une hypervolémie à l'aide des paramètres suivants (Tableau 4) :

Etat de la volémie	Paramètre	Méthode	Vue	Type de patient	Valeur seuil	Sensibilité	Spécificité	Référence
Hypovolémie	VICI	Echographie VCI & Ao	Sub-xiphoidienne	/	≥ 50%	/	/	Babaie et al. 2018 Saritaş et al. 2019
	VIDI	Echographie VCI & Ao	Sub-xiphoidienne	/	> 18%	/	/	Babaie et al. 2018 Saritaş et al. 2019
	VCI/Ao	Echographie VCI & Ao	Sub-xiphoidienne	/	≤ 0,8	/	/	Babaie et al. 2018 Saritaş et al. 2019
	VSCCI	Echographie artère subclaviaire	/	Ventilation mécanique	> 39%	91%	91%	Kaptein et al. 2020
	VSCCI	Echographie artère subclaviaire	/	Respiration spontanée	> 39%	70%	70%	Kaptein et al. 2020
Hypervolémie	VSCCI	Echographie artère subclaviaire	/	Ventilation mécanique	> 22%	88%	88%	Kaptein et al. 2020
	VSCCI	Echographie artère subclaviaire	/	Respiration spontanée	> 22%	74%	74%	Kaptein et al. 2020

TABEAU 4 : SYNTHÈSE DES DIFFÉRENTS PARAMÈTRES ECHOGRAPHIQUES PERMETTANT D'ESTIMER LA VOLEMIE CHEZ L'HOMME

F/ EVALUATION DE LA PRESSION ARTERIELLE PULMONAIRE MOYENNE

La pression artérielle pulmonaire moyenne est la pression à l'intérieur du tronc pulmonaire, elle est en moyenne de 15mmHg. Il est intéressant de venir surveiller cette pression, en effet une hypertension pulmonaire peut causer une insuffisance cardiaque droite, des œdèmes pulmonaires, une hypoxémie... Il peut donc être nécessaire d'estimer cette pression, a minima durant la période pré-anesthésique.

La méthode de référence est la cathétérisation de l'artère pulmonaire, mais cette méthode est très invasive. L'hypertension pulmonaire peut également être détectée par échocardiographie transthoracique sur la base d'un reflux tricuspide. Cependant cette méthode demande des compétences spécialisées en échocardiographie. Il a alors été proposé une méthode échographique de la veine et de l'artère fémorale :

Le rapport du diamètre de la veine fémorale sur le diamètre de l'artère fémorale (DVF/DAF) est positivement corrélé avec la pression artérielle pulmonaire moyenne.

Ainsi, un ratio $\geq 2,03$ permet de prédire une pression artérielle pulmonaire moyenne ≥ 25 mmHg avec une sensibilité de 74% et une spécificité de 100% (Ma et al. 2021).

G/ PREDICTION DE L'HYPOTENSION POST-INDUCTION ANESTHESIQUE

Il est fréquent d'observer une phase d'hypotension après l'induction d'une anesthésie générale. Il serait donc intéressant de pouvoir la prévoir afin de mettre en œuvre les moyens nécessaires pour éviter son apparition. Ainsi une étude a été réalisée et a permis de mettre en évidence une relation entre le diamètre de la veine cave inférieure et la prédiction de l'hypotension post-induction anesthésique :

- Si VCI_{max} est $> 1,8$ cm, alors le patient sera hypotendu avec une sensibilité de 73,8% et une spécificité de 70,8%. Cependant, il existe une zone d'incertitude entre 1,5 et 2,1cm (Zhang, Critchley 2016).
- Si le VCIC est supérieur à 43% avant l'induction, alors le patient sera hypotendu après l'induction avec une sensibilité de 78,6% et une spécificité de 91,7% (Zhang, Critchley 2016).

Il est ainsi possible de prédire une hypotension post-induction anesthésique par échographie de la veine cave inférieure.

H/ EVALUATION DES PERTES SANGUINES PAR ECHOGRAPHIE DE LA VEINE CAVE ET DE L'AORTE

Evaluer les pertes sanguines est essentiel en situation d'urgence, mais également durant la période peranesthésique lors de chirurgie. En effet, une hémorragie impacte directement la fonction cardiovasculaire, causant hypotension et tachycardie, mais perturbe également l'apport en oxygène aux tissus via la perte en transporteurs.

Il serait donc intéressant d'établir un paramètre échographique pour l'évaluation des pertes sanguines de façon rapide et non invasive.

Plusieurs études ont été réalisées afin de déterminer s'il existe une relation entre les variations de diamètre de la VCI et l'intensité des pertes sanguines. Toutes les études ont été menées en vue sub-xiphœidienne.

Concernant les paramètres statiques, comme le diamètre de la VCI et de l'aorte, il existe une corrélation avec les pertes sanguines. Le diamètre de la VCI et le diamètre de l'aorte sont significativement diminués après une perte sanguine correspondant à un choc hypovolémique de classe I (<15% de pertes) (Bilgin et al. 2020; Ahmad et al. 2012). Une valeur seuil a pu être déterminée pour VCI_{max} . Si le diamètre diminue de 1,1mm ou plus pour un même patient, au cours du temps, on est capable de détecter un choc hypovolémique avec une spécificité de 76% et une sensibilité de 73% (Yamanoglu et al. 2019).

Dans le cas des paramètres dynamiques, le rapport VCI/Ao a été étudié. Lors d'un choc hypovolémique de classe I, le rapport est significativement diminué (Bilgin et al. 2020). Il a ainsi été montré qu'un rapport $VCI/Ao < 1,14$ est susceptible d'indiquer un choc hypovolémique de classe I (Rahman et al. 2016).

Concernant le VCICl, il ne permet pas de détecter des pertes sanguines <15% de la volémie (Juhl-Olsen et al. 2013; Yamanoglu et al. 2019).

Il a ainsi été montré que l'échographie de la veine cave inférieure est une méthode suffisamment sensible pour détecter un choc hypovolémique de classe I lié à une hémorragie.

I/ CONSIDERATIONS PRATIQUES

Dans cette partie, nous allons rappeler les différentes méthodes d'évaluation échographiques des paramètres cités précédemment. Nous allons ainsi revoir les vues utilisées en échocardiographie transthoracique et transœsophagienne, les méthodes d'échographies de la veine cave caudale, de l'aorte, de la veine et de l'artère fémorale, de la veine jugulaire et de la carotide, de la veine subclaviaire et de l'artère brachiale.

1) ECHOCARDIOGRAPHIE TRANSCŒSOPHAGIENNE

Afin de surveiller les différents paramètres d'intérêts vus précédemment, seulement 2 vues sont nécessaires en ETO.

- ❖ Vue 4 cavités : Après avoir atteint la partie basse de l'œsophage, la vue 4 cavités est généralement obtenue facilement avec une angulation de la sonde de 0° (Figure 4). Il peut parfois être utile d'anguler légèrement la sonde entre 20° et 30° afin d'éviter de visualiser les valves aortiques (Flachskampf 2001). Depuis cette vue, la mesure de la VTI du flux sortant du ventricule gauche est possible (Jozwiak et al. 2017).

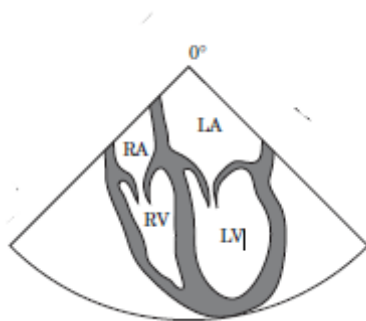


FIGURE 4 : VUE 4 CAVITES EN ECHOCARDIOGRAPHIE TRANSCŒSOPHAGIENNE CHEZ L'HOMME (FLACHSKAMPF, 2001)

- ❖ Vue moyenne en coupe bicavités, pour une mesure à la jonction cavo-atriale. La sonde est avancée jusqu'à l'œsophage moyen. On identifie d'abord l'atrium droit en vue 4 cavités. La sonde est ensuite orientée à 110° jusqu'à obtenir la vue bi-cavité (Figure 5). Si la veine cave inférieure n'est pas visualisée, alors la sonde est avancée d'un centimètre ou deux. La mesure de du diamètre de la VCI est alors réalisée à la fin de l'onde T sur l'ECG. Pour cette vue, la variabilité inter-opérateur pour la mesure du diamètre de la VCI est satisfaisante (Arthur et al. 2009). Il est également possible de mesurer le diamètre de l'aorte à l'aide de cette vue (Naghipour, Faridaalae 2016).

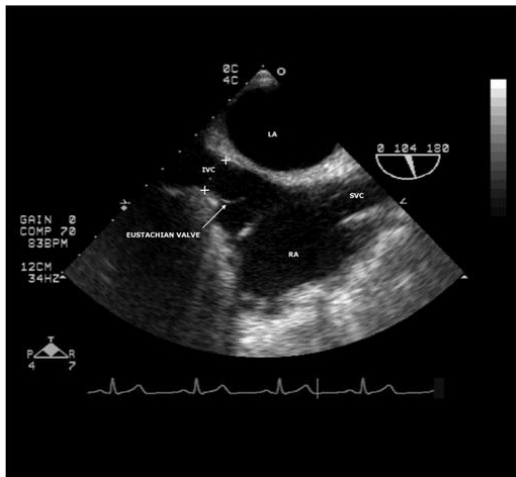
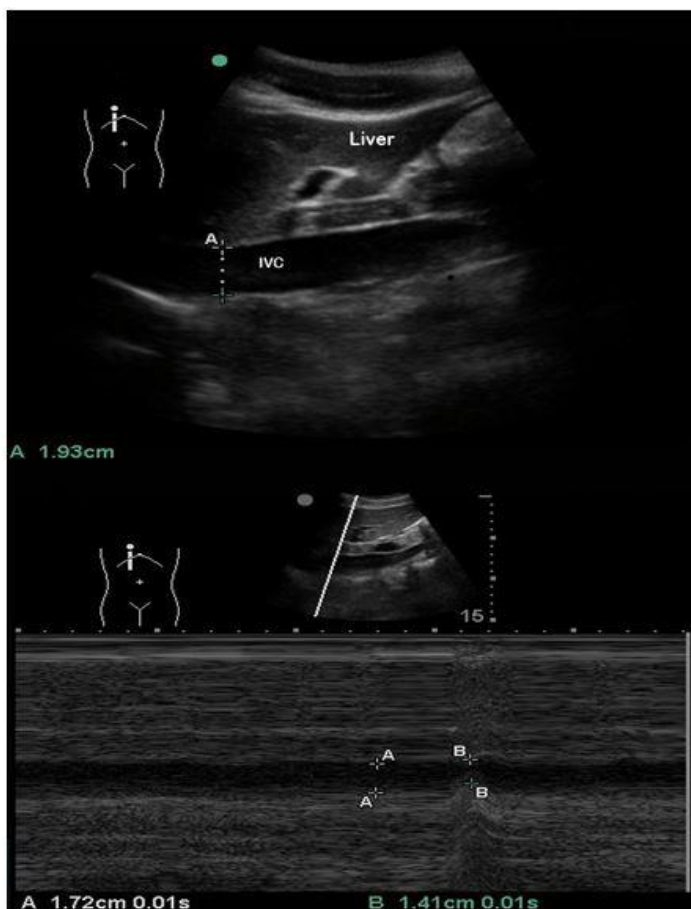


FIGURE 5 : VUE MOYENNE BICAVITE EN ECHOCARDIOGRAPHIE TRANSOESOPHAGIENNE CHEZ L'HOMME : MESURE DU DIAMETRE DE LA VEINE CAVE INFERIEURE A LA JONCTION AVEC L'ATRIUM DROIT. (ARTHUR ET AL. 2009)

2) ECHOGRAPHIE ABDOMINALE : VISUALISATION DE LA VEINE CAVE INFERIEUR ET DE L'AORTE ABDOMINALE

Afin d'obtenir les mesures de la VCI et de l'Aorte nécessaires à la surveillance des différents paramètres d'intérêts au cours d'une anesthésie, une vue a été principalement utilisée et standardisée pour l'approche abdominale : la vue sub-xiphoidienne longitudinale (Figure 6).



Les mesures de la VCI sont alors réalisées 2-3cm caudalement à la jonction avec l'atrium droit (Finnerty et al. 2017), et les mesures de l'aorte sont réalisées 10mm au-dessus du tronc coélique (Ahmad et al. 2012).

Cette vue semble être la plus fiable dans les mesures des diamètres de la VCI, ainsi que pour la mesure de l'indice de collapsibilité (Finnerty et al. 2017). Elle permet également la mesure de l'indice de distensibilité et du rapport VCI/Ao.

FIGURE 6 : APPROCHE SUB-XIPHOIDIENNE "LONG-AXIS" DE LA VCI (=IVC) EN B-MODE ET EN M-MODE CHEZ L'HOMME. (A) : RESPIRATION PASSIVE ; (B) INSPIRATION FORCEE. (FINNERTY ET AL. 2017)

Cependant, l'utilisation de la VCI et de l'Ao par abord abdominal est limitée par certaines conditions. L'étude a été réalisée dans le cadre de la prédiction de la capacité de réponse à la fluidothérapie, mais cela peut être extrapolé aux autres utilisations (Via, Tavazzi, Price 2016).

- ❖ Paramètres de la ventilation mécanique : une haute pression positive en fin d'expiration (PEEP) a tendance à augmenter la pression dans la VCI et dans l'atrium droit et à diminuer le retour veineux, cela peut ainsi introduire un biais dans les mesures. Elle doit ainsi être $\leq 5\text{cmH}_2\text{O}$. De plus, un volume courant inférieur à 8mL/kg causerait théoriquement des variations plus faibles de la taille de la VCI au cours de la respiration, et la méthode perdrait ainsi en sensibilité (Si, Xu, et al. 2018).
- ❖ Pour les patients sous pression positive continue dans les voies aériennes (CPAP), les parts de respiration assistée et spontanée sont inconstantes, et aucune étude n'a montré de résultats avec cette méthode. Elle n'est cependant pas utilisée durant la période peranesthésique.
- ❖ Les patients souffrant d'asthme ou de maladie pulmonaire obstructive chronique peuvent présenter de l'hyperinsufflation pulmonaire. Cela conduit à un collapsus de la VCI en phase expiratoire, plutôt qu'en phase inspiratoire. Il n'est alors plus possible d'utiliser cette méthode.
- ❖ Lors de dysfonction du ventricule droit ou de régurgitation tricuspидienne, une hypertension pulmonaire cause une réduction de la compliance des vaisseaux. Ainsi l'IVC est plus large et se collapse moins que la normale. Ainsi la taille de la VCI ne correspond plus au statut volémique du patient. Une congestion veineuse importante avec dilatation de la VCI est également possible lors d'un infarctus du myocarde au niveau du ventricule droit, ou lors d'une tamponnade.
- ❖ Lors d'hypertension intra-abdominale, de 3ème secteur abdominal ou de masse abdominale, la taille de la VCI est diminuée. Elle peut également être déformée.
- ❖ Des facteurs mécaniques locaux tels que des compressions, des thrombi, ou l'utilisation de canules peuvent altérer la taille et la compliance de la VCI.
- ❖ Il existe également chez certains patients une translation latérale de la VCI à l'inspiration, causant des difficultés de visualisation de la VCI.

3) ECHOGRAPHIE DE LA REGION CERVICALE : VISUALISATION DE LA JUGULAIRE ET DE LA CAROTIDE

Pour la réalisation d'une échographie de la région cervicale dans le but de visualiser la jugulaire interne et la carotide, le patient doit être placé en décubitus dorsal. La tête peut être légèrement orienté sur le côté pour mieux visualiser les vaisseaux (30°). (Figure 7)

La sonde est positionnée transversalement sur le cou du patient, au niveau de la localisation de la veine jugulaire interne, soit environ 2cm au-dessus de la clavicule. La sonde doit être bien perpendiculaire au cou du patient. Il faut alors prendre la précaution d'appliquer la pression minimale nécessaire à l'obtention d'une image de qualité. La position de la sonde est ensuite ajustée afin d'obtenir la coupe transversale la plus circulaire possible (Keller et al. 2009; Parenti et al. 2019).

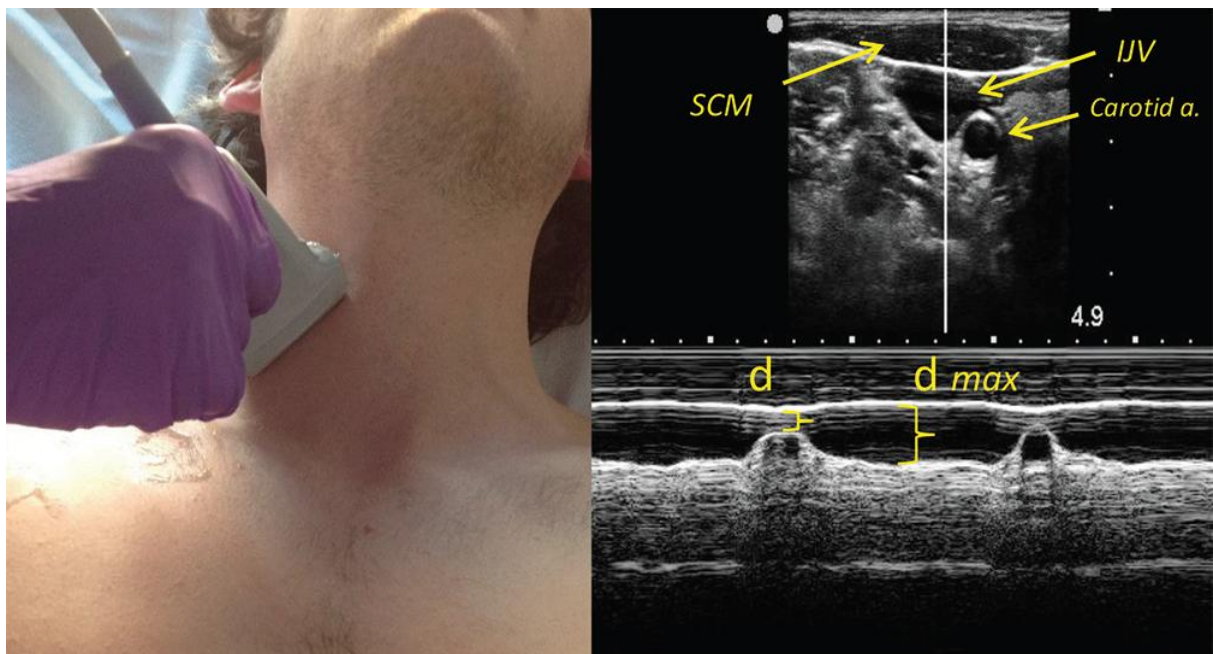


Figure 7 : Méthode de visualisation échographique de la veine jugulaire interne chez l'homme. Vue transversale en M-mode. (Kent et al. 2015)

SCM =muscle sterno-cléido-mastoïdien - IJV = veine jugulaire interne - Carotid a. = artère carotide, d = diamètre

Cette méthode permet d'évaluer différents paramètres déjà définis précédemment, tels que le diamètre de la VJI et de l'AC, l'indice de collapsibilité de la VJI, et le $\text{ratio}_{30/0}$.

Une étude a comparé la corrélation entre VJICI et VCICI afin de déterminer si le VJICI peut remplacer le VCICI, celui-ci étant moins facile d'accès. Il a alors été montré que l'obtention de l'indice de collapsibilité était plus rapide pour la veine jugulaire que pour la veine cave. Cependant la corrélation entre les deux reste faible, avec une surestimation du VJICI. Ainsi cette méthode peut être utilisée seulement si la VCI n'est pas visualisable, en prenant en compte la surestimation (Kent et al. 2015).

Enfin, il est également possible d'obtenir la vélocité du pic systolique de l'artère carotide en PW-Doppler. La sonde est alors placée transversalement sur la bordure infero-latérale du cartilage thyroïde. Ensuite, deux centimètres en dessous de la bifurcation de l'artère carotidienne, la sonde est tournée à 90° afin d'obtenir une vue longitudinale. Le PW-Doppler est ensuite mis en place au centre du vaisseau. ΔCDPV est alors calculé comme vu précédemment (Lu et al. 2017).

4) VISUALISATION DE LA VEINE ET DE L'ARTERE FEMORALE PAR ECHOGRAPHIE

Afin de visualiser la veine et l'artère fémorale par échographie, le patient est placé en décubitus dorsal. La sonde est d'abord placée de manière à visualiser la bifurcation de l'artère fémorale. La sonde est ensuite déplacée proximale. Ainsi la visualisation de la bifurcation disparaît au moment où la sonde est placée au niveau de la branche principale de l'artère fémorale. Cela permet de visualiser simultanément l'artère et la veine fémorale (Figure 8) (Ma et al. 2021).

Cette méthode permet d'évaluer le diamètre de l'artère et de la veine fémorale, l'indice de collapsibilité de la veine fémorale et le rapport du diamètre de la veine fémorale sur le diamètre de l'artère fémorale.

Concernant le VFICI, sa corrélation avec le VCICI a été étudiée afin de déterminer si il peut être utilisé à la place de ce dernier. En effet le VFICI est beaucoup plus facile d'accès et plus rapide à obtenir. Cependant, plus la VCICI augmente, plus la VFICI a tendance à sous-estimer la collapsibilité. Ainsi, le VFICI est une méthode utilisable chez des patients dont le VCICI n'est pas mesurable, en tenant compte de la sous-estimation de la collapsibilité (Kent et al. 2015).

