UNIVERSITE BRETAGNE LOIRE

Thèse de Doctorat

Oniris
ÉCOLE NATIONALE
VÉTÉRINAIRE, AGROALIMENTAIRE ET DE L'ALIMENTATION
SANTÉ ET ALIMENTATION AU CŒUR DE LA VIE

Gwenola TOUZOT-JOURDE

Mémoire présenté en vue de l'obtention du
grade de Docteur d'Oniris - École Nationale Vétérinaire Agroalimentaire et de l'Alimentation Nantes-Atlantique *sous le sceau de l'Université Bretagne Loire*

École doctorale : BIOLOGIE-SANTÉ (BS)

Discipline : Epidémiologie, Analyse de Risque, Recherche Clinique
Spécialité : Recherche clinique
Unité de recherche : Inserm U1229, Regenerative Medicine and Skeleton, RMeS

Soutenue le *25 janvier 2018*
Thèse N° :

Injections péri-neurales écho-guidées du rameau ventral du 7ème et 8ème nerf spinal cervical chez le cheval sain: étude anatomique post-mortem et évaluation clinique de l'anesthésie tronculaire

JURY

Rapporteurs :	**Barbara RICCIO**, DVM, phD, Diplomate ACVSMR, Turin, Italie
	Patrick VERWAERDE, Maître de Conférences, phD, Diplomate ECVECC, ENVT, Toulouse, France
Examinatrice :	**Lucile MARTIN**, Professeur, Oniris
Membre invité :	**Catherine LEVISAGE,** Docteur, Directeur adjoint RmeS, Université de Nantes
Directeur de Thèse :	**Olivier GAUTHIER**, Professeur, Oniris, France
Co-directeur de Thèse :	**Jean-Marie DENOIX**, Professeur, Diplomate ACVMSR, ENVA**,** France
Co-encadrant de Thèse :	**Olivier GEFFROY**, Professeur, Diplomate ACVMSR, Oniris, France

L'Université Bretagne Loire

Injections péri-neurales écho-guidées du rameau ventral du 7ème et du 8ème nerf spinal cervical chez le cheval sain: étude anatomique post-mortem et évaluation clinique de l'anesthésie tronculaire

Mémoire de thèse de doctorat

Gwenola Touzot-Jourde

Oniris - École Nationale Vétérinaire Agroalimentaire et de l'Alimentation Nantes-Atlantique

Table des matières

Table des matières 1
Index des tableaux 3
Index des figures 4
Liste des abréviations 5

Partie bibliographique : Anatomie et pathologie cervicale 6

A. Contexte des affections cervicales caudales chez le cheval 7
1. Les affections cervicales chez le cheval 7
2. Les affections cervicales dégénératives associées à une boiterie ou à un défaut de performance 7
3. Options thérapeutiques 9

B. La radiculopathie cervicale compressive chez l'homme 10
C. Pathophysiologie de la compression radiculaire cervicale 11
D. L'injection péri-radiculaire cervicale sélective en médecine humaine 12
1. Anatomie de la racine nerveuse cervicale 12
2. Infiltration des racines cervicales sur cadavres avec produit de contraste 12
3. Description de la technique d'injection par Kikuchi et al. 1981 12
4. Anesthésie sélective de la racine cervicale 13
5. Traitement de la douleur et de l'inflammation avec les injections péri-radiculaires cervicales 13
6. Evolution de la technique d'injection et des pratiques 16
7. Complications des injections péri-radiculaires ou péri-nerveuses cervicales chez l'homme 17
8. Approche comparée 18

E. Anatomie de l'encolure et du membre antérieur du cheval 19
1. Anatomie du plexus brachial chez le cheval 19
2. Muscles du membre thoracique et fonctions 22

Partie expérimentale : Injection péri-neurale écho-guidée du rameau ventral des nerfs spinaux cervicaux 7 et 8 chez le cheval 28

A. Description de la technique d'injection péri-nerveuse cervicale caudale ventrale sous contrôle écho-guidé 28
1. Anatomie régionale 28
2. Repérage échographique et méthode d'injection 29

B. Partie expérimentale 1 : étude cadavérique avec injection de colorants 34
1. Matériel et Méthodes 34
a) Choix des colorants, du volume injecté et de l'allocation des injections 34
b) Réalisation des injections péri-radiculaires et technique de dissection 35
2. Résultats et discussion 36
a) Description anatomique 36
b) Résultats et discussion en fonction des schémas de diffusion des colorants tissulaires . 49
c) Résultats et discussion en fonction de l'étendue de la coloration du tronc nerveux 51
3. Synthèse des résultats de l'étude cadavérique et de leur interprétation 52

C. Partie expérimentale 2 : Etude des effets de l'anesthésie péri-neurale des rameaux cervicaux ventraux 7 et 8 chez le cheval 54

1. Matériel et Méthodes 54
   a) Comité d'éthique 54
   b) Animaux et critères d'inclusion 54
   c) Santé, conditionnement et bien-être des juments 55
   d) Composition et attributions des injections 56
   e) Injections péri-neurales écho-guidées de RCV 7 et RCV8 56
   f) Examen clinique 57
   g) Déroulé des actes, examens et observations lors de l'anesthésie péri-neurale de RCV 7 ou 8 59