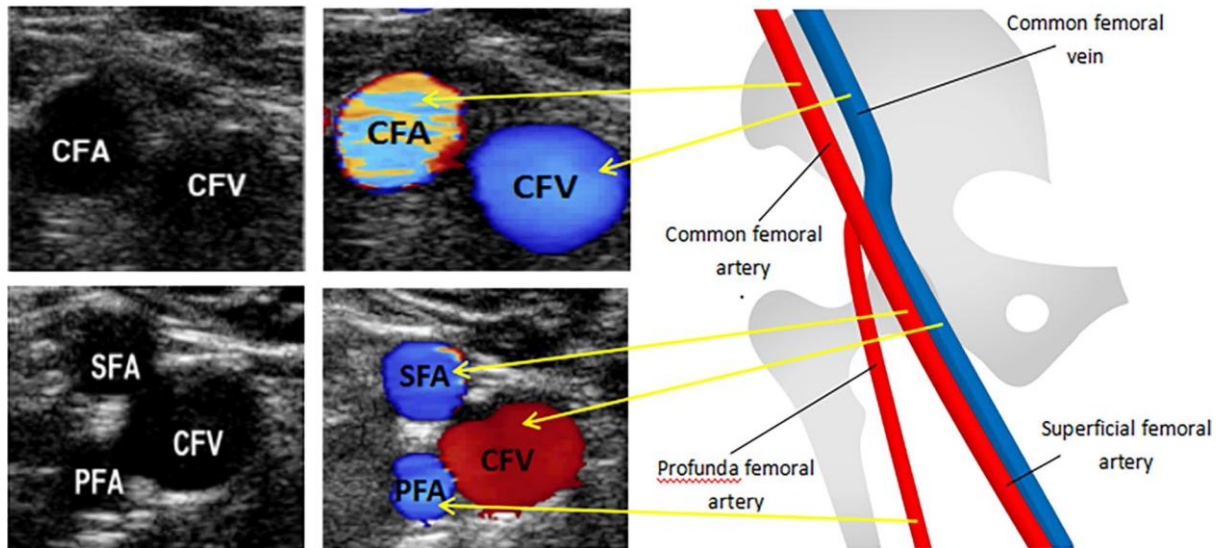


FIGURE 8 : IMAGES DE LA VEINE FEMORALE (CFV) ET DE L'ARTERE FEMORALE (CFA) PAR ECHOGRAPHIE CHEZ L'HOMME. (MA ET AL. 2021).

CFA = artère fémorale commune - CFV = veine fémorale commune - SFA = artère fémorale superficielle - PFA = artère fémorale profonde

5) VISUALISATION DE LA VEINE SUBCLAVIAIRE PAR ECHOGRAPHIE

Afin de visualiser la veine subclavière (Figure 9), le patient est placé en décubitus dorsal, la sonde est alors placée à la jonction entre le tiers latéral et le tiers moyen de la clavicule droite afin de visualiser la veine subclavière. La mesure peut être réalisée à gauche si besoin (Vaidya, Ghafghazi 2021).

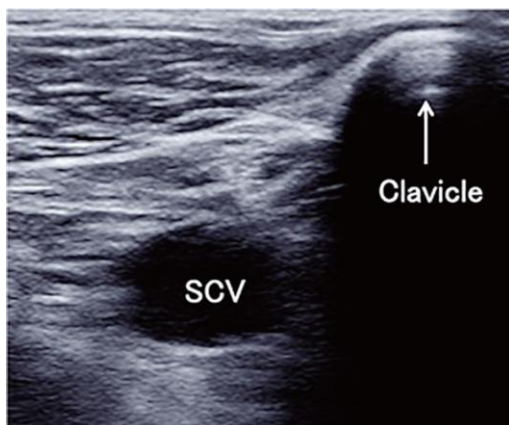


FIGURE 9 : Image échographique de la veine sub clavière en coupe transversale en B-mode chez l'homme. (IISUKA ET AL. 2020)

Cette méthode permet d'obtenir le diamètre de la VSC, son indice de collapsibilité et son indice de variabilité.

L'échographie de la veine subclavière peut être limitée chez les patients obèses (Kaptein et al. 2020).

6) VISUALISATION DE L'ARTERE BRACHIALE PAR ECHOGRAPHIE

L'artère brachiale peut être évaluée en PW-Doppler au niveau du pli du coude quand le patient est en décubitus dorsal.

Il est alors possible de mesurer le pic minimal ($V_{picbrach_{min}}$) et le pic maximal ($V_{picbrach_{max}}$) de vitesse lors d'un cycle respiratoire. On obtient alors l'indice de variation respiratoire du pic de vitesse de l'artère brachiale ($\Delta V_{picbrach}$) comme défini précédemment (Lu et al. 2017).

En médecine humaine, de nombreux paramètres sont ainsi évaluables par échographie dans un contexte de surveillance instrumentale cardiovasculaire.

Les principales approches utilisées alors étaient l'échocardiographie transthoracique, l'échocardiographie transœsophagienne, et l'échographie de la veine cave inférieure et de l'aorte par approche abdominale. On retrouve ainsi de nombreuses études pour chacun des paramètres étudiés. Cependant, l'échocardiographie transœsophagienne reste une méthode relativement invasive et l'échocardiographie transthoracique, de la veine cave inférieure et de l'aorte par approche abdominale, sont deux méthodes peu utilisables durant la période peranesthésique dans un bloc opératoire. De nouvelles approches sont ainsi à l'étude, sur des vaisseaux plus périphériques et faciles d'accès tels que la jugulaire, la carotide, la veine et l'artère fémorale, la veine subclaviaire et l'artère brachiale. La plupart de ces nouvelles études tentent ainsi d'établir de nouvelles valeurs seuils pour les paramètres d'intérêts, mais elles cherchent également à comparer ces méthodes à l'échocardiographie et à l'échographie de la veine cave inférieure et de l'aorte.

L'ensemble de ces nouvelles méthodes échographiques de surveillance instrumentale cardiovasculaire permettent ainsi de déterminer le débit cardiaque, d'estimer la pression veineuse centrale et la pression atriale droite. Elles permettent également d'évaluer la capacité de réponse à la fluidothérapie, la volémie, les pertes sanguines et de détecter les hypertensions pulmonaires.

Ces paramètres n'étaient pour la plupart pas évaluables sans méthode invasive. Le développement de l'échographie comme méthode de surveillance instrumentale durant la période peranesthésique a ainsi pour but de limiter les risques pour le patient, ainsi que les coûts liés à la mise en place des méthodes qualifiées d'invasives.

Il est donc pertinent de se pencher sur l'utilisation de cette méthode de surveillance instrumentale en médecine vétérinaire, notamment chez les animaux de compagnie, où toujours plus de moyens sont demandés afin de garantir les meilleurs soins possibles.

II/ LA SURVEILLANCE INSTRUMENTALE CARDIOVASCULAIRE PAR ECHOGRAPHIE EN MEDECINE VETERINAIRE

Contrairement à la médecine humaine qui étudie la surveillance instrumentale cardiovasculaire par échographie depuis plusieurs dizaines d'années, la médecine vétérinaire n'en est qu'à ses début.

Nous allons ainsi voir que peu d'études existent et qu'elles sont majoritairement portées sur le chien. Il existe à l'heure actuelle moins de dix études sur le cheval, et deux seulement chez le chat.

Cependant, un certain intérêt est porté à cette méthode de surveillance instrumentale peranesthésique en médecine vétérinaire dernièrement, et elle est actuellement en plein développement. Il s'agit donc de faire le point sur l'état actuel des connaissances en médecine vétérinaire chez le chien, le cheval et le chat.

A/ CHEZ LE CHIEN

En médecine vétérinaire, le chien est l'espèce la plus représentée dans les études concernant la surveillance instrumentale anesthésique de la fonction cardiovasculaire par échographie.

Des études ont été menées concernant des paramètres de surveillance de l'état cardiovasculaire durant la période peranesthésique comme le débit cardiaque, la pression artérielle ou la pression veineuse centrale. D'autres ont été menées afin de surveiller des paramètres influant la prise en charge anesthésique tels que la capacité de réponse à la fluidothérapie, l'évaluation des pertes sanguines, la déshydratation, la volémie, ou encore la détection d'insuffisance cardiaque congestive droite, d'hypertension ou de reflux tricuspide.

Pour cela, différentes vues échographiques ont été décrites et mises en œuvre : l'échocardiographie transthoracique et transœsophagienne, l'échographie de la veine cave caudale et de l'aorte, l'échographie de la veine hépatique ou encore l'échographie de la jugulaire et de la carotide.

1) ESTIMATION DU DEBIT CARDIAQUE

De nombreuses méthodes existent pour mesurer le débit cardiaque (DC) durant la période peranesthésique mais celles-ci sont pour la plupart invasives, notamment la méthode de thermodilution qui reste le gold-standard. Etant trop invasive, coûteuse et nécessitant du matériel spécifique, cette méthode n'est jamais utilisée en pratique clinique vétérinaire. Il est ainsi nécessaire d'établir d'autres méthodes d'évaluation du débit cardiaque en anesthésie vétérinaire, comme par échographie.

1.1) PAR ECHOCARDIOGRAPHIE TRANSTHORACIQUE

Le débit cardiaque peut être théoriquement obtenu en mesurant par échographie doppler l'aire sous la courbe du spectre de vélocité, appelée Velocity Time Integral (VTI), ainsi que l'aire du vaisseau étudié en coupe transversale. Le débit cardiaque est alors défini comme :

$$DC = VTI \times \text{aire du vaisseau en coupe transversale} \times FC$$

Le débit cardiaque ainsi calculé au niveau de l'aorte, en vue 5 cavités gauche, n'est pas une méthode fiable chez les chiens anesthésiés au propofol (Lopes et al. 2010). En vue longitudinale du flux sortant du ventricule gauche, chez des chiens sains anesthésiés, cette méthode n'est pas utilisable pour l'estimation du débit cardiaque, notamment après une hémorragie (Day, Boyle, Holland 2007).

Concernant l'artère pulmonaire, la mesure du débit cardiaque en vue transversale "short-axis" gauche, montre une forte corrélation avec la méthode référence invasive de thermodilution. Ainsi, l'évaluation échocardiographique du flux sanguin au niveau de la valve pulmonaire est une méthode fiable, efficace et non invasive de calcul du débit cardiaque chez des chiens sains anesthésiés au propofol (Lopes et al. 2010). Cependant cette méthode n'a pas montré une bonne fiabilité pour l'estimation du débit cardiaque après une hémorragie (Day, Boyle, Holland 2007).

1.2) PAR ECHOCARDIOGRAPHIE TRANSCÆSOPHAGIENNE

Chez des chiens sains anesthésiés et ventilés mécaniquement, l'échocardiographie transœsophagienne, pour la coupe longitudinale crâniale de l'aorte et pour la coupe transversale moyenne de la valve mitrale, est une méthode fiable d'estimation du débit cardiaque (Yamashita et al. 2005; 2007).

Dans ces études, le débit cardiaque était pharmacologiquement modifié : diminué par augmentation de la fraction inspirée en Sévoflurane, et augmenté par l'administration de dobutamine (Yamashita et al. 2007). Les valeurs restaient alors fiables pour la mesure du débit cardiaque, en comparaison avec la méthode référence de thermodilution. Cependant, une autre étude a montré que l'échocardiographie transœsophagienne n'est pas une méthode applicable à la mesure du débit cardiaque lorsque des inotropes positifs sont utilisés (Lazic, Riedesel, Evans 2003). Des études supplémentaires sont donc nécessaires afin de déterminer la fiabilité de cette méthode chez le chien lors de l'utilisation d'inotropes positifs.

En vue transgastrique, chez des chiens sains anesthésié à l'isoflurane, une forte corrélation existe entre le débit cardiaque mesuré par thermodilution, et le débit cardiaque calculé à partir de la VTI (comme vu précédemment). Ainsi, cette méthode est une méthode fiable d'estimation du débit cardiaque. La précision de la mesure est cependant plus faible pendant les phases d'hypotension, mais elle reste acceptable (Mantovani et al. 2017).

1.3) SYNTHÈSE

Il est ainsi possible de mesurer le débit cardiaque par échocardiographie transthoracique et transœsophagienne chez le chien anesthésié.

Concernant l'échocardiographie transthoracique, la mesure doit être réalisée au niveau de l'artère pulmonaire en vue transversale "short-axis" gauche. Il est ainsi nécessaire d'utiliser la mesure de la VTI pour calculer le débit cardiaque. Cependant cette méthode n'est pas fiable après une hémorragie.

Pour l'échocardiographie transœsophagienne, les mesures sont réalisables sur des chiens ventilés mécaniquement, avec la même méthode de calcul que pour l'échocardiographie transthoracique. Cependant, des limites existent en fonction de la coupe utilisée : pour la

coupe longitudinale crâniale de l'aorte et pour la coupe transversale moyenne de la valve mitrale, la fiabilité des mesures n'est pas prouvée lors de l'utilisation d'inotrope positif ; et pour la coupe transgastrique la précision est plus faible lors de phases d'hypotension.

Ces méthodes restent moins invasives que d'autres méthodes telles que la thermodilution, mais les risques liés à l'ETO sont à prendre en compte avant la mise en place de ce type de surveillance instrumentale.

2) EVALUATION DE LA CAPACITE DE REPONSE A LA FLUIDOTHERAPIE

Maintenir un débit cardiaque (DC) suffisant est essentiel durant la période peranesthésique afin d'éviter toute complication liée à une éventuelle hypoperfusion tissulaire. Or, pour maintenir ce débit cardiaque, la fluidothérapie est utilisée en première intention. En effet, l'administration de fluide permet d'augmenter la précharge et ainsi le DC.

Cependant, un excès de fluide peut être délétère et mener à des œdèmes pulmonaires, à la formation de 3^{ème} secteur ou encore diminuer la capacité de diffusion de l'oxygène.

Il est ainsi essentiel de déterminer la capacité de réponse à la fluidothérapie d'un patient afin de ne pas le surcharger inutilement en fluide. L'évaluation clinique du patient ne suffisant pas, des méthodes d'évaluation échographique ont été mises au point.

2.1) PAR ECHOCARDIOGRAPHIE TRANSTHORACIQUE

En vue sub-xiphœidienne, par analogie à la médecine humaine, les patients dont la variation de la VTI (ΔVTI) est supérieure à 15% après un bolus sont considérés comme répondant à la fluidothérapie (Rabozzi et al. 2020).

$$\Delta VTI (\%) = \left(\frac{VTI_{post\ bolus} - VTI_{pré\ bolus}}{VTI_{pré\ bolus}} \right) \times 100$$

Un deuxième indice, la variation du pic de vitesse du flux aortique au cours du cycle respiratoire (ΔV_{pic}) est défini. De même que pour la VTI, si la variation est supérieure à 15% après un bolus, le patient est considéré comme répondant à la fluidothérapie (Bucci et al. 2017).

$$\Delta V_{pic}(\%) = \frac{V_{picmax} - V_{picmin}}{(V_{picmax} + V_{picmin}) \times 0,5} \times 100$$

Cependant, ces paramètres ne permettent pas d'identifier les patients répondant à la fluidothérapie avant le remplissage vasculaire. D'autres paramètres ont donc été étudiés.

Chez les chiens vigiles répondant à la fluidothérapie, la VTI pré-bolus est significativement plus faible, que chez les chiens non répondants (Rabozzi et al. 2020). Il a également été montré qu'en vue apicale gauche, chez des chiens vigiles, la VTI avant bolus est significativement plus basse chez les patients répondants que chez les non répondants à la fluidothérapie (Donati et al. 2020). Cependant aucune valeur seuil n'a pu être déterminée. Cela peut s'expliquer de plusieurs façons : pour la première étude la vue utilisée n'est pas précisée et peut donc être différente, et l'échantillon n'est pas homogène pour chaque étude. La différence de gabarit des chiens étudiés peut aussi avoir une influence sur les valeurs.

Enfin, chez des chiens sains anesthésiés au propofol et ventilés mécaniquement, les chiens répondant à la fluidothérapie ont un ΔV_{pic} supérieur (moyenne = 11%) aux non répondants (moyenne = 7,3%) avant le bolus de cristalloïdes isotoniques (5mL/kg). La valeur seuil est de 9,4% avec une sensibilité de 88,89% et une spécificité de 100% (Bucci et al. 2017).

2.2) PAR ECHOGRAPHIE DE LA VEINE CAVE CAUDALE ET DE L'AORTE

Chez des chiens vigiles en vue transhépatique, le rapport VCC/Ao permet de différencier les patients répondant à la fluidothérapie des non répondants. Il est significativement plus bas chez les patients répondants. La valeur seuil est de 0,83 avec une spécificité de 75% et une sensibilité de 100%. Cependant, une zone d'incertitude est décrite entre 0,64 et 0,8 (Rabozzi et al. 2020).

Un second marqueur, l'indice de distensibilité de la veine cave caudale (VCCDI), permet d'évaluer la capacité de réponse à la fluidothérapie chez des chiens sains anesthésiés et ventilés mécaniquement, en vue transhépatique. Il est calculé tel que :

$$VCCDI (\%) = \frac{VCC_{max} - VCC_{min}}{(VCC_{max} + VCC_{min}) \times 0,5} \times 100$$

Cet indice est significativement plus élevé chez les patients répondant à la fluidothérapie que chez les non-répondants. La valeur seuil est 24%. En dessous de cette valeur, les patients sont considérés comme non répondant à la fluidothérapie avec une sensibilité de 77,78% et une spécificité de 73,33% (Bucci et al. 2017).

L'indice de collapsibilité de la veine cave caudale (VCCCI), défini comme :

$$VCCCI (\%) = \frac{VCCmax - VCCmin}{VCCmax} \times 100$$

peut être utilisé comme marqueur de réponse à la fluidothérapie chez des chiens hospitalisés et vigiles, en vue transhépatique. En effet, le VCCCI est significativement plus élevé chez les chiens répondant (moyenne à 52%) à la fluidothérapie, que chez les chiens non répondants (moyenne à 8%). La valeur seuil est de 27% avec une sensibilité à 100% et une spécificité à 83,3% (Donati et al. 2020).

2.3) SYNTHÈSE

Les patients répondant à la fluidothérapie sont définis comme les patients dont la variation de la VTI ou dont la variation du pic de vitesse du flux aortique au cours du cycle respiratoire sont supérieurs à 15% après un bolus de fluide. La mesure se réalise alors par échocardiographie transthoracique. Cependant, ces valeurs ne permettent pas de prédire la capacité de réponse à la fluidothérapie d'un patient, avant le remplissage vasculaire.

Il a été remarqué qu'en valeur absolue, la VTI pré-bolus mesurée par échocardiographie transthoracique est significativement inférieure chez les patients répondant à la fluidothérapie que chez les non répondants. Cependant, aucune valeur seuil n'a pu être déterminée. De plus, il existe une grande variabilité de gabarit dans l'espèce canine. Il est donc difficilement envisageable de déterminer des valeurs seuils sur des paramètres absolus (comme le diamètre d'un vaisseau), ou alors il serait nécessaire de les exprimer en fonction du poids du chien. Les paramètres normalisés, comme des indices de variations ou des rapport (indice de collapsibilité, de distensibilité, rapport VCC/Ao, ...) sont ainsi, bien plus intéressants.

D'autres paramètres ont ainsi été étudiés et ont été rassemblés dans le tableau 5.

Paramètre	Méthode	Vue	Valeur seuil	Sensibilité	Spécificité	Limite(s)	Référence
ΔV_{pic}	Echocardiographie transthoracique	/	>9,4%	88,9%	100%	Ventilation mécanique	Bucci et al. 2017
VCC/Ao	Echographie de la VCC et de l'Ao	Transhépatique	< 0,83	75%	100%	Zone d'incertitude entre 0,64 et 0,8	Rabozzi et al. 2020
VCCDI	Echographie de la VCC et de l'Ao	Transhépatique	> 24%	77,8%	73,3%	Ventilation mécanique	Bucci et al. 2017
VCCCI	Echographie de la VCC et de l'Ao	Transhépatique	> 27%	100%	83,3%	Respiration spontanée	Donati et al. 2020

TABEAU 5 : SYNTHÈSE DES DIFFÉRENTS PARAMÈTRES ÉCHOGRAPHIQUES PERMETTANT D'ÉVALUER LA CAPACITÉ DE RÉPONSE À LA FLUIDOTHÉRAPIE CHEZ LE CHIEN

3) ÉVALUATION DES PERTES SANGUINES

De la même façon qu'en médecine humaine, évaluer les pertes sanguines est essentiel en situation d'urgence, mais également durant la période peranesthésique lors de chirurgie. En effet, une hémorragie peut causer hypotension, tachycardie, mais également hypoxémie à cause de la perte en hémoglobine.

Il serait donc utile d'établir un/des paramètres échographiques permettant l'évaluation précise des pertes sanguines de façon rapide et non invasive.

3.1) ÉCHOGRAPHIE DE LA VEINE CAVE CAUDALE ET DE L'ARTÈRE

Seules des études concernant l'échographie de la veine cave caudale (VCC) et de l'artère (Ao) ont évoqué l'estimation des pertes sanguines par échographie.

Chez des Greyhounds sains et vigiles, après un don de sang représentant 10% de la volémie, le diamètre de la VCC en vue paralombaire est significativement réduit (différence <1mm) et l'indice de collapsibilité de la VCC est augmenté de manière significative. Le rapport VCC/Ao n'est pas différent avant et après. Cependant, bien que statistiquement significative, la différence reste très minime et rend presque impossible en pratique, la détection de perte sanguine (< 10%) avec cette méthode (Marshall et al. 2018). Une autre étude, menée de la

même façon mais avec une perte sanguine estimée à 14% de la volémie, n'a pas montrée de différence significative entre les paramètres étudiés avant et après le don (Herreria-Bustillo, Fitzgerald, Humm 2019).

Sur des chiens sédatisés (Butorphanol 0,2mg/kg et Dexmédétomidine 1µg/kg), en vue spléno-rénale, la mise en évidence de l'hypovolémie induite par le don de sang (environ 8%) est possible. En effet, le diamètre de la VCC et le rapport VCC/Ao sont significativement plus petits après le don de sang qu'avant, avec une différence de 2 à 3mm pour le diamètre de la VCC. Cependant, il n'y a pas de relation linéaire significative entre la quantité de sang prélevée et le rapport VCC/Ao (Cambournac et al. 2018).

3.2) SYNTHÈSE

Il est ainsi impossible dans un contexte clinique de détecter une perte sanguine inférieure ou égale à 14% de la volémie par échographie de la veine cave caudale et de l'aorte en vue paralombaire.

Cependant il a été montré qu'en vue spléno-rénale, il est possible de détecter une perte sanguine d'environ 8% de la volémie. En effet, le diamètre de la VCC diminue alors d'en moyenne 2 à 3mm, et le rapport VCC/Ao diminue également. Aucune valeur seuil n'a cependant été définie, ni aucune relation linéaire permettant d'estimer la quantité de sang perdue en fonction des paramètres échographiques.

Il est ainsi possible de visualiser des pertes sanguines à l'aide de cette méthode, mais des études supplémentaires sont ainsi nécessaires afin de déterminer des valeurs seuils et la précision de cette méthode pour l'évaluation des pertes sanguines durant la période peranesthésique. Cependant ces études devraient porter sur des paramètres normalisés afin de pouvoir déterminer des valeurs seuils pour l'espèce canine en général, comme évoqué dans la partie concernant la capacité de réponse à la fluidothérapie.

4) EVALUATION DE LA DESHYDRATATION

Evaluer la déshydratation d'un patient est essentiel avant toute anesthésie afin de prévoir au mieux toute éventuelle complication liée à cet état, et ainsi prendre toutes les précautions nécessaires afin de les éviter.

La déshydratation peut s'évaluer cliniquement et biologiquement, mais un paramètre échographique peut également apporter son intérêt dans la quantification de celle-ci.

4.1) PAR ECHOGRAPHIE DE LA VEINE CAVE CAUDALE ET DE L'AORTE

Sur des chiens Beagles sains, vigiles, en vue transhépatique en B-Mode, le rapport VCC/Ao est corrélé négativement, de façon linéaire, au poids perdu par le chien lors d'une déshydratation induite par administration de diurétiques à haute dose (Kwak et al. 2018).

4.2) SYNTHÈSE

Une étude a permis de montrer que plus un chien est déshydraté, plus le rapport VCC/Ao est faible. Une corrélation linéaire a ainsi été mise en évidence et a permis de montrer la faisabilité de la méthode, mais aucune valeur seuil ni formule n'a pu être établie.

5) EVALUATION DES VARIATIONS DE LA PRESSION VEINEUSE CENTRALE

De la même façon que pour la médecine humaine, la pression veineuse centrale (PVC) est un paramètre qui dépend du débit cardiaque, de la volémie, de la résistance vasculaire systémique, mais également de la pression intrathoracique et intrapéritonéale. On la considère équivalente à la pression dans l'atrium droit en l'absence de résistance vasculaire importante.

Si la PVC a tendance à être trop basse, cela signe plutôt un défaut de précharge et donc une hypovolémie. Alors qu'une tendance haute de la PVC peut indiquer une hypervolémie, une insuffisance cardiaque droite, une augmentation de pression dans l'abdomen ou le thorax, une tamponnade, ou encore une obstruction de la veine cave.

Il est donc très intéressant de surveiller la PVC durant la période peranesthésique afin de détecter précocement d'éventuels troubles cardiovasculaires. Hors, actuellement, la surveillance se fait essentiellement par la mise en place d'un cathéter veineux central, qui

peut causer de nombreuses complications. Il est donc intéressant de déterminer des méthodes non invasives d'estimation de la PVC.

5.1) PAR ECHOGRAPHIE DE LA VEINE CAVE CAUDALE ET DE L'AORTE

Il a été montré que chez des chiens sains anesthésiés et en respiration spontanée, en vue spléno-rénale droite, il existe une corrélation positive entre l'augmentation de la pression veineuse centrale et le diamètre de la VCC (Nelson et al. 2010).

Cependant, aucune valeur seuil n'a pu être déterminée.

5.2) PAR ECHOGRAPHIE DE LA VEINE HEPATIQUE

Chez des chiens sains, anesthésiés avec de l'isoflurane, il existe une corrélation entre la pression veineuse centrale et le diamètre de la veine hépatique (Nelson et al. 2010).

Il est également possible à l'aide du PW-Doppler d'évaluer l'onde produite par le flux de la veine hépatique. Chez le chien, l'onde produite est multiphasique et comprend 4 pics (Figure 10).

La petite vague (a), consécutive à l'onde p de l'ECG, est causée par le flux rétrograde pendant la contraction atriale droite. Une large vague (S) a lieu immédiatement après le complexe QRS et représente le flux sanguin allant vers le cœur, pendant la contraction du ventricule et le remplissage de l'atrium. Une petite vague (v), qui peut être rétrograde, antérograde ou neutre, est ensuite causée par le sur-remplissage de l'oreillette droite, à la fin de l'onde T sur l'ECG. Enfin, une vague antérograde (D), suivant l'onde T de l'ECG, a lieu durant la relaxation du ventricule droit pendant la diastole. Le schéma de cette vague est conservée quoi qu'il arrive, même chez des chiens avec une hémodynamique altérée (Smithenson et al. 2004).

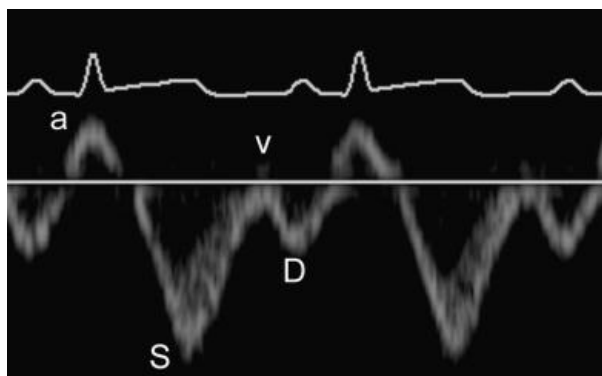


FIGURE 10 : FORME PULSEE DU FLUX DE LA VEINE HEPATIQUE MEDIALE DROITE EN PW-DOPPLER AVEC ENREGISTREMENT ECG EN PARALLELE CHEZ UN CHIEN SAIN ANESTHESIE. LE FLUX RETROGRADE PAR RAPPORT A LA SONDE (S'ELIOGNE DU COEUR) EST REPORTE EN HAUT DE LA LIGNE, LE FLUX RETROGRADE PAR RAPPORT A LA SONDE EST REPORTE SOUS LA LIGNE. (NELSON ET AL, 2010)

Une étude a été réalisée chez des chiens sains, anesthésiés à l'isoflurane, en respiration spontanée et a montré que lors d'augmentation de la pression veineuse centrale par remplissage vasculaire, la vélocité de la vague a (a-wave) augmente significativement, ainsi que celle de la vague v (v-wave). Le signal de la vague S (S-wave) s'élargit et devient plus pointu, sa vélocité augmente également. La vague D (D-wave) ne change pas significativement (Figure 11). Il existe ainsi un coefficient de corrélation entre la PVC et le pic de vélocité des vagues v et S (v-wave, S-wave) (Nelson et al. 2010).

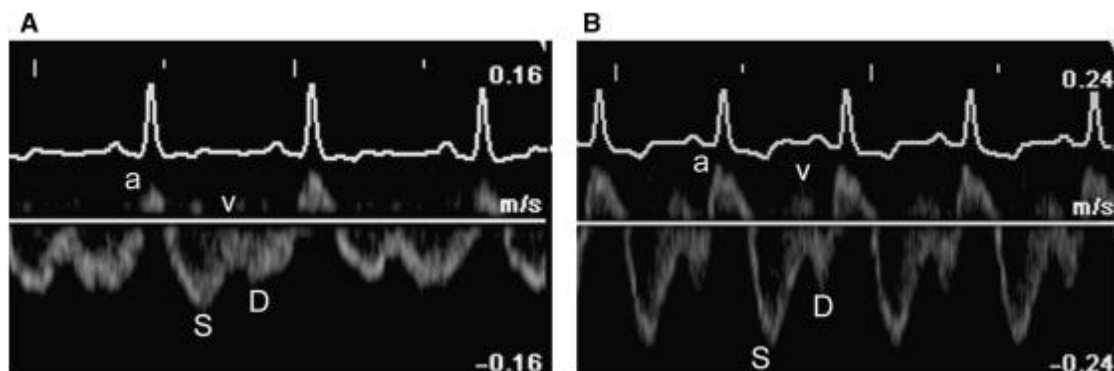


FIGURE 11 : PW-DOPPLER DE LA VEINE HEPATIQUE CHEZ LE CHIEN SAIN ANESTHESIE. (A) DANS UN CONTEXTE CARDIOVASCULAIRE NORMAL, (B) LORS D'AUGMENTATION DE LA PRESSION VEINEUSE CENTRALE PAR REMPLISSAGE VASCULAIRE. (NELSON ET AL. 2010)

5.3) SYNTHÈSE

Il a ainsi été montré qu'il est possible de détecter chez le chien des augmentations de la pression veineuse centrale à l'aide du diamètre de la VCC, du diamètre de la veine hépatique ou bien à l'aide de l'onde produite par le flux de la veine hépatique en PW-Doppler.

Cependant aucune valeur seuil n'a pu être mise en évidence. En effet l'étude portant sur le diamètre de la VCC ayant été réalisée sur des chiens de gabarit différent, il n'est possible de déterminer une valeur seuil qu'en l'exprimant en fonction du poids du chien, comme évoqué précédemment. De même pour les mesures réalisées au niveau de la veine hépatique. Il serait intéressant de se pencher sur des paramètres normalisés pour estimer la PVC, rendant plus évident la détermination d'une valeur seuil.

6) EVALUATION DES VARIATIONS DE LA PRESSION ARTERIELLE

Maintenir une pression artérielle suffisante est un des enjeux principaux durant la période peranesthésique afin d'éviter toute complication liée à une éventuelle hypoperfusion tissulaire. Il est donc essentiel de la surveiller cliniquement et instrumentalement tout au long d'une anesthésie.

6.1) PAR ECHOGRAPHIE DE LA VEINE CAVE CAUDALE ET DE L'AORTE

Chez des chiens sains anesthésiés et ventilés mécaniquement, le rapport VCC/Ao en vue transhépatique est significativement augmenté après l'administration d'un bolus, et une corrélation linéaire négative entre ce rapport et la variation de pression systolique a été mise en évidence (Meneghini, Rabozzi, Franci 2016).

6.2) PAR ECHOGRAPHIE DE LA VEINE HEPATIQUE

Chez des chiens vigiles, l'évaluation de la veine hépatique en PW-Doppler montre une corrélation négative entre la vague A (A-wave) et la pression artérielle systolique (Silva et al. 2020).

6.3) PAR ECHOGRAPHIE DE LA VEINE JUGULAIRE ET DE L'ARTERE CAROTIDE

Chez des chiens sains, anesthésiés, et en respiration spontanée, on observe une tendance à l'augmentation du rapport des surfaces jugulaire/carotide, lors d'une diminution de la PAM. Cependant, il n'existe pas de corrélation linéaire entre la variation du rapport des surfaces jugulaire/carotide et celle de la pression artérielle moyenne (Estoueigt, 2021).

6.4) SYNTHESE

Bien que des corrélations ont été mises en évidence entre la pression artérielle et les paramètres étudiés, aucune valeur seuil ni formule n'a pu être déterminée afin d'estimer cette pression artérielle à partir de paramètres échographiques. Il a cependant été montré qu'il est possible d'observer des variations dans ces paramètres lorsque la pression artérielle varie. Il pourrait donc être intéressant de poursuivre les études en ce sens.

7) DETECTION D'UNE INSUFFISANCE CARDIAQUE CONGESTIVE DROITE

Détecter une insuffisance cardiaque congestive droite (ICCD) éventuelle est essentielle avant toute anesthésie afin d'adapter au mieux le protocole anesthésique et la fluidothérapie. Une échocardiographie complète est possible, mais elle nécessite des compétences en imagerie. Il serait donc intéressant de déterminer des méthodes de détection de l'insuffisance cardiaque congestive droite par échographie accessible à tout vétérinaire, non spécialiste en imagerie.

7.1) PAR ECHOGRAPHIE DE LA VEINE CAVE CAUDALE ET DE L'AORTE

Chez des chiens vigiles, en vue transhépatique, le diamètre maximal (12,5mm) et le diamètre minimal (10,1 - 10,7 mm) de la VCC sont significativement plus élevés chez les chiens atteints d'insuffisance congestive droite que chez les chiens en insuffisance congestive gauche ou présentant un épanchement sans insuffisance cardiaque. Pour cette étude, le poids moyen des chiens étudiés est de 13kg (Chou et al. 2021; Fujioka et al. 2021).

Le rapport des diamètres VCC/Ao est plus élevé chez les chiens en insuffisance cardiaque congestive que chez les chiens présentant un épanchement sans insuffisance cardiaque associée (Chou et al. 2021). Une valeur seuil de 0,957 a été déterminée, avec une sensibilité de 75% et une spécificité de 88,4% (Fujioka et al. 2021).

L'indice de collapsibilité de la VCC est également significativement plus bas (18,5%) chez les chiens en ICCD que chez les autres. Ainsi, un indice de collapsibilité de la VCC en B-Mode <33 % indique une insuffisance cardiaque congestive droite avec une sensibilité de 90,6% et une spécificité de 96,1% par rapport à des chiens avec un épanchement mais sans insuffisance cardiaque associée. Le rapport VCC/Ao en M-Mode permet de faire la même différenciation avec une sensibilité de 80,6% et une spécificité de 80,4% (Chou et al. 2021).

7.2) PAR ECHOGRAPHIE DE LA VEINE HEPATIQUE



Chez des chiens en insuffisance cardiaque congestive droite, la dilatation de la veine hépatique est significativement plus fréquente que chez les autres chiens (Se = 84,4%, Sp = 90%) (Figure 12) (Chou et al. 2021).

FIGURE 12 : VISUALISATION DE LA DILATATION DE LA VEINE HEPATIQUE EN VUE SUB-XIPHŒDIENNE CHEZ LE CHIEN EN INSUFFISANCE CARDIAQUE CONGESTIVE DROITE (CHOU ET AL. 2021)

7.3) SYNTHESE

Il a ainsi été montré qu'il est possible de détecter une insuffisance cardiaque congestive droite à l'aide de méthodes échographiques simples.

Ainsi un rapport $VCC/Ao > 0,957$ indique une ICCD avec une sensibilité de 75% et une spécificité de 88,4%. Il est également possible d'évaluer l'indice de collapsibilité de la VCC en B-Mode, si il est $< 33\%$ alors il permet de détecter une ICCD chez des chiens présentant un épanchement avec une sensibilité de 90,6% et une spécificité de 96,1%.

Enfin, si l'on observe une dilatation de la veine hépatique à l'échographie, alors il est possible de détecter une ICCD avec une sensibilité de 84,4% et une spécificité de 90%.

8) DETECTION DUNE HYPERTENSION ARTERIELLE SYSTEMIQUE PAR ECHOGRAPHIE DE LA VEINE CAVE CAUDALE ET DE L'AOORTE

L'hypertension artérielle systémique est souvent secondaire à une affection intercurrentes comme une maladie rénale chronique, une endocrinopathie ou encore un phénomène néoplasique. Elle a de nombreuses conséquences, notamment sur le cœur et les reins. Il est donc essentiel de détecter cette hypertension avant toute anesthésie afin d'anticiper au mieux les éventuelles complications liées à cet état.

Chez les chiens atteints d'hypertension systémique, en vue paralombaire (M-Mode), l'aorte est plus large que la veine cave caudale. Chez des chiens sains, le rapport Ao/VCC est d'environ 1,02, or il est décrit comme étant de 1,512 chez les chiens atteints d'hypertension. On a ainsi un rapport Ao/VCC augmenté chez les chiens présentant une hypertension systémique (Holland et al. 2020).

On remarque ainsi qu'il existe des signes d'hypertension artérielle systémique en échographie, mais aucune valeur seuil n'a pu être déterminée à l'heure actuelle.

9) ESTIMATION DU REFLUX TRICUSPIDIEN PAR ECHOGRAPHIE EN PW-DOPPLER DE LA VEINE HEPATIQUE

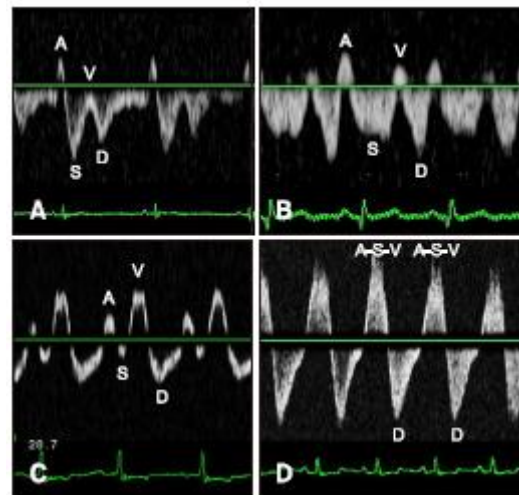
Un reflux tricuspide peut, en fonction de son intensité, avoir pour conséquence une dilatation de l'oreillette droite et une insuffisance cardiaque droite. Il est ainsi nécessaire de détecter ce reflux et de le grader avant une anesthésie. Il pourrait également être intéressant de pouvoir surveiller l'intensité et l'évolution de ce reflux au cours d'une anesthésie.

Il a été montré que l'échographie en PW-Doppler permet de détecter les reflux tricuspides. En effet, la vélocité de la D-wave et de la a-wave, ainsi que le rapport S/D sont significativement plus petits chez les chiens présentant un reflux tricuspide, que chez les chiens sains.

Une forte corrélation négative entre la sévérité du reflux tricuspide et le rapport S/D est mise en évidence. Il existe également une corrélation négative entre la sévérité du reflux tricuspide avec la vélocité de la S-wave et de la D-wave.

Ainsi, un ratio S/D <0,97 indique avec une bonne sensibilité et une bonne spécificité un reflux tricuspидien modéré à sévère, mais des études complémentaires pour valider cette valeur sont nécessaires. On peut également utiliser le type de pattern (A, B&C ou D) pour estimer qualitativement la gravité du reflux tricuspидien (Figure 13) (Kim, Kim, Eom 2017).

FIGURE 13 : FLUX VEINEUX HEPATIQUE CHEZ DES CHIENS PRESENTANT UN REFLUX TRICUSPIDIEN. (A) : FLUX A DOMINANCE SYSTOLIQUE NORMALE AVEC REFLUX TRICUSPIDIEN LEGER. (B&C) : PATTERN INVERSE AVEC UNE S-WAVE PLUS PETITE QUE LA D-WAVE, REFLUX TRICUSPIDIEN MODERE. (D) : FLUX RETROGRADE PENDANT LA SYSTOLE VENTRICULAIRE AVEC FUSION DE LA S-WAVE AVEC LA A- ET LA V-WAVE AVEC REFLUX TRICUSPIDIEN SEVERE (KIM ET AL. 2017)



10) CONSIDERATIONS PRATIQUES

Dans cette partie, nous allons rappeler les différentes méthodes échographiques d'évaluation des paramètres cités précédemment. Nous allons ainsi revoir les vues utilisées en échocardiographie transthoracique et transœsophagienne, les méthodes d'échographies de la veine cave caudale, de l'aorte, de la veine hépatique, de la veine jugulaire et de la carotide chez le chien.

10.1) VUES UTILISEES EN ECHOCARDIOGRAPHIE TRANSTHORACIQUE POUR LA SURVEILLANCE INSTRUMENTALE PAR ECHOGRAPHIE

- ❖ La vue transversale "short axis" gauche permet d'évaluer le flux artériel pulmonaire, la sonde est placée au niveau du 3ème espace intercostal gauche de manière à obtenir une coupe de la sortie du ventricule droit (Figure 15). Le doppler est ensuite placé au centre de l'artère pulmonaire, juste distalement à la valve pulmonaire afin d'obtenir la VTI (Figure 14) (Lopes et al. 2010). Cette vue permet également d'obtenir le diamètre de l'artère pulmonaire, au niveau de la valve pulmonaire (Day, Boyle, Holland 2007).

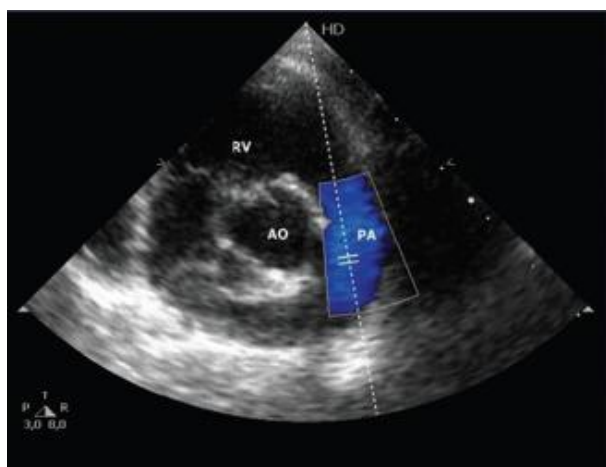


FIGURE 14 : POSITIONNEMENT DU DOPPLER JUSTE DISTALEMENT A LA VALVE PULMONAIRE EN VUE "SHORT-AXIS" GAUCHE CHEZ LE CHIEN. RV = VENTRICULE DROIT, AO = AORTE, PA = ARTERE PULMONAIRE (LOPES ET AL. 2010)

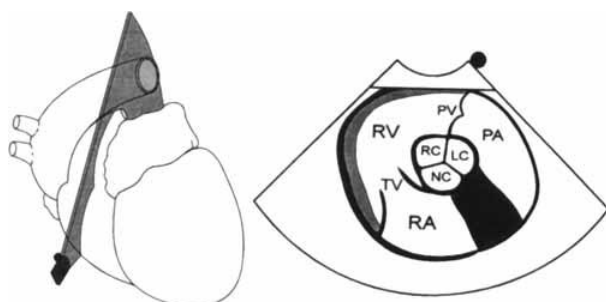


FIGURE 15 : COUPE "SHORT-AXIS" GAUCHE CHEZ LE CHIEN. (THOMAS ET AL.. 1993)

- ❖ La vue 5 cavités gauche est une coupe longitudinale apicale. La sonde est cette fois placée au niveau du 5ème espace intercostal à gauche. Le doppler est ensuite placé le plus proche possible de la valve aortique de l'aorte ascendante afin d'obtenir le flux aortique (Figure 16) (Lopes et al. 2010).



FIGURE 16 : POSITIONNEMENT DU DOPPLER AU NIVEAU DE L'AORTE ASCENDANTE EN VUE APICALE 5 CAVITES GAUCHE CHEZ LE CHIEN. RV = VENTRICULE DROIT, LV = VENTRICULE GAUCHE, RA = ATRIUM DROIT, LA = ATRIUM GAUCHE. (LOPES ET AL. 2010)

- ❖ La vue sub-xiphoïdienne(= subcostale) au niveau du flux sortant du ventricule gauche permet d'obtenir une image doppler du flux aortique (Figure 17). On obtient ainsi la VTI de l'aorte. La répétabilité intra et interopérateur est satisfaisante pour cette mesure. (Rabozzi et al. 2020; Bucci et al. 2017)

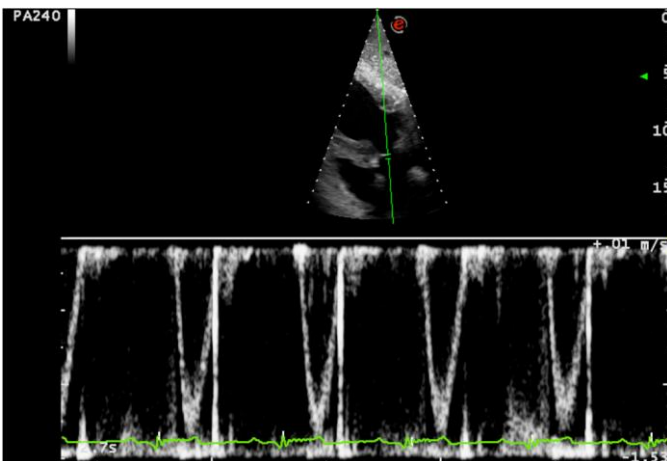


FIGURE 17 : VUE ECHOCARDIOGRAPHIQUE SUB-COSTALE EN DOPPLER DU FLUX EN SORTIE DU VENTRICULE GAUCHE CHEZ LE CHIEN. (RABOZZI ET AL. 2020)

10.2) VUES UTILISEES EN ECHOCARDIOGRAPHIE TRANSŒSOPHAGIENNE POUR LA SURVEILLANCE INSTRUMENTALE PAR ECHOGRAPHIE

- ❖ Coupe longitudinale crâniale en vue "long-axis" de l'aorte : La sonde est insérée non fléchie dans l'œsophage crânial, elle est ensuite rétrofléchiée et avancée caudalement jusqu'à obtenir une image de la base du cœur (Figure 19). Avec un angle réglé à 75-85°, on obtient alors une coupe longitudinale. En orientant le faisceau au centre, on peut observer l'arc aortique. Le marqueur d'échantillonnage est alors placé entre l'artère pulmonaire et l'auricule droit, au centre de l'aorte ascendante. Le volume d'éjection systolique et le débit cardiaque peuvent alors être calculés en utilisant la coupe transversale de l'aorte (Figure 18) (Goya et al. 2017).

Pour cette vue, les images peuvent être obtenues quelque soit le décubitus (Goya et al. 2017).

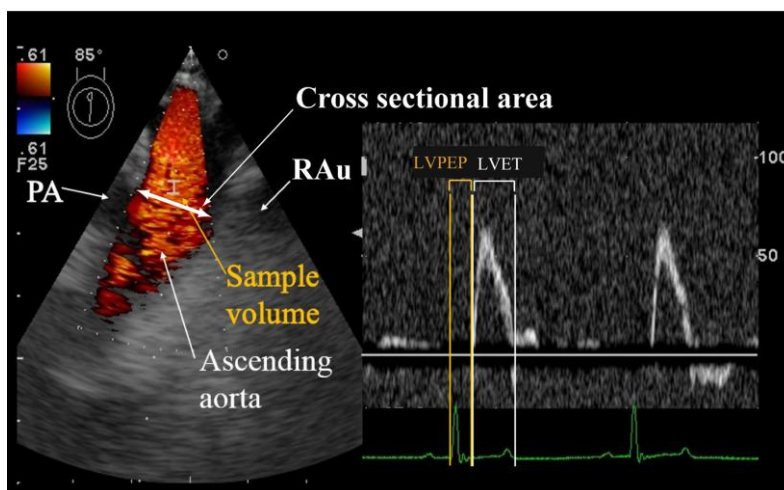


FIGURE 18 : "LONGITUDINAL CRANIAL-ESOPHAGEAL AORTA LONG-AXIS-VIEW" AVEC LE MARQUEUR D'ECHANTILLONNAGE (SAMPLE VOLUME) AU CENTRE DE L'AORTE ASCENDANTE PAR ETO CHEZ LE CHIEN. PA = ARTERE PULMONAIRE, RAU = AURICULE DROIT, LVPEP = PERIODE PRE-EJECTIONNELLE DU VENTRICULE GAUCHE, LVET = TEMPS D'EJECTION DU VENTRICULE GAUCHE. (GOYA ET AL. 2017)

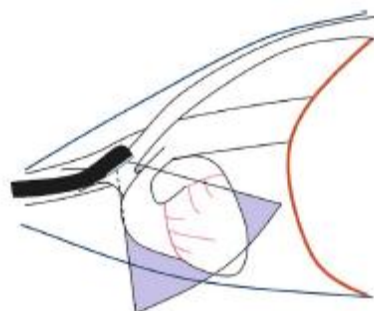


FIGURE 19 : POSITION DE LA SONDÉ POUR LES VUES LONGITUDINALE CRANIALE PAR ETO CHEZ LE CHIEN. (DOMENECH ET ALOVIERA, 2013)

- ❖ Coupe transversale moyenne en vue "long-axis" de la valve mitrale : depuis la position précédente, la sonde est avancée plus loin en position neutre jusqu'à atteindre le point où il n'y a plus d'interférence avec la trachée (Figure 20). Avec un angle de 0°, on obtient une vue 4 cavités long axis. Le flux passant par la valve mitrale par doppler est alors obtenu en positionnant le marqueur d'échantillonnage à la pointe de la valve mitrale. Il est alors possible de mesurer la VTI (Figure 21) (Goya et al. 2017). La vue peut être obtenue quelque soit la position (Goya et al. 2017).

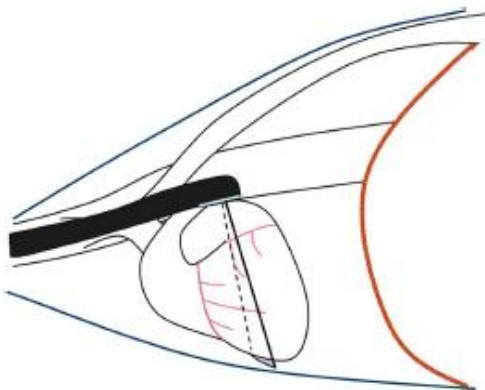


FIGURE 20 : POSITION DE LA SONDE POUR LES COUPES TRANSVERSE MOYENNE PAR ETO CHEZ LE CHIEN (DOMENECH ET ALIVIERA 2013)

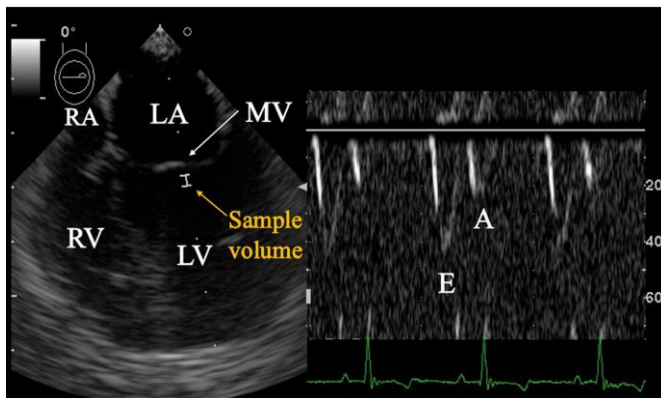


FIGURE 21 : " TRANSVERSE MIDDLE-ESOPHAGEAL MITRAL VALVE LONG-AXIS-VIEW" AVEC LE MARQUEUR D'ECHANTILLONNAGE (SAMPLE VOLUME) A LA POINTE DE LA VALVE MITRALE (MV) PAR ETO CHEZ LE CHIEN. LA = ATRIUM GAUCHE, RA = ATRIUM DROIT, RV = VENTRICULE DROIT, LV = VENTRICULE GAUCHE. A = PIC DE VELOCITE ATRIALE SYSTOLIQUE, E = PIC DE VELOCITE DIASTOLIQUE PRECOCE. (GOYA ET AL. 2017)

- ❖ Vue transgastrique : la sonde est avancée jusqu'au dans l'estomac jusqu'à visualisation du foie. Le bout de la sonde est alors complètement antéflexée. Toute la sonde est ensuite tirée afin de se plaquer le long de la paroi de l'estomac (Figure 22). On obtient alors une coupe du ventricule gauche en "short axis" au niveau des muscles papillaires (Goya et al. 2017; Domenech, Oliveira 2013). Il est alors possible de visualiser le flux sortant du ventricule gauche (Figure 23), permettant de quantifier le flux aortique et donc de calculer le débit cardiaque (formule VTI). Angle de 90-120°. La variabilité inter-opérateur et intra-opérateur est satisfaisante pour la mesure du débit cardiaque (Mantovani et al. 2017).

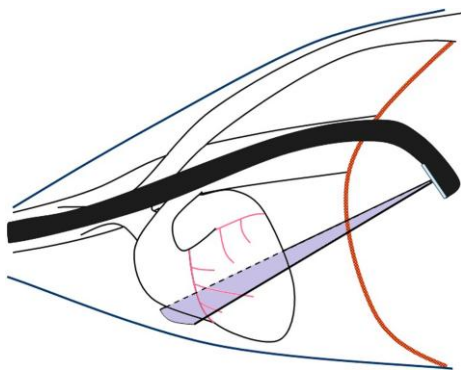


FIGURE 22 : POSITION DE LA SONDE EN VUE TRANSGASTRIQUE PAR ETO CHEZ LE CHIEN (DOMENECH ET OLIVEIRA, 2013)

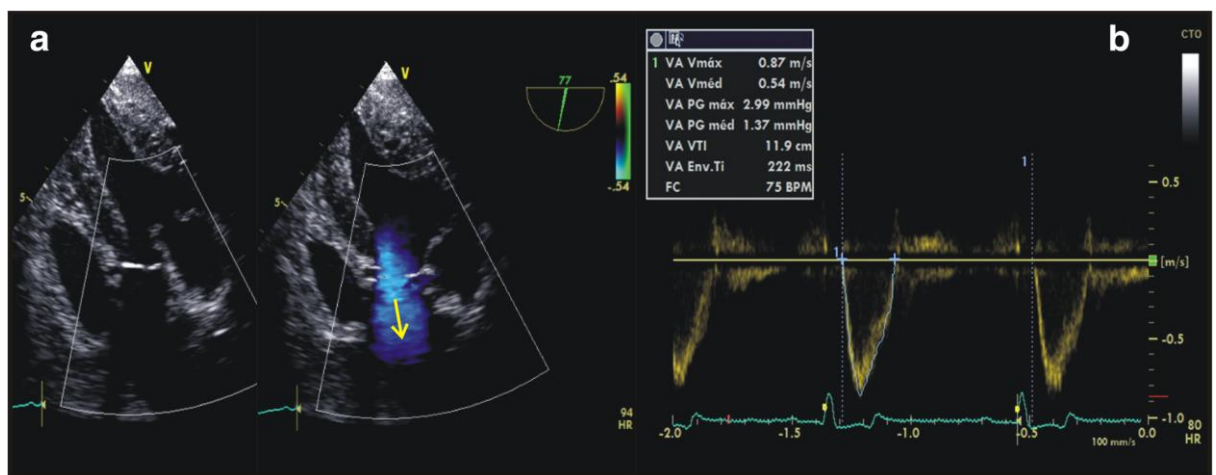


FIGURE 23 : ETO CHEZ LE CHIEN : (A) VUE TRANSGASTRIQUE DU FLUX SORTANT DU VENTRICULE GAUCHE PAR ECHOCARDIOGRAPHIE TRANSOESOPHAGIENNE. (B) VTI DU FLUX AORTIQUE CALCULE PAR LE CONTOUR DU FLUX SANGUIN AORTIQUE. (MANTOVANI ET AL. 2017)

10.3) ECHOGRAPHIE DE LA VEINE CAVE CAUDALE ET DE L'AORTE

- ❖ Chez le chien, la vue transhépatique est la plus décrite.



FIGURE 24 : PLACEMENT DE LA SONDE POUR OBTENIR LA VUE HEPATIQUE CHEZ LE CHIEN. CR = CRANIAL. (DARNIS ET AL. 2018)

L'animal est positionné en décubitus latéral gauche et la sonde est placée entre le 10ème et le 12ème espace intercostal droit (Figure 24). Le foie est alors visualisé. Si le rein est observé, la sonde est alors orientée ou déplacée d'un espace intercostal crânialement. Au contraire, si le poumon est visible, la sonde est orientée ou bien déplacée d'un espace intercostal caudalement (Figure 25 & 26) (Sartor, Maprim, Takahira 2010).



FIGURE 26: COUPE TRANSVERSALE DE LA VEINE CAVE CAUDALE (CVC), DE L'AORTE (AA) ET DE LA VEINE PORTE (PV) EN VUE TRANSHEPATIQUE EN B-MODE CHEZ LE CHIEN (SARTOR ET AL, 2010)

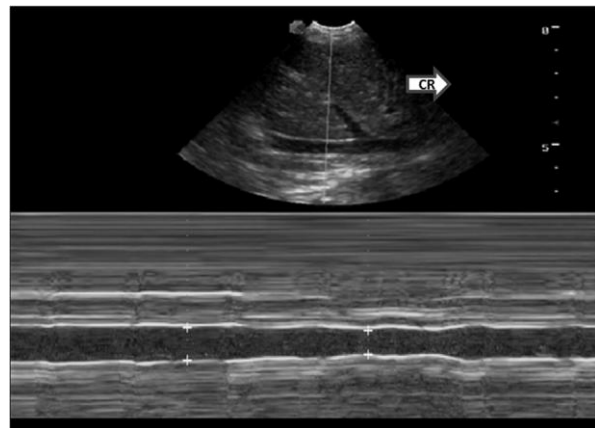


FIGURE 25: VISUALISATION DE LA VEINE CAVE CAUDALE EN VUE TRANSHEPATIQUE EN M-MODE CHEZ LE CHIEN. (DONATI ET AL. 2020)

Cette vue permet de minimiser l'influence du cycle respiratoire sur le diamètre de la VCC (Meneghini, Rabozzi, Franci 2016).

En vue transhépatique, la répétabilité inter-opérateur et intra-opérateur est satisfaisante pour tous les paramètres étudiés, en B-Mode et en M-Mode (Darnis et al. 2018; Donati et al. 2020).

- ❖ La vue sub-xiphôïdienne est également décrite chez le chien.



FIGURE 27 : PLACEMENT DE LA SONDE POUR OBTENIR LA VUE SUB-XIPHOIDIENNE CHEZ LE CHIEN. CR = CRANIAL (DARNIS ET AL. 2018)

L'animal est placé en décubitus latéral gauche et la sonde est placée longitudinalement, sous le processus xiphôïde. Elle est alors orientée crânialement afin de visualiser le diaphragme (Figure 27). La sonde est ensuite glissée vers la droite jusqu'à identifier la VCC à l'endroit où elle croise le diaphragme. La sonde est enfin déplacée de manière à obtenir le diamètre le plus large possible (Figure 28 & 29) (Darnis et al. 2018; 2019).

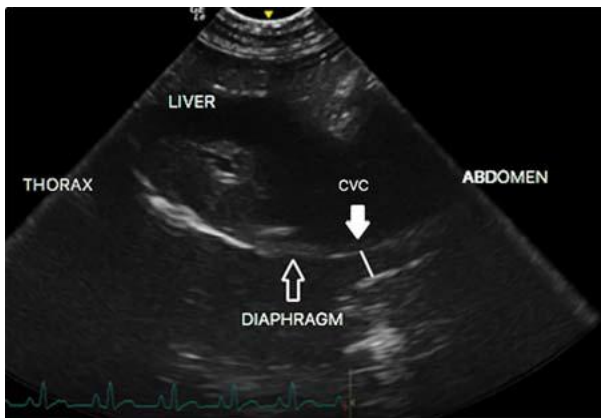


FIGURE 28 : MISE EN EVIDENCE DE LA VEINE CAVE CAUDALE ET DE SON DIAMETRE EN VUE SUB-XIPHÔÏDIENNE EN B-MODE CHEZ LE CHIEN (DARNIS ET AL. 2019)

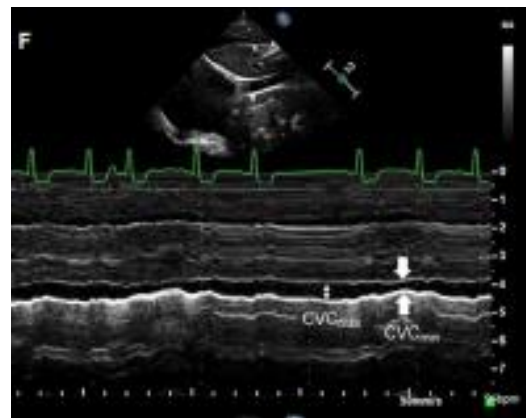


FIGURE 29 : MISE EN EVIDENCE DE LA VEINE CAVE CAUDALE ET DE SON DIAMETRE MAXIMAL ET MINIMAL EN VUE SUB-XIPHOIDIENNE EN M-MODE CHEZ LE CHIEN (DARNIS ET AL. 2019)

Chez le chien vigile, la répétabilité inter-opérateur entre un cardiologue et deux vétérinaires ayant reçu une formation de 6h pour la mesure de la VCC est mauvaise. Cela peut s'expliquer par la forte influence de la respiration sur le diamètre des vaisseaux. Les mouvements respiratoires compliquent également les mesures. (Darnis et al. 2019).

- ❖ Concernant la vue paralombaire, le chien est placé en décubitus latéral gauche.



FIGURE 30 : PLACEMENT DE LA SONDE POUR OBTENIR LA VUE PARALOMBAIRE CHEZ LE CHIEN. CR = CRANIAL. (DARNIS ET AL. 2018)

La sonde est placée caudalement à la dernière côte, et inclinée crânialement pour passer sous la dernière côte (Figure 30). Le rein droit est visualisé. La sonde est alors déplacée médialement au rein droit jusqu'à visualisation de la VCC et de l'Ao. Une rotation est enfin effectuée afin d'obtenir une coupe longitudinale sur laquelle la VCC et l'Ao sont parallèles (Figure 31) (Darnis et al. 2018; 2019).

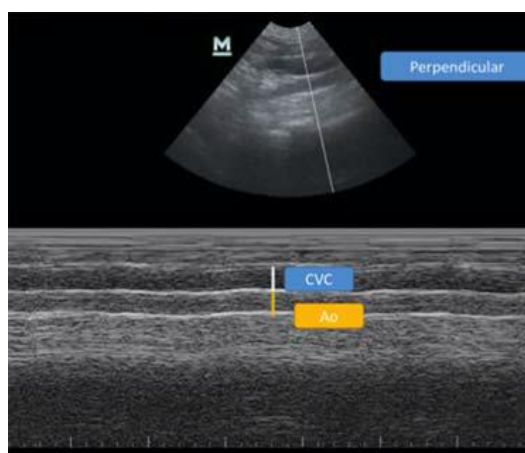
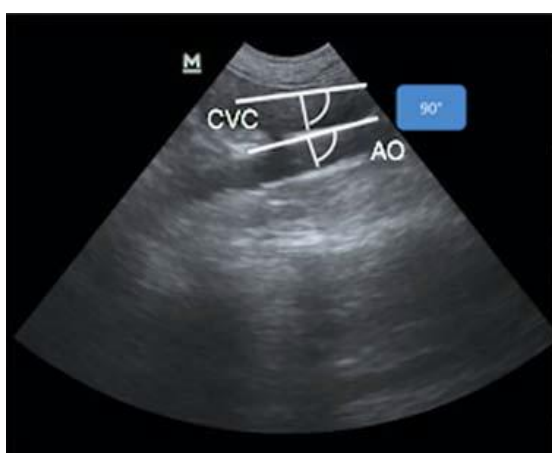
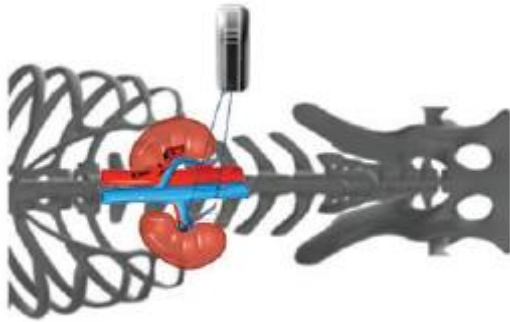


FIGURE 31 : MISE EN EVIDENCE DE LA VEINE CAVE CAUDALE (CVC) ET DE L'AORTE (AO) EN VUE PARALOMBAIRE CHEZ LE CHIEN EN B-MODE A DROITE ET EN M-MODE A GAUCHE. (DARNIS ET AL. 2018)

A cette localisation, le diamètre des vaisseaux est peu influencé par la respiration. De ce fait est très difficile d'estimer un changement dans la taille de la veine cave caudale en fonction du cycle respiratoire (Darnis et al. 2019; Marshall et al. 2018).

La variabilité inter-opérateur n'est pas acceptable pour les paramètres évalués. Ainsi les mesures doivent être réalisées et comparées entre elles par un même opérateur (Darnis et al. 2019).

- ❖ Pour la vue spléno-rénale, le chien est positionné en décubitus latéral droit.



R

FIGURE 32: PLACEMENT DE LA SONDE POUR OBTENIR LA VUE SPLENO-RENALE CHEZ LE CHIEN (CAMBOURNAC ET AL. 2018)

La sonde est alors positionnée de manière à identifier le rein gauche (Figure 32). Elle est ensuite déplacée caudalement et orientée dorsalement afin d'identifier la VCC et l'Ao, avec la partie caudale du rein gauche dans la même fenêtre échographique. Une rotation de 90° de la sonde est enfin réalisée afin d'obtenir une coupe transversale des vaisseaux (Figure 33)

(Cambournac et al. 2018).



FIGURE 33 : COUPE TRANSVERSALE DU REIN GAUCHE (LK), DE LA VEINE CAVE CAUDALE (CVC) ET DE L'AORTE (AO) EN VUE SPLENO-RENALE EN B-MODE CHEZ LE CHIEN (CAMBOURNAC ET AL. 2018)

Pour cette vue la variabilité intra-opérateur, ainsi que la variabilité inter-opérateur, sont acceptables (Cambournac et al. 2018).

Pour chacune des vues étudiées, de nombreux paramètres et indices ont été mesurés. Il est donc intéressant de se pencher sur les valeurs obtenues dans les différentes études afin de déterminer des tendances dans ces valeurs.

- ❖ En vue transhépatique et en vue paralombaire, une étude réalisée à l'aide de la méthode de mise à l'échelle scallométrique a permis de définir une formule afin de prédire la dimensions des vaisseaux par échographie, selon le poids du chien (Figure 34). Un tableau des valeurs de références par rapport au poids a été créé et placé en annexe 1 (Darnis et al. 2018).

Variable	Formulas	R ²
HV		
CVC _{amin-HV-B} (mm ²)	$6.16 \times BW^{0.762}$	0.578
CVC _{amax-HV-B} (mm ²)	$7.24 \times BW^{0.787}$	0.645
AO _{max-HV-B} (mm)	$3.85 \times BW^{0.323}$	0.499
PV		
CVC _{D-PV-B} (mm)	$2.79 \times BW^{0.390}$	0.688
CVC _{D-PV-M} (mm)	$2.53 \times BW^{0.419}$	0.670
AO _{D-PV-B} (mm)	$3.49 \times BW^{0.328}$	0.786
AO _{D-PV-M} (mm)	$3.49 \times BW^{0.332}$	0.762

FIGURE 34 : FORMULES PREDICTIVES POUR LES MESURES ECHOGRAPHIQUES DE LA VCC ET DE L'AORTE AVEC LA METHODE DE L'ECELLE SCALLOMETRIQUE CHEZ LE CHIEN.

CVC = VEINE CAVE CAUDALE ; AO = AORTE ; AMIN = AIRE MINIMALE ; AMAX= AIRE MAXIMALE ; MIN = DIAMETRE MINIMAL ; MAX = DIAMETRE MAXIMAL ; D = DIAMETRE ; HV = VUE TRANSHEPATIQUE ; PV = VUE PARALOMBAIRE ; SV = VUE SUBXIPHODIENNE ; B = B-MODE ; M = M-MODE. (DARNIS ET AL. 2018)

- ❖ En vue spléno-rénale, seule une étude a déterminé des valeurs chez le chien sain et sédaté. Les valeurs sont obtenues chez des chiens de 29kg en moyenne et en B-Mode (Tableau 6) (Cambournac et al. 2018).

	Diamètre de l'Aorte	Diamètre de la VCC	Rapport VCC/Ao
Valeur moyenne en B-Mode	1,11cm (1,06-1,15)	1,28cm (1,24-1,34)	1,17 (1,12-1,23)

TABEAU 6 : VALEURS DE REFERENCE DU DIAMETRE DE L'AORTE ET DE LA VEINE CAVE CAUDALE, AINSI QUE DU RAPPORT VCC/AO PAR ECHOGRAPHIE EN VUE SPLENORENALE CHEZ LE CHIEN

- ❖ En vue sub-xiphoïdienne, deux études ont été réalisées chez des chiens sains et vigiles. L'une a été réalisée en B-Mode et l'autre en M-Mode chez des chiens avec un poids moyen de 14,6kg (Tableau 7)(Darnis et al. 2018; 2019).

	VCC _{max}	VCC _{min}	VCCIC
Valeur moyenne en B-Mode	0,87 ± 0,27 cm	0,61 ± 0,23 cm	/
Valeur moyenne en M-Mode	1cm (0,6 - 1,5)	0,5cm (0,2 - 1,0 cm)	0,45% (0 - 0,80)

TABEAU 7 : VALEURS DE REFERENCE DU DIAMETRE DE LA VEINE CAVE CAUDALE ET DE L'INDICE DE COLLAPSIBILITE DE LA VCC PAR ECHOGRAPHIE EN VUE SUB-XIPHOÏDIENNE CHEZ LE CHIEN

Il existe cependant des limites à l'utilisation de ces paramètres :

Le rapport VCC/Ao ne peut pas être utilisé de façon fiable chez les patients atteint de pathologie intrathoracique (insuffisance cardiaque droite, tamponnade, pneumothorax, épanchement pleural, ...) ou chez les patients avec une augmentation de la pression intra-abdominale (fluides ou masse intra abdominale) (Meneghini et al. 2016).

De plus, aucune étude n'a évalué l'impact de la position sur les valeurs obtenues (Darnis et al. 2019).

10.4) ECHOGRAPHIE DE LA VEINE HEPATIQUE

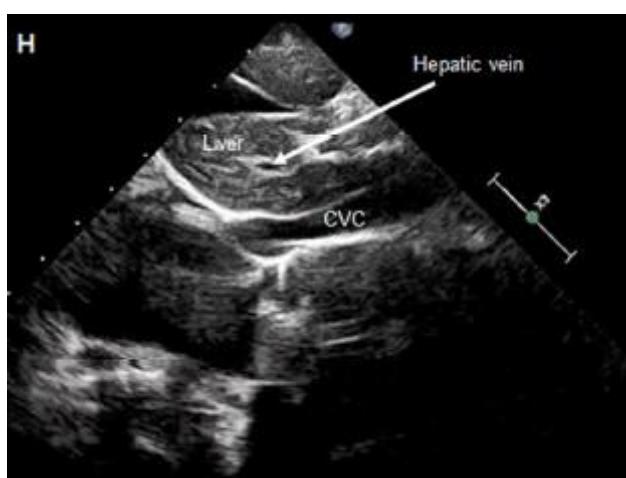
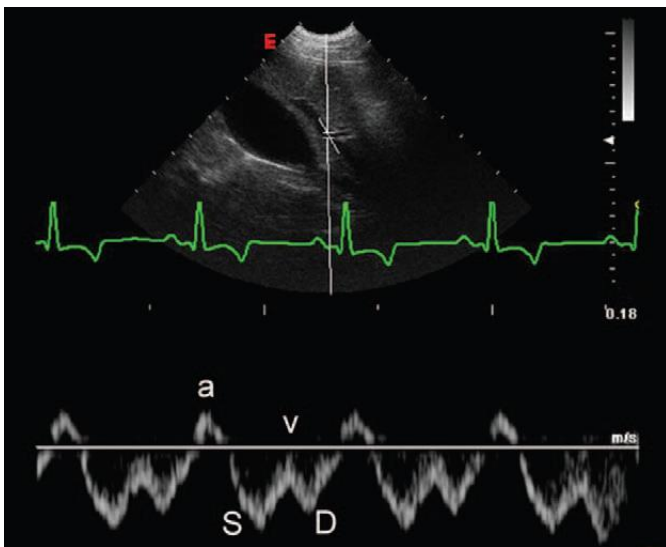


FIGURE 35 : VISUALISATION DE LA VEINE HEPATIQUE EN VUE SUB-XIPHOÏDIENNE CHEZ LE CHIEN SAIN (CHOU ET AL. 2021)

La veine hépatique peut être visualisée en vue sub-xiphoïdienne, comme décrit précédemment pour l'évaluation de la veine cave caudale et de l'aorte chez le chien (Figure 35) (Chou et al. 2021).

Chez des chiens sains, anesthésié à l'isoflurane, le diamètre moyen de la veine hépatique est de 0,45cm pour cette vue (Nelson et al. 2010).

Afin d'obtenir l'image du flux de la veine hépatique en PW-Doppler, le chien est placé en décubitus dorsal. Un ECG est ensuite mis en place.



La sonde est alors positionnée ventralement, entre le 9ème et le 11ème espace intercostal droit. Elle est ensuite orientée de manière à obtenir une coupe longitudinale des veines hépatiques du lobe carré et du lobe médial droit. Elles sont identifiables facilement de part leur proximité avec la vésicule biliaire.

FIGURE 36 : IMAGE ECHOGRAPHIQUE ET PW-DOPPLER ASSOCIE, DE LA VEINE DU LOBE CARRE DU FOIE ET DE SA PROXIMITE AVEC LA VESICULE BILIAIRE CHEZ LE CHIEN. (SMITHENSON ET AL, 2004)

Le PW-Doppler est alors activé et positionné au centre de la veine du lobe carré du foie, à environ 2 cm de sa bifurcation avec la veine du lobe médial droit. La sonde est ensuite orientée afin d'être le plus parallèle possible au flux sanguin (Figure 36) (Smithenson et al. 2004; Nelson et al. 2010).

Une bonne répétabilité inter-opérateur et intra-opérateur a été montrée pour cette méthode (Silva et al. 2020).

Des valeurs de références ont été déterminées chez le chien sain et vigile (Figure 38). Ainsi l'intensité des vagues dépend du poids du chien, mais le pattern reste le même. De plus, les valeurs sont significativement plus élevées chez les mâles que chez les femelles (Silva et al. 2020).

n	Body weight (quartiles)				P-value
	2.0-8.15 kg 16	8.16-10.4 kg 17	10.41-17.0 kg 16	17.01-61.5 kg 16	
A Wave (cm/s)	7.0 (2.1) ^A	7.4 (2.3) ^A	9.0 (3.1) ^A	17.2 (10.1) ^B	<.001
S Wave (cm/s)	9.7 (1.9) ^A	11.9 (3.9) ^A	10.5 (2.0) ^A	18.5 (9.9) ^B	<.001
D Wave (cm/s)	7.3 (1.7) ^A	8.9 (3.7) ^A	7.7 (1.7) ^A	13.5 (8.5) ^B	.001
S/D*	1.3 (1.2-1.4) ^A	1.4 (1.2-1.5) ^A	1.3 (1.2-1.5) ^A	1.4 (1.2-1.7) ^A	.79

FIGURE 37 : VALEURS DE REFERENCES DES DIFFERENTES VAGUES DU FLUX HEPATIQUE EN PW-DOPPLER EN VUE SUB-XIPHODIENNE SELON LE POIDS DU CHIEN. (SILVA ET AL. 2020)

10.5) ECHOGRAPHIE DE LA JUGULAIRE ET DE LA CAROTIDE

Le chien est placé en décubitus latéral ou dorsal avec le cou en extension. La fenêtre échographique est située sur la face ventrale du tronc brachiocéphalique, 2 à 3cm caudalement au larynx. Cette vue permet ainsi de visualiser l'artère carotide commune, latéralement à la trachée, et la veine jugulaire externe, latérale et superficielle, reconnue par sa déformabilité sous la pression de la sonde. La sonde est apposée perpendiculairement au tronc brachiocéphalique afin d'obtenir une coupe transversale (Estoueigt, 2021).

La fiabilité de la mesure échographique a été évaluée par rapport à l'examen tomodensitométrique. Il y a ainsi une forte corrélation pour le diamètre des 2 vaisseaux , entre les 2 types d'examens. Les résultats sont hautement significatifs pour l'aire des vaisseaux, plus que pour le diamètre (Estoueigt, 2021).

La variabilité inter et intra-opérateur est fortement acceptable (Estoueigt, 2021).

B/ CHEZ LE CHAT

Il n'existe que deux études concernant la surveillance instrumentale peranesthésique de la fonction cardiovasculaire par échographie chez le chat. Elle n'en est qu'à ses débuts pour cette espèce.

1) MISE EN EVIDENCE DES VARIATIONS DE LA PRESSION ARTERIELLE PAR ECHOGRAPHIE DE LA VEINE CAVE CAUDALE ET DE L'AORTE

Chez le chat sain, anesthésié à l'aide de Médétomidine (40µg/kg) et de Kétamine (5mg/kg), une diminution statistiquement significative du diamètre de la VCC en vue iliaque est observé au cours de l'anesthésie, par rapport à la valeur obtenue chez le même chat vigile. Le diamètre de l'Aorte quant à lui reste constant. Le rapport des diamètres VCC/Ao ne montre pas de différence significative au cours de l'anesthésie, même si une tendance à la diminution est à noter.

Ainsi, il n'y a pas de corrélation significative entre les variations de la pression artérielle et celles du diamètre de la VCC, de l'Aorte ou de leur rapport dans cette étude (Nguyen, 2021).

Cependant, cette étude est la seule sur le sujet. Seulement 23 chats ont été inclus dans cette étude, et des tendances ont pu être observées avec ce faible échantillon. Ainsi, l'échographie de la veine cave caudale et de l'aorte en vue iliaque chez le chat est une méthode faisable pour évaluer ces vaisseaux. Des études sont maintenant nécessaires afin de déterminer des applications à cette méthode.

2) EVALUATION DES PERTES SANGUINES PAR ECHOGRAPHIE DE LA VEINE CAVE CAUDALE ET DE L'AORTE

Une étude menée sur des chats sains, anesthésiés avec de l'isoflurane pour un don de sang, en respiration spontanée a montré des différences significatives au niveau de différents diamètres de la veine cave caudale, pour plusieurs vues. Cependant, aucune différence significative n'a été montrée entre les différents indices de collapsibilité à aucun moment et pour aucune vue (Figure 38) (Sänger et al. 2021).

Comme pour l'évaluation de la pression artérielle, il n'existe qu'une seule étude concernant l'utilisation de l'échographie comme moyen de surveillance des pertes sanguines chez le chat. Des travaux supplémentaires sont nécessaires afin d'étudier d'autres paramètres et

d'essayer de déterminer des valeurs seuils pour le diamètre de la veine cave caudale. En effet, contrairement au chien, le chat a un gabarit plutôt standard, il serait donc beaucoup plus évident de déterminer des valeurs seuils pour les paramètres non normalisés.

Enfin, de même manière que pour l'étude menée par Nguyen (Nguyen, 2021), cette étude a permis de montrer que les différentes vues décrites sont des méthodes faisables d'évaluation de la veine cave caudale et de l'aorte.

	T0		T1		T2		P value
	n	Vena cava diameter (mm)	n	Vena cava diameter (mm)	n	Vena cava diameter (mm)	
SV vert min	21	4.0 (2.2-5.6)	21	3.3 (1.4-6.7)	21	4.4 (2.3-8.2)[†]	<0.001
SV vert max	21	5.2 (2.8-7.1)	21	3.9 (2.2-8.1)*	21	5.3 (3.3-9.4)[†]	<0.001
HV vert min	21	3.4 (1.9-5.5)	20	2.9 (1.2-5.5)	21	4.1 (1.9-5.9)[†]	0.001
HV hor min	20	5.0 (3.2-6.6)	19	3.9 (2.7-6.4)	21	6.6 (4.2-10.5)*,†	<0.001
HV vert max	21	4.5 (2.9-6.0)	21	3.5 (1.6-6.0)*	21	5.2 (3.4-6.4)[†]	<0.001
HV hor max	20	6.3 (4.5-8.1)	20	5.4 (3.0-7.8)	21	6.5 (5.0-9.2)	0.070
PV vert min	20	2.9 (1.6-5.1)	17	2.2 (1.1-3.7)	19	3.2 (2.4-4.8)[†]	0.002
PV vert max	20	3.1 (1.7-5.3)	17	2.2 (1.1-3.8)	19	3.4 (2.6-5.1)[†]	0.002
	n	Vena cava Index (%)	n	Vena cava Index (%)	n	Vena cava Index (%)	P value
SV cava index	21	19.4 (5.1-55.0)	21	10.6 (4.9-53.7)	21	14.6 (5.6-35.1)	0.172
HV cava index	21	20.8 (3.5-65.0)	20	19.9 (0.0-47.7)	21	15.9 (1.7-44.1)	0.486
PV cava index	20	5.5 (0.0-10.0)	17	4.2 (0.0-10.5)	19	6.0 (0.0-15.0)	0.127

FIGURE 38 : DIAMETRE MOYEN DE LA VEINE CAVE CAUDALE AVANT (T0) ET APRES (T1) UN DON DE SANG, ET APRES RESTAURATION DE LA VOLEMIE (T2) CHEZ LE CHAT PAR ECHOGRAPHIE. (SANGER ET AL. 2021)

En gras : les valeurs significativement différentes. (* de T0, † de T1). max = maximal, min = minimal, SV vert = diamètre vertical en vue sub-xiphœidienne, HV vert = diamètre vertical en vue transhépatique, HV hor = diamètre horizontal en vue transhépatique, PV vert = diamètre vertical en vue paralombaire.

3) CONSIDERATIONS PRATIQUES

Chez le chat, seule l'échographie de la veine cave caudale et de l'aorte abdominale a été étudiée. Nous allons ainsi voir dans cette partie comment obtenir les différentes vues décrites dans les études citées.

Les vues transhépatique, sub-xiphœidienne et paralombaire ont été décrites chez le chat.

Le chat est alors placé en décubitus latéral gauche. Pour la vue transhépatique la sonde est placée transversalement et perpendiculairement entre le 9^{ème} et le 10^{ème} espace intercostal droit (Figure 39 & 40).

Concernant la vue paralombaire, le rein droit est identifié en coupe longitudinale puis la sonde est déplacée caudalement et médialement jusqu'à l'identification de la veine cave caudale (Figure 39).

Enfin, pour la vue sub-xiphoïdienne, la sonde est placée longitudinalement sous le processus xiphoïde pour être ensuite orientée de droite à gauche jusqu'à l'identification de la VCC à son croisement avec le diaphragme (Figure 39) (Sänger et al. 2021).

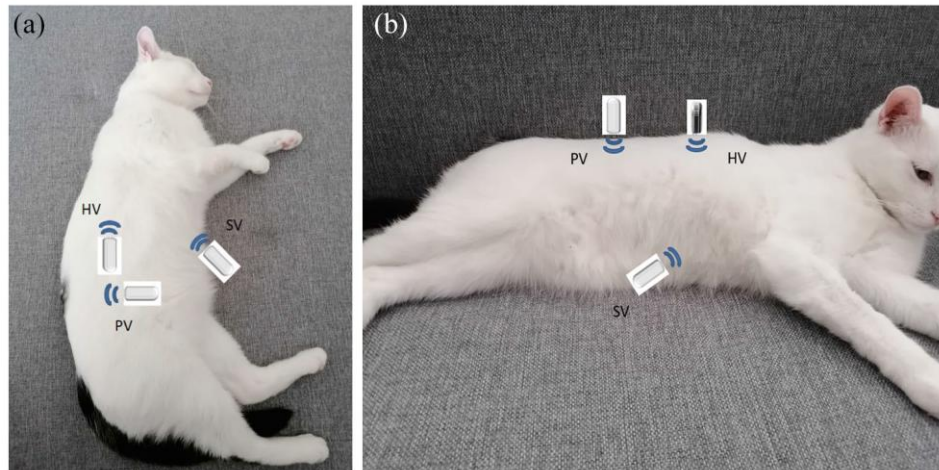


FIGURE 39 :VISUALISATION DE LA POSITION DE LA SONDE POUR LA VUE TRANS-HEPATIQUE (HV), LA VUE PARALOMBAIRE (PV) ET LA VUE SUB-XIPHOIDIENNE (SV) CHEZ LE CHAT (SÄNGER ET AL. 2021)

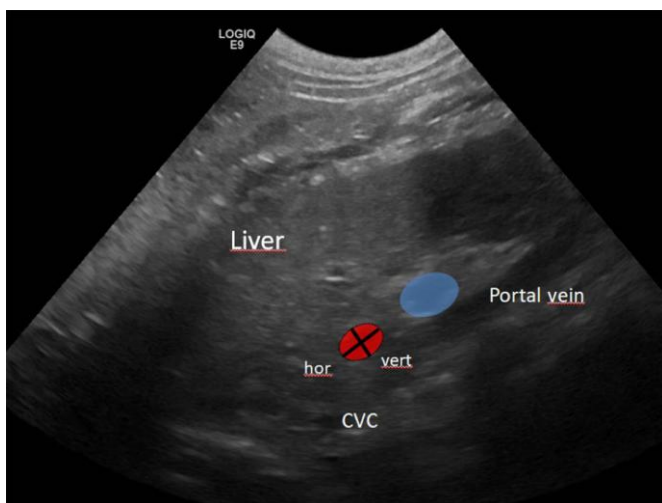


FIGURE 40 : IMAGE ECHOGRAPHIQUE DE LA VEINE CAVE CAUDALE (CVC, EN ROUGE) ET DE LA VEINE PORTE (EN BLEU) EN VUE TRANS-HEPATIQUE EN B-MODE. (SÄNGER ET AL. 2021)

La répétabilité intra-opérateur est satisfaisante pour la plupart des mesures, sauf pour le diamètre horizontal de la VCC en vue transhépatique. La répétabilité inter-opérateur est elle plus pauvre, elle n'est acceptable que pour le diamètre vertical maximal de la VCC en vue sub-xiphoïdienne, et le diamètre horizontal de la VCC en vue transhépatique et sub-xiphoïdienne (Sänger et al. 2021).

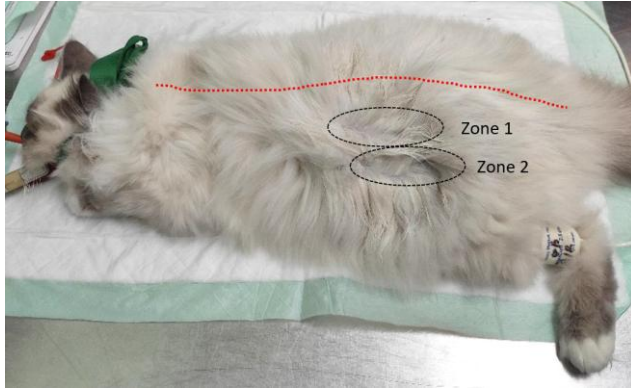


FIGURE 41 : LOCALISATION DE LA SONDE EN VUE ILLIAQUE GAUCHE CHEZ LE CHAT (NGUYEN, 2021)

Une vue iliaque, droite ou gauche, a également été décrite chez le chat. Cette vue est en réalité une variation de la vue paralombaire. Il est alors placé en décubitus sternal, la bassin légèrement orienté à droite ou à gauche. La sonde est placée longitudinalement sous les vertèbres lombaires, entre le rein et la vessie (Zone 1, figure 41). Si la vue n'est

pas satisfaisante, la sonde est alors déplacée ventralement, en avant du genou (Zone 2, figure 41). Une fois la VCC et l'Aorte visualisée, une rotation de 90° (repère de la sonde vers le haut) est réalisé afin d'obtenir les deux vaisseaux en coupe transversale (Figure 42) (Nguyen, 2021).

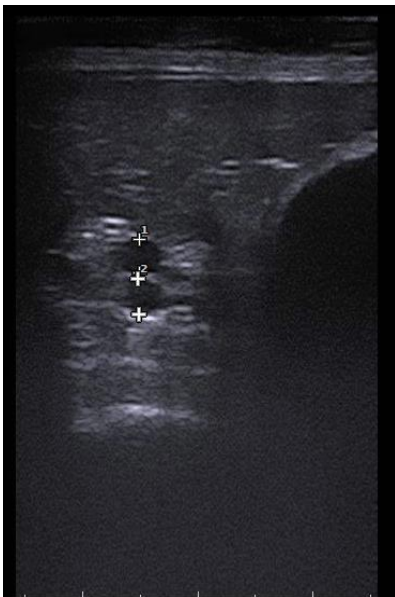


FIGURE 42 : COUPE TRANSVERSALE DE LA VCC (1) ET DE L'AORTE (2) EN VUE ILIAQUE CHEZ LE CHAT (NGUYEN 2021)

La répétabilité inter-opérateur est mauvaise, alors que la répétabilité intra-opérateur est satisfaisante pour la mesure de la VCC et de l'Aorte en vue iliaque (Nguyen, 2021). Les différentes mesures doivent donc être réalisées par un même opérateur pour être comparées.

Des valeurs de références ont mêmes été déterminée chez le chat pour les vues transhépatique, paralombaire et sub-xiphœidienne. Elle sont présentées en figure 43.

	T0	
	n	Vena cava diameter (mm)
SV vert min	21	4.0 (2.2–5.6)
SV vert max	21	5.2 (2.8–7.1)
HV vert min	21	3.4 (1.9–5.5)
HV hor min	20	5.0 (3.2–6.6)
HV vert max	21	4.5 (2.9–6.0)
HV hor max	20	6.3 (4.5–8.1)
PV vert min	20	2.9 (1.6–5.1)
PV vert max	20	3.1 (1.7–5.3)
	n	Vena cava Index (%)
SV cava index	21	19.4 (5.1–55.0)
HV cava index	21	20.8 (3.5–65.0)
PV cava index	20	5.5 (0.0–10.0)

FIGURE 43 : VALEURS DE REFERENCECS CHEZ DES CHATS (POIDS MOYEN = 5KG), VIGILES, POUR DIFFERENTES VUES. (SV = SUB-XIPHOIDIENNE ; HV = TRANSHÉPATIQUE ; PV = PARALOMBAIRE) (SÄNGER ET AL, 2021)

Vert = vertical ; Hor =horizontal ; min = minimum ; max = maximum ; cava index = indice de collapsibilité)

C/ CHEZ LE CHEVAL

Dans cette partie nous verrons qu'actuellement il n'existe que quelques anciennes études concernant la surveillance instrumentale cardiovasculaire par échographie durant la période peranesthésique chez le cheval. Ces études concernent la mesure du débit cardiaque par échocardiographie transœsophagienne.

Cependant, nous verrons également que des études récentes tentent de mettre en œuvre une méthode d'évaluation de la veine cave caudale et de l'aorte par échographie, afin de déterminer des applications en terme de surveillance cardiovasculaire.

1) MESURE DU DEBIT CARDIAQUE

L'échocardiographie transœsophagienne est bien tolérée chez le cheval, en utilisant la méthode décrite précédemment. Elle permet ainsi l'évaluation du pic de vélocité et de la VTI (Young et al. 1995).

L'estimation du débit cardiaque par échocardiographie transœsophagienne a montré une corrélation très proche avec la mesure de référence par thermodilution. Elle est donc une alternative fiable et beaucoup moins invasive (Young et al. 1996).

2) CONSIDERATIONS PRATIQUES : MISE EN PLACE DE L'ECHOCARDIOGRAPHIE TRANSCŒSOPHAGIENNE

Le cheval est placé en décubitus latéral. La sonde échographique est alors introduite dans la cavité nasale supérieure et avancée jusqu'au méat nasal ventral dans le pharynx. La sonde endotrachéale est alors retirée, l'opérateur place ensuite sa main dans le pharynx en passant par la bouche du cheval. La sonde échographique peut ainsi être avancée et guidée jusque dans l'œsophage. La sonde endotrachéale est ensuite repositionnée. La sonde échographique est ensuite retirée délicatement jusqu'à obtenir une vue standard en grand axe de l'aorte, du flux sortant du ventricule gauche et de l'artère pulmonaire (Young et al. 1995).

Le Doppler est ensuite mis en route, au centre de l'aorte, juste après les valves aortiques. Il est alors possible de calculer le débit cardiaque à l'aide de la formule de la VTI (Young et al. 1995).

3) DETERMINATION D'UNE NOUVELLE METHODE DE SURVEILLANCE INSTRUMENTALE PAR ECHOGRAPHIE CHEZ LE POULAIN

3.1) LES DIFFERENTES VUES DECRITES

La vue sub-xiphoïdienne est décrite chez le poulain de moins d'un mois.

Le poulain est alors debout, et abordé par la droite. La sonde est placée longitudinalement et caudalement au processus xiphoïde. Le foie et le diaphragme sont ainsi identifiés. Si le diaphragme n'est pas visualisé, la sonde est inclinée ou déplacée crânialement. La sonde est ensuite déplacée latéralement vers la droite, sous la cage thoracique du poulain. La VCC est alors identifiée à l'intersection avec le diaphragme. La profondeur est généralement entre 12 et 15cm. La sonde est ensuite orientée de manière à obtenir l'image la plus large possible de la VCC (Tuplin, Romero, Boysen 2017).

Les mesures sont principalement réalisées en M-Mode (Figure 44) (Tuplin, Romero, Boysen 2017). Une bonne répétabilité inter-opérateur et intra-opérateur ont été démontrée pour cette méthode d'évaluation de la VCC (Tuplin, Romero, Boysen 2017).

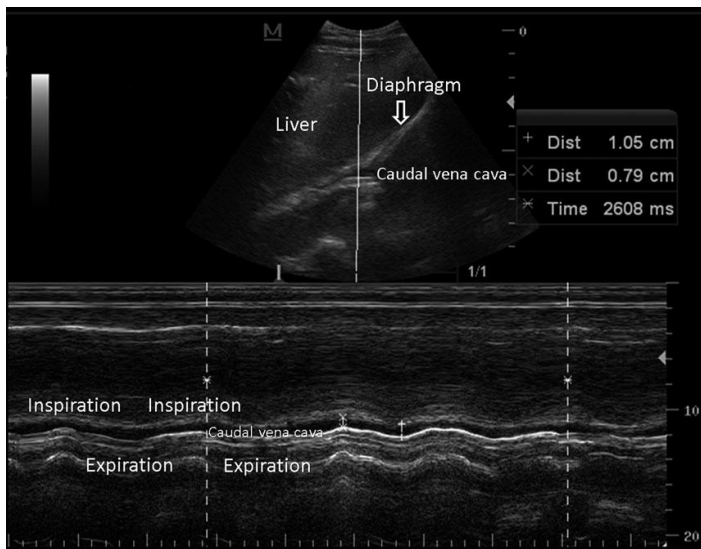


FIGURE 44 : EN HAUT : IMAGE ECHOGRAPHIQUE DU FOIE, DU DIAPHRAGME ET DE LA VEINE CAVE CAUDALE EN VUE SUB-XIPHOIDE EN B-MODE CHEZ LE POULAIN.

EN BAS : DIAMETRE DE LA VEINE CAVE CAUDALE DURANT LES CYCLES RESPIRATOIRES ENVUE SUB-XIPHOIDIENNE EN M-MODE.

2 vues dorsales, à droite et à gauche, sont également décrite chez le poulain nouveau-né.

Le poulain est alors en décubitus latéral droit ou gauche. La sonde est placée perpendiculairement à la peau en position transverse, entre la dernière côte et la tubérosité coxale, le marqueur de la sonde étant orienté dorsalement. Une fois le rein (gauche ou droit respectivement) identifié, la sonde est orientée ventralement afin d'identifier la VCC et l'Ao, en profondeur par rapport au rein (Figure 45 & 46) (Del Prete et al. 2021).



FIGURE 46 : VUE DORSALE GAUCHE: (A) PLACEMENT DE LA SONDE ET (B) IMAGE ECHOGRAPHIQUE DU REIN GAUCHE, DE LA VEINE CAVE CAUDALE (CVC) ET DE L'AORTE (AO) CHEZ LE POULAIN (DEL PRETE ET AL. 2021)

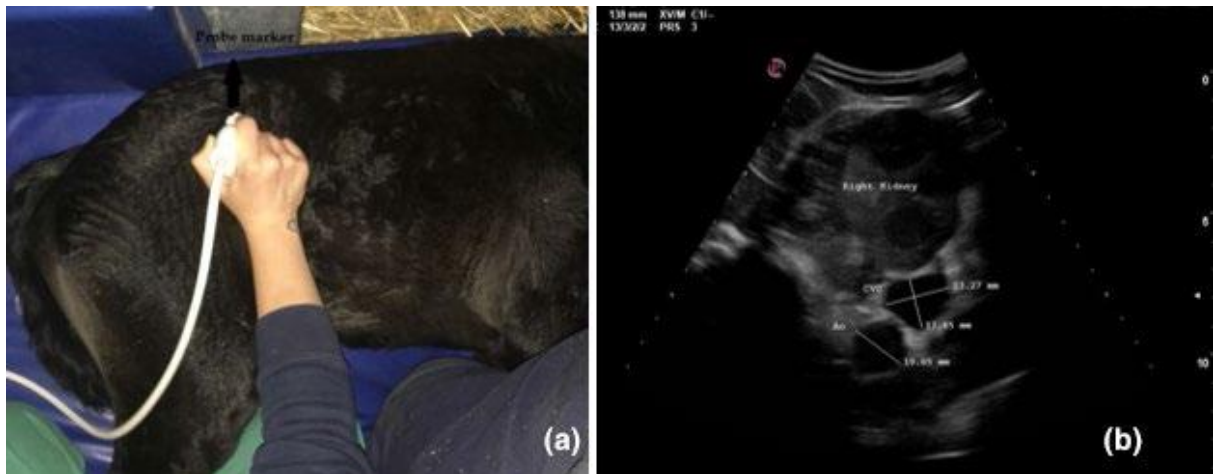


FIGURE 45 : VUE DORSALE DROITE : (A) PLACEMENT DE LA SONDE ET (B) IMAGE ECHOGRAPHIQUE DU REIN DROIT, DE LA VEINE CAVE CAUDALE (CVC) ET DE L'AORTE (AO) CHEZ LE POULAIN (DEL PRETE ET AL. 2021)

Pour la vue dorsale droite, la répétabilité inter-opérateur est mauvaise pour la mesure du diamètre de l'Ao, mais excellente pour les mesures du diamètre de la VCC. La répétabilité intra-opérateur est elle satisfaisante. Concernant la vue dorsale gauche, la répétabilité inter-opérateur et intra-opérateur est satisfaisante (Del Prete et al. 2021).

Concernant la vue ventrale gauche, le poulain nouveau-né est alors en décubitus latéral droit. La sonde est placée sous la tubérosité coxale et orientée dorsalement afin d'identifier le rein gauche, l'Ao et la VCC (Figure 47) (Del Prete et al. 2021).



FIGURE 47: VUE VENTRALE GAUCHE : (A) PLACEMENT DE LA SONDE ET (B) IMAGE ECHOGRAPHIQUE DU REIN GAUCHE, DE LA VEINE CAVE CAUDALE (CVC) ET DE L'AORTE (AO) CHEZ LE POULAIN. (DEL PRETE ET AL. 2021)

La répétabilité inter-opérateur et intra-opérateur est très satisfaisante pour cette vue. De plus la respiration affecte peu la taille des vaisseaux pour cette vue. Elle est comparable à la vue paralombaire chez le chien (Del Prete et al. 2021).

Pour cette vue, une corrélation linéaire positive a été trouvée entre le poids et l'axe court de la VCC. L'âge est également corrélé positivement avec l'axe long de la VCC et avec le rapport VCC/Ao (Del Prete et al. 2021).

3.2) FAISABILITE DE LA METHODE

Chez le poulain de moins d'un mois, sain, vigile, en vue sub-xiphœidienne en M-Mode, il y a une différence significative entre VCC_{max} et VCC_{min} durant le cycle respiratoire. Ces résultats permettent de calculer l'indice de collapsibilité de la VCC, paramètre intéressant dans l'évaluation de la volémie (Tuplin, Romero, Boysen 2017).

La vue ventrale gauche est la plus adaptée en terme de répétabilité et de facilité d'exécution (Del Prete et al. 2021).

Ces deux études ont ainsi ouvert des portes. Il serait alors intéressant de définir des valeurs de références et d'évaluer l'impact de la position et de l'expérience de l'opérateur. Il serait

également intéressant de trouver des applications à ces mesures, comme l'évaluation de la volémie, des pertes sanguines, de la pression artérielle ou encore de la capacité de réponse à la fluidothérapie.

On remarquera ainsi, que l'avancée en terme de surveillance instrumentale cardiovasculaire par échographie durant la période peranesthésique en médecine vétérinaire dépend principalement de l'espèce étudiée.

La majorité des études porte actuellement sur le chien. Il est ainsi possible de déterminer le débit cardiaque, d'évaluer la capacité de réponse à la fluidothérapie ou encore de détecter des pertes sanguines durant la période peranesthésique. Il est également possible de détecter une insuffisance cardiaque congestive droite ou un reflux tricuspide en période préanesthésique, à l'aide de méthodes échographiques simples accessibles aux vétérinaires non spécialistes dans ce domaine. Cependant, des études portant sur l'évaluation de la déshydratation, de la pression veineuse centrale, de la pression artérielle, de l'hypertension artérielle ont été réalisées mais n'ont pas encore permis de déterminer correctement et avec précision ces paramètres, en définissant des valeurs seuils et en déterminant la précision de la méthode. Cela peut en partie s'expliquer par la différence de gabarit qui existe entre les chiens. Il est ainsi peu envisageable de déterminer des valeurs seuils sur des paramètres non normalisés, ou bien en les exprimant par rapport au poids de l'animal. Les études à venir devraient donc se focaliser sur des paramètres normalisés tels que des indices de variations ou des rapports.

Concernant le chat, seules deux études existent actuellement. Elles n'ont pas permis à l'heure actuelle de définir des valeurs seuils permettant d'évaluer la pression artérielle ou les pertes sanguines, mais des tendances ont été mises en évidence. Elles ont cependant montrées la faisabilité de la méthodes. Des études supplémentaires sont ainsi nécessaire afin de pouvoir exploiter au mieux les méthodes validées ici. De plus, le chat étant un animal avec un gabarit plus homogène par rapport au chien, la limite posée est moindre.

Enfin, chez le cheval, seules d'anciennes études décrivent une méthode d'évaluation du débit cardiaque par échocardiographie transœsophagienne, mais cette méthode reste invasive. En revanche, des études récentes portent actuellement sur la faisabilité de l'échographie de la veine cave caudale et de l'aorte par abord abdominal, à l'image de la médecine humaine, afin d'évaluer des paramètres d'intérêts durant la période peranesthésique chez le poulain.

L'échographie comme moyen de surveillance instrumentale cardiovasculaire durant la période peranesthésique n'en est qu'à ses début en médecine vétérinaire, mais la multiplication des études ces dernières années tend à faire penser que l'échographe sera bientôt une surveillance instrumentale peranesthésique d'intérêt pour les animaux de compagnie.

CONCLUSION

Cette étude bibliographique de l'utilisation de l'échographie comme moyen de surveillance instrumentale cardiovasculaire durant la période peranesthésique a permis de réaliser une synthèse ce qu'il est possible de mettre actuellement en œuvre en médecine humaine et vétérinaire dans ce domaine.

Concernant la médecine humaine, on remarque que les études sont de plus en plus nombreuses, parallèlement à l'essor de l'utilisation de l'échographie. De nombreuses méthodes et fenêtres échographiques sont décrites, mais la principale reste l'évaluation de la veine cave inférieure et de l'aorte. La plupart des autres fenêtres échographiques sont étudiés afin de palier aux situations où la veine cave inférieure n'est pas évaluable. Il est ainsi possible de déterminer de nombreux paramètres d'intérêt en anesthésie, telles que la capacité de réponse à la fluidothérapie, la détection des pertes sanguines, ou encore l'évaluation de la volémie et de la pression sanguine. De plus, la faisabilité de ces méthodes a été étudiée dans de nombreux cas, notamment chez les sujets pédiatriques, ou les sujets en choc septiques.

Pour la médecine vétérinaire, les études sont très récentes et viennent faire écho à ce qui est réalisé en médecine humaine. Ainsi la plupart des études concernent l'échocardiographie ou l'évaluation de la veine cave caudale. Quelques rares études existent néanmoins sur la veine hépatique ou bien sur la jugulaire et la carotide. En outre, ces études portent sur la faisabilité des méthodes, et il n'y a pas encore de standardisation des procédures. Quelques études commencent à définir des valeurs seuils, mais la limite de l'hétérogénéité de gabarit et d'anatomie est très présente en médecine vétérinaire. Cela pourra être relativement bien surpassé en mesurant des valeurs de références en préanesthésique, puis de comparer des variations relatives et non absolues en peranesthésique ; ou bien en utilisant des paramètres normalisés tels que des coefficients de variations ou des rapports.

Ainsi la surveillance instrumentale cardiovasculaire par échographie durant la période peranesthésique n'en est qu'à ses balbutiements en médecine vétérinaire, mais semble très prometteuse.

BIBLIOGRAPHIE

- AHMAD, Rashidi, KUNJI, Mohamad Iqbal, AHMAD, M. Zikri, KAREEM, Meera Mohaideen Hj Abd et HALIM, Shamimi A., 2012. Ultrasonographic abdominal aorta diameter changes: A predictor of hypovolemic shock class 1. In : *2012 7th International Symposium on Health Informatics and Bioinformatics* [en ligne]. Nevsehir, Turkey : IEEE. avril 2012. pp. 53-56. ISBN 978-1-4673-0878-6.
- AIRAPETIAN, Norair, MAIZEL, Julien, ALYAMANI, Ola, MAHJOUR, Yazine, LORNE, Emmanuel, LEVRARD, Melanie, AMMENOUCHE, Nacim, SEYDI, Aziz, TINTURIER, François, LOBJOIE, Eric, DUPONT, Hervé et SLAMA, Michel, 2015. Does inferior vena cava respiratory variability predict fluid responsiveness in spontaneously breathing patients? *Critical Care* [en ligne]. décembre 2015. Vol. 19, n° 1, pp. 400. DOI 10.1186/s13054-015-1100-9.
- ARTHUR, Mary E., LANDOLFO, Carolyn, WADE, Marlene et CASTRESANA, Manuel R., 2009. Inferior Vena Cava Diameter (IVCD) Measured with Transesophageal Echocardiography (TEE) Can Be Used to Derive the Central Venous Pressure (CVP) in Anesthetized Mechanically Ventilated Patients. *Echocardiography* [en ligne]. février 2009. Vol. 26, n° 2, pp. 140-149. DOI 10.1111/j.1540-8175.2008.00772.x.
- BABAIE, Sharareh, BEHZAD, Azita, MOHAMMADPOUR, Masoud et REISI, Mohsen, 2018. A Comparison between the Bedside Sonographic Measurements of the Inferior Vena Cava Indices and the Central Venous Pressure While Assessing the Decreased Intravascular Volume in Children. *Advanced Biomedical Research* [en ligne]. 2018. Vol. 7, n° 1, pp. 97. DOI 10.4103/abr.abr_213_17.
- BANO, Sheher, QADEER, Aayasha, AKHTAR, Aftab, ATTAUR-REHMAN, Muhammad, MUNAWAR, Kamran, HUSSAIN, Syed Waqar, TARIQ, Muhammad et ZAFAR, Rizwan, 2018. Measurement of Internal Jugular Vein and Common Carotid Artery Diameter Ratio by Ultrasound to Estimate Central Venous Pressure. *Cureus* [en ligne]. 5 mars 2018. DOI 10.7759/cureus.2277.
- BARBIER, Christophe, LOUBIÈRES, Yann, SCHMIT, Christophe, HAYON, Jan, RICÔME, Jean-Louis, JARDIN, François et VIEILLARD-BARON, Antoine, 2004. Respiratory changes in inferior vena cava diameter are helpful in predicting fluid responsiveness in ventilated septic patients. *Intensive Care Medicine* [en ligne]. septembre 2004. Vol. 30, n° 9, pp. 1740-1746. DOI 10.1007/s00134-004-2259-8.
- BILGIN, Serkan, TOPAL, Fatih Esad, YAMANOĞLU, Adnan, PAYZA, Umut, KARAKAYA, Zeynep, AKYOL, Pınar Yesim, TAHTACI, Rezan et TOPAL, Firdes, 2020. Effect of Changes in Intravascular Volume on Inferior Vena Cava and Aorta Diameters and the Caval/Aorta Index in Healthy Volunteers. *Journal of Ultrasound in Medicine* [en ligne]. février 2020. Vol. 39, n° 2, pp. 231-238. DOI 10.1002/jum.15093.
- BUCCI, M., RABOZZI, R., GUGLIELMINI, C. et FRANCI, P., 2017. Respiratory variation in aortic blood peak velocity and caudal vena cava diameter can predict fluid responsiveness in anaesthetised and mechanically ventilated dogs. *The Veterinary Journal* [en ligne]. septembre 2017. Vol. 227, pp. 30-35. DOI 10.1016/j.tvjl.2017.08.004.
- CAMBOURNAC, M., GOY-THOLLOT, I., VIOLÉ, A., BOISVINEAU, C., POUZOT-NEVORET, C. et BARTHÉLEMY, A., 2018. Sonographic assessment of volaemia: development and validation of a new method in dogs: Sonographic assessment of volaemia in dogs. *Journal of Small Animal Practice* [en ligne]. mars 2018. Vol. 59, n° 3, pp. 174-182. DOI 10.1111/jsap.12759.
- CERUTI, S., ANSELMINI, L., MINOTTI, B., FRANCESCHINI, D., AGUIRRE, J., BORGEAT, A. et SAPORITO, A., 2018. Prevention of arterial hypotension after spinal anaesthesia using vena cava ultrasound to guide fluid management. *British Journal of Anaesthesia* [en ligne]. janvier 2018. Vol. 120, n° 1, pp. 101 - 108. DOI 10.1016/j.bja.2017.08.001.
- CHO, Roy J., WILLIAMS, David R. et LEATHERMAN, James W., 2016. Measurement of Femoral Vein Diameter by Ultrasound to Estimate Central Venous Pressure. *Annals of the American Thoracic Society* [en ligne]. janvier 2016. Vol. 13, n° 1, pp. 81-85. DOI 10.1513/AnnalsATS.201506-337BC.

CHOU, Yen-Yu, WARD, Jessica L., BARRON, Lara Z., MURPHY, Shane D., TROPF, Melissa A., LISCIANDRO, Gregory R., YUAN, Lingnan, MOCHEL, Jonathan P. et DEFRANCESCO, Teresa C., 2021. Focused ultrasound of the caudal vena cava in dogs with cavitory effusions or congestive heart failure: A prospective, observational study. BANZATO, Tommaso (éd.), *PLOS ONE* [en ligne]. 28 mai 2021. Vol. 16, n° 5, pp. e0252544. DOI 10.1371/journal.pone.0252544.

DARNIS, Elodie, BOYSEN, Soren, MERVEILLE, Anne-Christine, DESQUILBET, Loïc, CHALHOU, Serge et GOMMEREN, Kris, 2018. Establishment of reference values of the caudal vena cava by fast-ultrasonography through different views in healthy dogs. *Journal of Veterinary Internal Medicine* [en ligne]. juillet 2018. Vol. 32, n° 4, pp. 1308-1318. DOI 10.1111/jvim.15136.

DARNIS, Elodie, MERVEILLE, Anne Christine, DESQUILBET, Loïc, BOYSEN, Soren et GOMMEREN, Kris, 2019. Interobserver agreement between non-cardiologist veterinarians and a cardiologist after a 6-hour training course for echographic evaluation of basic echocardiographic parameters and caudal vena cava diameter in 15 healthy Beagles. *Journal of Veterinary Emergency and Critical Care* [en ligne]. septembre 2019. Vol. 29, n° 5, pp. 495-504. DOI 10.1111/vec.12883.

DAS, Saurabh K., CHOUPPOO, Nang S., PRADHAN, Debasis, SAIKIA, Priyam et MONNET, Xavier, 2018. Diagnostic accuracy of inferior vena caval respiratory variation in detecting fluid unresponsiveness: A systematic review and meta-analysis. *European Journal of Anaesthesiology* [en ligne]. novembre 2018. Vol. 35, n° 11, pp. 831-839. DOI 10.1097/EJA.0000000000000841.

DAY, Thomas K., BOYLE, Carolyn R. et HOLLAND, Merrilee, 2007. Lack of agreement between thermodilution and echocardiographic determination of cardiac output during normovolemia and acute hemorrhage in clinically healthy, anesthetized dogs. *Journal of Veterinary Emergency and Critical Care* [en ligne]. mars 2007. Vol. 17, n° 1, pp. 22-31. DOI 10.1111/j.1476-4431.2006.00208.x.

DEL PRETE, Chiara, FRECCERO, Francesca, LANCI, Aliai, HALLOWELL, Gayle D., BULLONE, Chiara, CASTAGNETTI, Carolina et PASOLINI, Maria Pia, 2021. Transabdominal ultrasonographic measurement of caudal vena cava to aorta derived ratios in clinically healthy neonatal foals. *Veterinary Medicine and Science* [en ligne]. septembre 2021. Vol. 7, n° 5, pp. 1451-1459. DOI 10.1002/vms3.506.

DESGRANGES, François-Pierrick, DESEBBE, Olivier, PEREIRA DE SOUZA NETO, Edmundo, RAPHAEL, Darren et CHASSARD, Dominique, 2016. Respiratory variation in aortic blood flow peak velocity to predict fluid responsiveness in mechanically ventilated children: a systematic review and meta-analysis. THOMAS, Mark (éd.), *Pediatric Anesthesia* [en ligne]. janvier 2016. Vol. 26, n° 1, pp. 37-47. DOI 10.1111/pan.12803.

DI PIETRO, Santi, FALASCHI, Francesco, BRUNO, Alice, PERRONE, Tiziano, MUSELLA, Valeria et PERLINI, Stefano, 2018. The learning curve of sonographic inferior vena cava evaluation by novice medical students: the Pavia experience. *Journal of Ultrasound* [en ligne]. juin 2018. Vol. 21, n° 2, pp. 137-144. DOI 10.1007/s40477-018-0292-7.

DOMENECH, Oriol et OLIVEIRA, Pedro, 2013. Transoesophageal echocardiography in the dog. *The Veterinary Journal* [en ligne]. novembre 2013. Vol. 198, n° 2, pp. 329-338. DOI 10.1016/j.tvjl.2013.08.014.

DONATI, Pablo A., GUEVARA, Juan M., ARDILES, Victoria, GUILLEMI, Eliana C., LONDOÑO, Leonel et DUBIN, Arnaldo, 2020. Caudal vena cava collapsibility index as a tool to predict fluid responsiveness in dogs. *Journal of Veterinary Emergency and Critical Care* [en ligne]. novembre 2020. Vol. 30, n° 6, pp. 677 - 686. DOI 10.1111/vec.13009.

ESTOUEIGT, 2021. Comparaison des mesures échographiques et tomométriques du rapport jugulaire / carotide chez le chien –évolution au cours d’une anesthésie générale. Thèse d'exercice vétérinaire. Toulouse : Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, 83p.

- FINNERTY, Nathan M., PANCHAL, Ashish R., BOULGER, Creagh, VIRA, Amar, BISCHOF, Jason J., AMICK, Christopher, WAY, David P. et BAHNER, David P., 2017. Inferior Vena Cava Measurement with Ultrasound: What Is the Best View and Best Mode? *Western Journal of Emergency Medicine* [en ligne]. avril 2017. Vol. 18, n° 3, pp. 496-501. DOI 10.5811/westjem.2016.12.32489.
- FLACHSKAMPF, F, 2001. Recommendations for Performing Transoesophageal Echocardiography. *European Journal of Echocardiography* [en ligne]. mars 2001. Vol. 2, n° 1, pp. 8-21. DOI 10.1053/euje.2000.0066.
- FUJIOKA, T., NAKAMURA, K., MINAMOTO, T., TSUZUKI, N., YAMAGUCHI, J. et HIDAKA, Y., 2021. Ultrasonographic evaluation of the caudal vena cava in dogs with right-sided heart disease. *Journal of Veterinary Cardiology* [en ligne]. avril 2021. Vol. 34, pp. 80-92. DOI 10.1016/j.jvc.2021.01.005.
- GIRAUD, Raphaël, ABRAHAM, Paul S., BRINDEL, Pauline, SIEGENTHALER, Nils et BENDJELID, Karim, 2018. Respiratory changes in subclavian vein diameters predicts fluid responsiveness in intensive care patients: a pilot study. *Journal of Clinical Monitoring and Computing* [en ligne]. décembre 2018. Vol. 32, n° 6, pp. 1049-1055. DOI 10.1007/s10877-018-0103-x.
- GOYA, Seijirow, WADA, Tomoki, SHIMADA, Kazumi, HIRAO, Daiki, FUKUSHIMA, Ryuji, YAMAGISHI, Norio, SHIMIZU, Miki et TANAKA, Ryou, 2017. Effects of postural change on transesophageal echocardiography views and parameters in healthy dogs. *Journal of Veterinary Medical Science* [en ligne]. 2017. Vol. 79, n° 2, pp. 380-386. DOI 10.1292/jvms.16-0323.
- HERRERIA-BUSTILLO, Vicente J., FITZGERALD, Ella et HUMM, Karen R., 2019. Caval-aortic ratio and caudal vena cava diameter in dogs before and after blood donation. *Journal of Veterinary Emergency and Critical Care* [en ligne]. novembre 2019. Vol. 29, n° 6, pp. 643-646. DOI 10.1111/vec.12900.
- HILBERT, Tobias, ELLERKMANN, Richard K., KLASCHIK, Sven, PUTENSEN, Christian et THUDIUM, Marcus, 2016. The Use of Internal Jugular Vein Ultrasonography to Anticipate Low or High Central Venous Pressure During Mechanical Ventilation. *The Journal of Emergency Medicine* [en ligne]. avril 2016. Vol. 50, n° 4, pp. 581-587. DOI 10.1016/j.jemermed.2015.11.033.
- HOLLAND, Merrilee, HUDSON, Judith, BAO, Yida et GAILLARD, Philippe, 2020. Aortic to caudal vena cava ratio measurements using abdominal ultrasound are increased in dogs with confirmed systemic hypertension. *Veterinary Radiology & Ultrasound* [en ligne]. mars 2020. Vol. 61, n° 2, pp. 206-214. DOI 10.1111/vru.12822.
- HOSSEIN-NEJAD, Hooman, MOHAMMADINEJAD, Payam et AHMADI, Faezeh, 2016. Internal jugular vein/common carotid artery cross-sectional area ratio and central venous pressure: IJV/CCA and CVP. *Journal of Clinical Ultrasound* [en ligne]. juin 2016. Vol. 44, n° 5, pp. 312-318. DOI 10.1002/jcu.22339.
- IIZUKA, Yusuke, NOMURA, Takeshi, SANUI, Masamitsu, MOCHIDA, Yasuhiro, AOMATSU, Akinori et LEFOR, Alan Kawarai, 2020. Collapsibility of the Right Internal Jugular Vein Predicts Responsiveness to Fluid Administration in Patients Receiving Pressure Support Ventilation: A Prospective Cohort Study. *Journal of Clinical Medicine Research* [en ligne]. 2020. Vol. 12, n° 3, pp. 150-156. DOI 10.14740/jocmr4064.
- ILYAS, Abid, ISHTIAQ, Wasib, ASSAD, Salman, GHAZANFAR, Haider, MANSOOR, Salman, HARIS, Muhammad, QADEER, Aayesha et AKHTAR, Aftab, 2017. Correlation of IVC Diameter and Collapsibility Index With Central Venous Pressure in the Assessment of Intravascular Volume in Critically Ill Patients. *Cureus* [en ligne]. 12 février 2017. DOI 10.7759/cureus.1025.
- JOZWIAK, Mathieu, DEPRET, François, TEBOUL, Jean-Louis, ALPHONSINE, Jean-Emmanuel, LAI, Christopher, RICHARD, Christian et MONNET, Xavier, 2017. Predicting Fluid Responsiveness in Critically Ill Patients by Using Combined End-Expiratory and End-Inspiratory Occlusions With Echocardiography: *Critical Care Medicine* [en ligne]. novembre 2017. Vol. 45, n° 11, pp. e1131-e1138. DOI 10.1097/CCM.0000000000002704.

JUHL-OLSEN, Peter, VISTISEN, Simon T., CHRISTIANSEN, Lærke K., RASMUSSEN, Linda A., FREDERIKSEN, Christian A. et SLOTH, Erik, 2013. Ultrasound of the Inferior Vena Cava Does Not Predict Hemodynamic Response to Early Hemorrhage. *The Journal of Emergency Medicine* [en ligne]. octobre 2013. Vol. 45, n° 4, pp. 592-597. DOI 10.1016/j.jemermed.2013.03.044.

KAPTEIN, Elaine M, CANTILLET, Alan, KAPTEIN, John S, OO, Zayar, THU, Myint B, THWE, Phyu Phyu et KAPTEIN, Matthew J, 2020. Comparison of Respiratory Variations of Subclavian Vein and Inferior Vena Cava in Hospitalized Patients with Kidney Disease. *International Journal of Nephrology and Renovascular Disease* [en ligne]. novembre 2020. Vol. Volume 13, pp. 329-339. DOI 10.2147/IJNRD.S280458.

KASEM RASHWAN, Samaa A, BASSIOUNY, Ashraf Abd Elmawgood, BADAWEY, Ahmed A et MOHAMMED, Ahmed Rabea, 2020. The Relation Between Common Carotid Artery Diameter and Central Venous Pressure for Assessment of Intravascular Fluid Status after Major Surgeries; an Observational Study. *Anesthesiology and Pain Medicine* [en ligne]. 12 août 2020. Vol. 10, n° 4. DOI 10.5812/aapm.105138.

KASEM, Samaa A, AHMED, Ahmed Goda, NAGM ELDEEN, Hebatallah et KASSIM, Dina Y, 2021. Non-invasive Assessment of Intravascular Volume Status for Postoperative Patients: The Correlation Between the Internal Jugular Vein/Common Carotid Artery Cross-sectional Area Ratio and the Inferior Vena Cava Diameter. *Anesthesiology and Pain Medicine* [en ligne]. 12 juillet 2021. Vol. 11, n° 3. DOI 10.5812/aapm.114597.

KELLER, A. Scott, MELAMED, Roman, MALINCHOC, Michael, JOHN, Reverly, TIERNEY, David M. et GAJIC, Ognjen, 2009. Diagnostic accuracy of a simple ultrasound measurement to estimate central venous pressure in spontaneously breathing, critically ill patients. *Journal of Hospital Medicine* [en ligne]. juillet 2009. Vol. 4, n° 6, pp. 350-355. DOI 10.1002/jhm.503.

KENT, Alistair, PATIL, Prabhav, DAVILA, Victor, BAILEY, J Kevin, JONES, Christian, EVANS, David C, BOULGER, Creagh T, ADKINS, Eric, BALAKRISHNAN, Jayaraj M, VALIYAVEEDAN, Sebastian, GALWANKAR, Sagar C, BAHNER, David P et STAWICKI, Stanislaw P, 2015. or femoral vein collapsibility be used in the absence of IVC visualization? *Annals of Thoracic Medicine*. 2015. Vol. 10, n° 1, pp. 7.

KIM, Jaehwan, KIM, Soyoung et EOM, Kidong, 2017. Pulsed-wave Doppler ultrasonographic evaluation of hepatic vein in dogs with tricuspid regurgitation. *Journal of Veterinary Science* [en ligne]. 2017. Vol. 18, n° 1, pp. 73. DOI 10.4142/jvs.2017.18.1.73.

KWAK, Jungmin, YOON, Hakyong, KIM, Jaehwan, KIM, Minjoo et EOM, Kidong, 2018. Ultrasonographic measurement of caudal vena cava to aorta ratios for determination of volume depletion in normal beagle dogs. *Veterinary Radiology & Ultrasound* [en ligne]. mars 2018. Vol. 59, n° 2, pp. 203-211. DOI 10.1111/vru.12566.

LAZIC, T, RIEDESEL, Dh et EVANS, Rb, 2003. Measurement of cardiac output by transesophageal Doppler ultrasonography in anesthetized dogs: comparison with thermodilution. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia* [en ligne]. avril 2003. Vol. 30, n° 2, pp. 104-105. DOI 10.1046/j.1467-2995.2003.00133_12.x.

LONG, Elliot, OAKLEY, Ed, DUKE, Trevor et BABL, Franz E., 2017. Does Respiratory Variation in Inferior Vena Cava Diameter Predict Fluid Responsiveness: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Shock* [en ligne]. mai 2017. Vol. 47, n° 5, pp. 550-559. DOI 10.1097/SHK.0000000000000801.

LOPES, Patricia Cristina Ferro, SOUSA, Marlos Gonçalves, CAMACHO, Aparecido Antonio, CARARETO, Roberta, NISHIMORI, Celina TD, SANTOS, Paulo SP et NUNES, Newton, 2010. Comparison between two methods for cardiac output measurement in propofol-anesthetized dogs: thermodilution and Doppler. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia* [en ligne]. septembre 2010. Vol. 37, n° 5, pp. 401-408. DOI 10.1111/j.1467-2995.2010.00552.x.

LU, Nianfang, XI, Xiuming, JIANG, Li, YANG, Degang et YIN, Kai, 2017. Exploring the best predictors of fluid responsiveness in patients with septic shock. *The American Journal of Emergency Medicine* [en ligne]. septembre 2017. Vol. 35, n° 9, pp. 1258-1261. DOI 10.1016/j.ajem.2017.03.052.

MA, Zhihang, GAI, Jiaxin, SUN, Yinghan, BAI, Yunpeng, CAI, Hongyi, WU, Lei, SUN, Lixiu, LIU, Junyan, XUE, Li et LIU, Bingchen, 2021. Measuring the ratio of femoral vein diameter to femoral artery diameter by ultrasound to estimate volume status. *BMC Cardiovascular Disorders* [en ligne]. décembre 2021. Vol. 21, n° 1, pp. 506. DOI 10.1186/s12872-021-02309-7.

MALIK, Akram, AKHTAR, Aftab, SAADAT, Shoab et MANSOOR, Salman, 2016. Predicting Central Venous Pressure by Measuring Femoral Venous Diameter Using Ultrasonography. *Cureus* [en ligne]. 23 novembre 2016. DOI 10.7759/cureus.893.

MANTOVANI, Matheus M., FANTONI, Denise T., GIMENES, André M., DE CASTRO, Jacqueline R., FLOR, Patrícia B., IDA, Keila K. et SCHWARTZ, Denise S., 2017. Clinical monitoring of cardiac output assessed by tranoesophageal echocardiography in anaesthetised dogs: a comparison with the thermodilution technique. *BMC Veterinary Research* [en ligne]. décembre 2017. Vol. 13, n° 1, pp. 325. DOI 10.1186/s12917-017-1227-9.

MARSHALL, Kristen A, THOMOVSKY, Elizabeth J, BROOKS, Aimee C, JOHNSON, Paula A, LIM, Chee Kin et HENG, Hock Gan, 2018. Ultrasound measurements of the caudal vena cava before and after blood donation in 9 greyhound dogs. . 2018. Vol. 59, pp. 8.

MENEGHINI, Caterina, RABOZZI, Roberto et FRANCI, Paolo, 2016. Correlation of the ratio of caudal vena cava diameter and aorta diameter with systolic pressure variation in anesthetized dogs. *American Journal of Veterinary Research* [en ligne]. février 2016. Vol. 77, n° 2, pp. 137-143. DOI 10.2460/ajvr.77.2.137.

MERCOLINI, DI LEO, BORDIN, MELOTTI, SPEROTTO, PETTENAZZO, AMIGONI et TOSONI, 2021. Central Venous Pressure Estimation by Ultrasound Measurement of Inferior Vena Cava and Aorta Diameters in Pediatric Critical Patients: An Observational Study. *Pediatric critical care medicine : a journal of the Society of Critical Care Medicine and the World Federation of Pediatric Intensive and Critical Care Societies* [en ligne]. 1 janvier 2021. Vol. 22, n° 1. DOI 10.1097/PCC.0000000000002526.

MIELNICKI, Wojciech, DYLA, Agnieszka et ZAWADA, Tomasz, 2016. Utility of transthoracic echocardiography (TTE) in assessing fluid responsiveness in critically ill patients – a challenge for the bedside sonographer. *Medical Ultrasonography* [en ligne]. 5 décembre 2016. Vol. 18, n° 4, pp. 508. DOI 10.11152/mu-880.

NAGHIPOUR, Bahman et FARIDAALAE, Gholamreza, 2016. Correlation between Central Venous Pressure and Inferior Vena Cava Sonographic Diameter; Determining the Best Anatomic Location. . 2016. pp. 5.

NELSON, Nathan C., DROST, Wm Tod, LERCHE, Phillip et BONAGURA, John D., 2010. NONINVASIVE ESTIMATION OF CENTRAL VENOUS PRESSURE IN ANESTHETIZED DOGS BY MEASUREMENT OF HEPATIC VENOUS BLOOD FLOW VELOCITY AND ABDOMINAL VENOUS DIAMETER: Ultrasound, Hepatic Vein, Central Venous Pressure. *Veterinary Radiology & Ultrasound* [en ligne]. 16 février 2010. Vol. 51, n° 3, pp. 313-323. DOI 10.1111/j.1740-8261.2010.01668.x.

NGUYEN, Quang Duc, 2021. Evaluation échographique des diamètres de la veine cave caudale, de l'aorte abdominale et de leur rapport au cours d'une anesthésie générale chez le chat sain. Thèse d'exercice vétérinaire. Toulouse : Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse. 78p

ORSO, Daniele, PAOLI, Irene, PIANI, Tommaso, CILENTI, Francesco L., CRISTIANI, Lorenzo et GUGLIELMO, Nicola, 2020. Accuracy of Ultrasonographic Measurements of Inferior Vena Cava to Determine Fluid Responsiveness: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Intensive Care Medicine* [en ligne]. avril 2020. Vol. 35, n° 4, pp. 354-363. DOI 10.1177/0885066617752308.

PARENTI, Nicola, SCALESE, Marco, PALAZZI, Carmela, AGRUSTA, Federica, CAHILL, Jane et AGNELLI, Giancarlo, 2019. Role of Internal Jugular Vein Ultrasound Measurements in the Assessment of Central Venous Pressure in Spontaneously Breathing Patients: A Systematic Review. *Journal of Acute Medicine*. 1 juin 2019. Vol. 9, n° 2, pp. 39-48. DOI 10.6705/j.jacme.201906_9(2).0001.

PEREIRA, Renan Muralho, SILVA, Alvaro José Leite Campelo da, FALLER, Julio, GOMES, Brenno Cardoso et SILVA, João Manoel, 2020. Comparative Analysis of the Collapsibility Index and Distensibility Index of the Inferior Vena Cava Through Echocardiography with Pulse Pressure Variation That Predicts Fluid Responsiveness in Surgical Patients: An Observational Controlled Trial. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia* [en ligne]. août 2020. Vol. 34, n° 8, pp. 2162-2168.. DOI 10.1053/j.jvca.2020.02.007.

PREAU, Sebastien, BORTOLOTTI, Perrine, COLLING, Delphine, DEWAVRIN, Florent, COLAS, Vincent, VOISIN, Benoit, ONIMUS, Thierry, DRUMÉZ, Elodie, DUROCHER, Alain, REDHEUIL, Alban et SAULNIER, Fabienne, 2017. Diagnostic Accuracy of the Inferior Vena Cava Collapsibility to Predict Fluid Responsiveness in Spontaneously Breathing Patients With Sepsis and Acute Circulatory Failure: *Critical Care Medicine* [en ligne]. mars 2017. Vol. 45, n° 3, pp. e290-e297. DOI 10.1097/CCM.0000000000002090.

RABOZZI, Roberto, ORICCO, Stefano, MENEGHINI, Caterina, BUCCI, Massimo et FRANCI, Paolo, 2020. Evaluation of the caudal vena cava diameter to abdominal aortic diameter ratio and the caudal vena cava respiratory collapsibility for predicting fluid responsiveness in a heterogeneous population of hospitalized conscious dogs. . 2020. pp. 8.

RAHMAN, Nik Hisamuddin NA, AHMAD, Rashidi, KAREEM, Meera Mohaideen et MOHAMMED, Mohammad Iqbal, 2016. Ultrasonographic assessment of inferior vena cava/abdominal aorta diameter index: a new approach of assessing hypovolemic shock class 1. *International Journal of Emergency Medicine* [en ligne]. décembre 2016. Vol. 9, n° 1, pp. 8. DOI 10.1186/s12245-016-0101-z.

SÄNGER, Florian, DORSCH, Roswitha, HARTMANN, Katrin et DÖRFELT, René, 2021. Ultrasonographic assessment of the caudal vena cava diameter in cats during blood donation. *Journal of Feline Medicine and Surgery* [en ligne]. 27 juillet 2021. pp. 1098612X2110288. DOI 10.1177/1098612X211028838.

SARITAŞ, Aykut, ZİNCİRCİOĞLU, Çiler, SARITAŞ, Pelin UZUN, UZUN, Uğur, KÖSE, Işıl et ŞENOĞLU, Nimet, 2019. Comparison of inferior vena cava collapsibility, distensibility, and delta indices at different positive pressure supports and prediction values of indices for intravascular volume status. *Turk J Med Sci*. 2019. pp. 9.

SARTOR, Raquel, MAPRIM, Maria Jaqueline et TAKAHIRA, Regina Kiomi, 2010. MORPHOMETRIC EVALUATION, BY ULTRASONOGRAPHIC EXAM, OF THE PORTAL VEIN, CAUDAL VENA CAVA AND ABDOMINAL AORTA IN HEALTHY DOGS OF DIFFERENT BODY WEIGHTS. *Archives of Veterinary Science* [en ligne]. 30 septembre 2010. Vol. 15, n° 3. DOI 10.5380/avs.v15i3.17486.

SI, Xiang, CAO, Daiyin, XU, Hailin et GUAN, Xiangdong, 2018. Meta-Analysis of Ventilated versus Spontaneously Breathing Patients in Predicting Fluid Responsiveness by Inferior Vena Cava Variation. *International Journal of Clinical Medicine* [en ligne]. 2018. Vol. 09, n° 10, pp. 760-777. DOI 10.4236/ijcm.2018.910063.

SI, Xiang, XU, Hailin, LIU, Zimeng, WU, Jianfeng, CAO, Daiyin, CHEN, Juan, CHEN, Minying, LIU, Yongjun et GUAN, Xiangdong, 2018. Does Respiratory Variation in Inferior Vena Cava Diameter Predict Fluid Responsiveness in Mechanically Ventilated Patients? A Systematic Review and Meta-analysis: *Anesthesia & Analgesia* [en ligne]. novembre 2018. Vol. 127, n° 5, pp. 1157-1164. DOI 10.1213/ANE.0000000000003459.

SILVA, Vinícius Bentivóglia Costa, RODRIGUES FROES, Tilde, GIL, Elaine Mayumi Ueno, WOLF, Marcela, LUCINA, Stephany Buba et SOUSA, Marlos Gonçalves, 2020. Characterization of Doppler spectrum of hepatic veins and correlation with structural and functional variables of the right ventricle in healthy dogs. *Journal of Veterinary Internal Medicine* [en ligne]. janvier 2020. Vol. 34, n° 1, pp. 45-52. DOI 10.1111/jvim.15665.

SMITHENSON, Bryan Todd, MATTOON, John S., BONAGURA, John D., ABRAHAMSEN, Eric J. et DROST, William Tod, 2004. Pulsed-wave Doppler ultrasonographic evaluation of hepatic veins during variable hemodynamic states in healthy anesthetized dogs. *American Journal of Veterinary Research* [en ligne]. juin 2004. Vol. 65, n° 6, pp. 734-740. DOI 10.2460/ajvr.2004.65.734.

- TUPLIN, M.C., ROMERO, A.E. et BOYSEN, S.R., 2017. Influence of the Respiratory Cycle on Caudal Vena Cava Diameter Measured by Sonography in Healthy Foals: A Pilot Study. *Journal of Veterinary Internal Medicine* [en ligne]. septembre 2017. Vol. 31, n° 5, pp. 1556-1562. DOI 10.1111/jvim.14793.
- VAIDYA, Gaurang Nandkishor et GHAFGHAZI, Shahab, 2021. Correlation of internal jugular and subclavian vein diameter variation on bedside ultrasound with invasive right heart catheterization. *Indian Heart Journal* [en ligne]. mars 2021. Vol. 73, n° 2, pp. 231-235. DOI 10.1016/j.ihj.2021.01.024.
- VIA, G., TAVAZZI, G. et PRICE, S., 2016. Ten situations where inferior vena cava ultrasound may fail to accurately predict fluid responsiveness: a physiologically based point of view. *Intensive Care Medicine* [en ligne]. juillet 2016. Vol. 42, n° 7, pp. 1164-1167. DOI 10.1007/s00134-016-4357-9.
- YAMANOGLU, Adnan, CELEBI YAMANOGLU, Nalan Gokce, SOGUT, Ozgur, YIGIT, Mehmet, TAS, Demet, SACLI, Neslihan et TOPAL, Fatih Esad, 2019. A comparison of noninvasive methods for early detection of hemorrhage: Inferior vena cava ultrasonography and spectrophotometric hemoglobin levels. *Journal of Clinical Ultrasound* [en ligne]. juin 2019. Vol. 47, n° 5, pp. 278-284. DOI 10.1002/jcu.22709.
- YAMASHITA, IGARASHI, KUSHIRO, UEYAMA, MIYOSHI, UMAR, et MUIR, 2005. Comparison of noninvasive cardiac output measurements by transthoracic bioimpedance, partial carbon dioxide rebreathing, and transesophageal echocardiography with the thermodilution technique in beagle dogs. . Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido, Japan, 2005.
- YAMASHITA, Kazuto, UEYAMA, Yukie, MIYOSHI, Kenjiro, IGARASHI, Ritsuyo, KUSHIRO, Tokiko, UMAR, Mohammed A. et MUIR, William W., 2007. Minimally Invasive Determination of Cardiac Output by Transthoracic Bioimpedance, Partial Carbon Dioxide Rebreathing, and Transesophageal Doppler Echocardiography in Beagle Dogs. *Journal of Veterinary Medical Science* [en ligne]. 2007. Vol. 69, n° 1, pp. 43-47. DOI 10.1292/jvms.69.43.
- YAO, Bo, LIU, Jian-yu et SUN, Yun-bo, 2018. Respiratory variation in peripheral arterial blood flow peak velocity to predict fluid responsiveness in mechanically ventilated patients: a systematic review and meta-analysis. *BMC Anesthesiology* [en ligne]. décembre 2018. Vol. 18, n° 1, pp. 168. DOI 10.1186/s12871-018-0635-0.
- YOUNG, L E, BLISSITT, K J, BARTRAM, D H, CLUTTON, R E, MOLONY, V et JONES, R S, 1996. Measurement of cardiac output by transoesophageal Doppler echocardiography in anaesthetized horses: comparison with thermodilution. *British Journal of Anaesthesia* [en ligne]. décembre 1996. Vol. 77, n° 6, pp. 773 - 780. DOI 10.1093/bja/77.6.773.
- YOUNG, Lesley E., BLISSITT, Karen J., CLUTTON, R. E., MOLONY, V. et DARKE, P. G. G., 1995. Feasibility of transoesophageal echocardiography for evaluation of left ventricular performance in anaesthetised horses. *Equine Veterinary Journal* [en ligne]. 1995. Vol. 27, n° S19, pp. 63 - 70. DOI 10.1111/j.2042-3306.1995.tb04991.x.
- ZHANG, Jie et CRITCHLEY, Lester Augustus Hall, 2016. Inferior Vena Cava Ultrasonography before General Anesthesia Can Predict Hypotension after Induction. *Anesthesiology* [en ligne]. 1 mars 2016. Vol. 124, n° 3, pp. 580-589. DOI 10.1097/ALN.0000000000001002.
- ZHANG, Qing, WANG, Xiaoting, SU, Longxiang, ZHANG, Hongmin, CHAI, Wenzhao, CHAO, Yangong, HE, Wei et LIU, Dawei, 2018. Relationship between inferior vena cava diameter ratio and central venous pressure. *Journal of Clinical Ultrasound* [en ligne]. septembre 2018. Vol. 46, n° 7, pp. 450-454. DOI 10.1002/jcu.22586.
- ZHANG, Zhongheng, XU, Xiao, YE, Sheng et XU, Lei, 2014. Ultrasonographic Measurement of the Respiratory Variation in the Inferior Vena Cava Diameter Is Predictive of Fluid Responsiveness in Critically Ill Patients: Systematic Review and Meta-analysis. *Ultrasound in Medicine & Biology* [en ligne]. mai 2014. Vol. 40, n° 5, pp. 845-853. DOI 10.1016/j.ultrasmedbio.2013.12.010.

ZHU, Weihua, WAN, Linjun, WAN, Xiaohong, WANG, Gang, SU, Meixian, LIAO, Gengjin et HUANG, Qingqing, 2016. [Measurement of brachial artery velocity variation and inferior vena cava variability to estimate fluid responsiveness]. *Zhonghua Wei Zhong Bing Ji Jiu Yi Xue*. août 2016. Vol. 28, n° 8, pp. 713 - 717. DOI 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2016.08.009.

Annexe 1 : Mesures prédictives de la VCC et de l'Ao et son intervalle de prédiction à 95% pour 126 chiens étudiés en vue transhépatique et en vue paralombaire. (Darnis et al. 2018)

CVC = veine cave caudale ; AO = aorte ; amin = aire minimale ; amax= aire maximale ; max = diamètre maximal ;
D = diamètre ; HV = vue transhépatique ; PV = vue paralombaire ; B = B-Mode ; M = M-Mode.

Weight (kg)	CVC _{amin-HV-B} (mm ²)	CVC _{amax-HV-B} (mm ²)	Ao _{max-HV-B} (mm)	CVC _{D-PV-B} (mm)	Ao _{D-PV-B} (mm)	CVC _{D-PV-M} (mm)	Ao _{D-PV-M} (mm)
3.00	14.23 (5.96-33.98)	17.1 (97.88-37.48)	5.50 (3.45-8.77)	4.28 (3.01-6.08)	5.01 (3.99-6.30)	4.01 (2.71-5.94)	5.01 (3.91-6.41)
4.00	17.72 (7.42-42.31)	21.55 (9.88-47.00)	6.03 (3.78-9.63)	4.79 (3.37-6.80)	5.51 (4.38-6.93)	4.52 (3.06-6.70)	5.51 (4.30-7.06)
5.00	21.00 (8.79-50.15)	25.69 (11.78-56.02)	6.49 (4.07-10.35)	5.22 (3.68-7.42)	5.93 (4.72-7.45)	4.97 (3.35-7.35)	5.93 (4.63-7.60)
6.00	24.13 (10.11-57.63)	29.65 (13.59-64.65)	6.88 (4.31-10.98)	5.61 (3.95-7.97)	6.30 (5.01-7.91)	5.36 (3.62-7.94)	6.30 (4.92-8.07)
7.00	27.14 (11.37-64.82)	33.47 (15.35-72.99)	7.23 (4.53-11.54)	5.96 (4.19-8.46)	6.62 (5.27-8.32)	5.72 (3.86-8.47)	6.63 (5.18-8.50)
8.00	30.05 (12.58-71.76)	37.17 (17.05-81.07)	7.55 (4.73-12.05)	6.27 (4.42-8.91)	6.92 (5.50-8.70)	6.05 (4.08-8.95)	6.93 (5.41-8.88)
9.00	32.87 (13.77-78.51)	40.78 (18.70-88.94)	7.84 (4.92-12.51)	6.57 (4.63-9.33)	7.19 (5.72-9.04)	6.35 (4.29-9.41)	7.21 (5.63-9.23)
10.00	35.62 (14.92-85.07)	44.31 (20.32-96.62)	8.12 (5.09-12.95)	6.84 (4.82-9.72)	7.44 (5.92-9.36)	6.64 (4.48-9.83)	7.47 (5.83-9.56)
11.00	38.31 (16.04-91.48)	47.75 (21.90-104.14)	8.37 (5.25-13.35)	7.10 (5.00-10.09)	7.68 (6.11-9.65)	6.91 (4.67-10.23)	7.71 (6.02-9.87)
12.00	40.93 (17.14-97.76)	51.14 (23.45-111.52)	8.61 (5.40-13.73)	7.35 (5.17-10.43)	7.90 (6.29-9.93)	7.17 (4.84-10.61)	7.93 (6.19-10.16)
13.00	43.51 (18.22-103.91)	54.46 (24.97-118.77)	8.83 (5.54-14.09)	7.58 (5.34-10.77)	8.11 (6.46-10.20)	7.41 (5.01-10.97)	8.14 (6.36-10.43)
14.00	46.04 (19.28-109.94)	57.73 (26.47-125.90)	9.05 (5.67-14.44)	7.80 (5.49-11.08)	8.31 (6.61-10.45)	7.65 (5.16-11.32)	8.35 (6.52-10.69)
15.00	48.52 (20.32-115.88)	60.95 (27.95-132.92)	9.25 (5.80-14.76)	8.02 (5.64-11.38)	8.50 (6.77-10.69)	7.87 (5.31-11.65)	8.54 (6.67-10.94)
16.00	50.97 (21.34-121.73)	64.12 (29.40-139.84)	9.45 (5.92-15.07)	8.22 (5.79-11.67)	8.69 (6.91-10.92)	8.08 (5.46-11.97)	8.73 (6.81-11.17)
17.00	53.38 (22.35-127.48)	67.25 (30.84-146.67)	9.64 (6.04-15.37)	8.42 (5.93-11.95)	8.86 (7.05-11.14)	8.29 (5.60-12.28)	8.90 (6.95-11.40)
18.00	55.76 (23.35-133.16)	70.34 (32.26-153.41)	9.81 (6.15-15.66)	8.61 (6.06-12.22)	9.03 (7.18-11.35)	8.49 (5.74-12.58)	9.07 (7.08-11.62)
19.00	58.11 (24.33-138.76)	73.40 (33.66-160.07)	9.99 (6.26-15.94)	8.79 (6.19-12.48)	9.19 (7.31-11.55)	8.69 (5.87-12.86)	9.24 (7.21-11.83)
20.00	60.42 (25.30-144.30)	76.42 (35.04-166.66)	10.16 (6.37-16.20)	8.97 (6.31-12.73)	9.34 (7.44-11.74)	8.88 (6.00-13.14)	9.40 (7.34-12.03)
22.00	64.98 (27.21-155.17)	82.37 (37.77-179.64)	10.47 (6.56-16.71)	9.31 (6.55-13.21)	9.64 (7.67-12.12)	9.24 (6.24-13.68)	9.70 (7.57-12.42)
24.00	69.43 (29.07-165.81)	88.21 (40.45-192.36)	10.77 (6.75-17.19)	9.63 (6.78-13.67)	9.92 (7.89-12.47)	9.58 (6.47-14.19)	9.98 (7.79-12.78)
26.00	73.80 (30.90-176.25)	93.94 (43.07-204.86)	11.05 (6.93-17.64)	9.93 (6.99-14.10)	10.18 (8.10-12.80)	9.91 (6.69-14.67)	10.25 (8.00-13.13)
28.00	78.09 (32.70-186.49)	99.57 (45.66-217.16)	11.32 (7.10-18.06)	10.22 (7.20-14.52)	10.44 (8.30-13.12)	10.22 (6.90-15.13)	10.50 (8.20-13.45)
30.00	82.31 (34.46-196.56)	105.13 (48.20-229.27)	11.58 (7.26-18.47)	10.50 (7.39-14.91)	10.67 (8.49-13.42)	10.52 (7.10-15.58)	10.75 (8.39-13.77)
32.00	86.46 (36.20-206.47)	110.60 (50.71-241.20)	11.82 (7.41-18.86)	10.77 (7.58-15.29)	10.90 (8.67-13.70)	10.81 (7.30-16.00)	10.98 (8.57-14.06)
34.00	90.55 (37.92-216.24)	116.00 (53.19-252.98)	12.06 (7.56-19.24)	11.03 (7.76-15.66)	11.12 (8.85-13.98)	11.09 (7.49-16.41)	11.20 (8.75-14.35)
36.00	94.58 (39.60-225.87)	121.34 (55.64-264.62)	12.28 (7.70-19.59)	11.27 (7.94-16.01)	11.33 (9.02-14.24)	11.35 (7.67-16.81)	11.42 (8.91-14.62)
38.00	98.56 (41.27-235.37)	126.61 (58.05-276.11)	12.50 (7.83-19.94)	11.51 (8.11-16.35)	11.54 (9.18-14.50)	11.61 (7.84-17.20)	11.62 (9.08-14.89)
40.00	102.49 (42.92-244.76)	131.82 (60.44-287.48)	12.71 (7.96-20.27)	11.75 (8.27-16.68)	11.73 (9.33-14.74)	11.87 (8.01-17.57)	11.82 (9.23-15.14)
45.00	112.12 (46.95-267.75)	144.62 (66.31-315.38)	13.20 (8.27-21.06)	12.30 (8.66-17.46)	12.19 (9.70-15.32)	12.47 (8.42-18.46)	12.29 (9.60-15.75)
50.00	121.49 (50.87-290.14)	157.11 (72.04-342.63)	13.66 (8.56-21.79)	12.81 (9.02-18.20)	12.62 (10.04-15.86)	13.03 (8.80-19.29)	12.73 (9.94-16.31)
55.00	130.65 (54.71-312.01)	169.34 (77.65-369.30)	14.09 (8.83-22.47)	13.30 (9.36-18.88)	13.02 (10.36-16.37)	13.56 (9.16-20.08)	13.14 (10.26-16.83)
60.00	139.61 (58.46-333.40)	181.33 (83.15-395.46)	14.49 (9.08-23.11)	13.76 (9.69-19.54)	13.40 (10.66-16.84)	14.06 (9.50-20.82)	13.53 (10.56-17.32)
65.00	148.39 (62.14-354.38)	193.12 (88.55-421.16)	14.87 (9.32-23.72)	14.19 (9.99-20.15)	13.76 (10.95-17.29)	14.54 (9.82-21.53)	13.89 (10.84-17.79)
70.00	157.02 (65.75-374.98)	204.71 (93.87-446.44)	15.23 (9.55-24.30)	14.61 (10.29-20.74)	14.09 (11.21-17.72)	15.00 (10.13-22.21)	14.24 (11.11-18.23)

AGREMENT SCIENTIFIQUE

En vue de l'obtention du permis d'imprimer de la thèse de doctorat vétérinaire

Je soussignée, Géraldine JOURDAN, Enseignant-chercheur, de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, directrice de thèse, certifie avoir examiné la thèse de **HARDY Marie** intitulée « **L'échographie comme moyen de surveillance instrumentale perianesthésique de la fonction cardiovasculaire – Revue bibliographique chez l'homme et l'animal de compagnie** » et que cette dernière peut être imprimée en vue de sa soutenance.

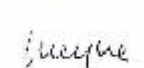
Fait à Toulouse, le 15/11/2021
Enseignant-chercheur de l'Ecole Nationale
Vétérinaire de Toulouse
Professeure Géraldine JOURDAN



Vu :
Le Directeur de l'Ecole Nationale
Vétérinaire de Toulouse
M. Pierre SANS



Vu :
Le Président du jury
Professeur Christian VIRENGHE



Vu et autorisation de l'impression :
Le Président de l'Université Paul
Sabatier
Monsieur Jean-Marc BROTO
Par délégation, le Doyen de la Faculté de
Médecine de Toulouse-Rangueil
Monsieur Eric SERRANO



Mme Marie HARDY
a été admis(e) sur concours en : 2016
a obtenu son diplôme d'études fondamentales vétérinaires le: 06/07/2020
a validé son année d'approfondissement le: 14/10/2021
n'a plus aucun stage, ni enseignement optionnel à valider.



Université
de Toulouse

NOM - PRENOM : Hardy Marie

L'ÉCHOGRAPHIE COMME MOYEN DE SURVEILLANCE INSTRUMENTALE PERANESTHESIQUE DE LA FONCTION CARDIOVASCULAIRE – REVUE BIBLIOGRAPHIQUE CHEZ L'HOMME ET L'ANIMAL DE COMPAGNIE

Résumé : En anesthésie, que ce soit en médecine humaine ou vétérinaire, il est essentiel de monitorer la fonction cardiovasculaire afin de maintenir le patient en vie, mais également d'éviter toutes les complications liées à cette perturbation cardiovasculaire. Il est ainsi important de détecter et de monitorer d'éventuelles hypotensions, hypovolémies, surcharges volémiques ou encore des pertes sanguines. Il est également intéressant de prédire la capacité de réponse à la fluidothérapie d'un patient, afin d'adapter au mieux le remplissage vasculaire.

De plus, l'utilisation des ultrasons comme moyen de monitoring s'est développé afin d'éviter l'utilisation de méthodes invasives.

Ainsi, de nombreuses méthodes échographiques ont été décrites en médecine humaine afin de surveiller ces différents paramètres. La méthode la plus étudiée est l'évaluation de la veine cave inférieure, mais l'échocardiographie est également sujet d'étude. D'autres vaisseaux plus accessibles comme la veine jugulaire et l'artère carotide, ou encore la veine fémorale sont également analysés dans les cas où la veine cave n'est pas visualisable.

En médecine vétérinaire, les mêmes paramètres sont étudiés mais de manière beaucoup plus récente. Ainsi, la plupart des études portent plus sur la faisabilité de la méthode, que sur la détermination de valeur seuil et la précision de la technique. Les études sont également centrées sur la veine cave caudale et l'échocardiographie, il n'existe que peu d'étude sur des vaisseaux plus périphériques. Il est important de noter que les travaux sont principalement réalisés chez le chien, le chat et le cheval étant très peu représentés.

Ce travail résume ainsi les différentes méthodes utilisables en médecine humaine et vétérinaire pour le monitoring cardiovasculaire en per-anesthésique.

Mots-clés : anesthésie, échographie, monitoring, cardiovasculaire, vétérinaire, homme

ULTRASOUND AS A MEANS OF PERANESTHESIC MONITORING OF CARDIOVASCULAR FUNCTION - LITERATURE REVIEW IN HUMANS AND PETS

Abstract : In anaesthesia, whether in human or veterinary medicine, it is essential to monitor cardiovascular function in order to keep the patient alive, but also to avoid all complications related to this cardiovascular disruption. It is thus important to detect and monitor possible hypotension, hypovolemia, volemic overload or blood loss. It is also interesting to predict the fluid responsiveness, in order to best adapt vascular filling.

In addition, the use of ultrasound as a means of monitoring has been developed to avoid the use of invasive methods.

Thus, many ultrasound methods have been described in human medicine to monitor these different parameters. The most studied method is the evaluation of the inferior vena cava, but echocardiography is also a subject of study. Other more accessible vessels such as the jugular vein and carotid artery, or the femoral vein are also analyzed in cases where the vena cava is not viewable.

In veterinary medicine, the same parameters are studied but much more recently. Thus, most studies focus more on the feasibility of the method, than on the determination of the threshold value and the precision of the technique. Studies are also focused on the caudal vena cava and echocardiography, there are few studies on more peripheral vessels. It is important to note that the work is mainly done in dogs, the cat and the horse are very little represented.

This work summarizes the different methods usable in human and veterinary medicine for cardiovascular monitoring in per-anesthetic.

Key - Words : anesthesia, ultrasound, monitoring, cardiovascular, veterinary