2. Résultats 60
   a) Nombre et descriptif des injections 60
   b) Lecture des clichés radiographiques cervicaux caudaux post-injection avec la solution anesthésique mélangée à du produit de contraste 62
   c) Comparaison des résultats radiographiques avec produit de contraste et des données post-mortem 67
   d) Résultats de l'examen statique et dynamique de l'anesthésie péri-neurale du RCV7 69
   e) Résultats de l'examen statique et dynamique de l'anesthésie péri-neurale du RCV8 74
   f) Zones cutanées de sudation 82
   g) Tests de sensibilité cutanée à l'algomètre de pression 88

3. Analyses des résultats et discussion 89
   a) Effet de l'anesthésie de RCV7 sur la station et la locomotion : parésie supra-scapulaire 90
   b) Effet de l'anesthésie de RCV8 sur la station et la locomotion : parésie radiale et assimilé 93
   c) Origine(s) radiculaire(s) des fibres motrices du nerf supra-scapulaire et du nerf radial .. 96
   d) Effet central de l'anesthésie de RCV7 et RCV8 : Ataxie 97
   e) Effet de l'anesthésie sur la sudation cutanée 100
   f) Effet de l'anesthésie sur la sensibilité cutanée – Anesthésie sensitive versus motrice .. 102
   g) Limites méthodologiques du protocole expérimental 104
   h) Synthèse, conclusion sur l'anesthésie péri-neurale des rameaux ventraux de C7 et C8 chez le cheval et perspectives 106

Bibliographie 108

Annexes 114

Index des tableaux

Partie bibliographique :

Tableau D-1 : Synthèse des études principales sur l'injection péri-radiculaire cervicale sélective chez l'homme14

Tableau E-1 : Synthèse bibliographique de l'origine, la composition et la distribution du plexus brachial chez le cheval 20
Tableau E-2 : Références bibliographiques sur l'anatomie du plexus brachial chez les animaux..... 21
Tableau E-3 : Compilation des données bibliographiques sur les racines principales et les plus rencontrées des nerfs du plexus brachial chez le cheval 21
Tableau E-4 : Principaux muscles et leur fonction de la station et la locomotion du membre antérieur chez le cheval d'après Barone 1980 23
Tableau E-5 : Synthèse des principales actions du membre antérieur en locomotion et en station..... 26

Partie expérimentale :

Tableau B-1 : Description des injections et randomisation des traitements 35
Tableau B-2 : Description du schéma de coloration de RCV6 36
Tableau B-3 : Description des schémas de coloration de RCV7 37
Tableau B-4 : Description des schémas de coloration de RCV8 38
Tableau B-5 : Schémas de coloration et sites d'injection par RCV 49

Tableau C-1 : Descriptif du troupeau des 4 juments sélectionnées..... 55
Tableau C-2 : Description de l'examen dynamique et des temps de réalisation 57
Tableau C-3 : Description des anesthésies du RCV reçues par les 4 juments et des conditions de visualisation du RCV, de positionnement de l'aiguille et d'injection 60
Tableau C-4 : Descriptif du positionnement de l'aiguille et de la qualité d'administration du volume injecté pour RCV7 62
Tableau C-5 : Descriptif du positionnement de l'aiguille et de la qualité d'administration du volume injecté pour RCV8 62

Tableau C-6 : Résultats radiographiques des injections péri-neurales RCV7 avec produit de contraste..... 63
Tableau C-7 : Résultats radiographiques des injections péri-neurales RCV8 avec produit de contraste..... 64
Tableau C-8 : Modifications de la station et de la locomotion associées à l'anesthésie péri-neurale de RCV7 ... 70
Tableau C-9: Association des résultats par RCV7 en terme de positionnement de l'aiguille, diffusion du produit de contraste et signes locomoteurs 72
Tableau C-10 : Modifications de la station et de la locomotion associées à l'anesthésie péri-neurale de RCV8 . 75

Tableau C-11 : Association des résultats par RCV8 en terme de positionnement de l'aiguille, mouvements de la jument pendant l'injection, diffusion du produit de contraste et signes locomoteurs..... 78
Tableau C-12 : Description des zones de sudation cutanée pour RCV7..... 82
Tableau C-13 : Description des zones de sudation cutanée pour RCV8..... 86
Tableau C-14 : Résultats des tests de sensibilité cutanée à l'algomètre de pression suite à l'anesthésie péri-neurale de RCV7 88
Tableau C-15 : Résultats des tests de sensibilité cutanée à l'algomètre de pression suite à l'anesthésie péri-neurale de RCV8 89

Index des figures

Partie bibliographique :

Figure A-1 : Images scanner montrant une hypertrophie marquée de l'ASIVE C6-C7 gauche et modérée de la droite en comparaison avec des images normales de C4-C5 8

Partie expérimentale :

Figure A-1 : Localisation et rapports anatomiques des rameaux cervicaux ventraux 7 et 8 de leur racine au plexus brachial 30
Figure A-2 : Repérage et images échographiques des rameaux cervicaux ventraux 7 et 8 31

Figure B-1 : Photos de la dissection des RCV - Cadavre 1 39
Figure B-2 : Photos de la dissection des RCV - Cadavre 2 41
Figure B-3 : Photos de la dissection des RCV - Cadavre 3 43
Figure B-4 : Photos de la dissection des RCV - Cadavre 4 46

Figure C-1 : Localisation des points cutanés utilisés pour tester la sensibilité cutanée à l'algomètre de pression 58
Figure C-2 : Frise chronologique de la réalisation de l'anesthésie périneurale du RCV et des évaluations cliniques et par imagerie 59
Figure C-3 : Images radiographiques avec produit de contraste sur Cranberry (6 injections, 3 RCV7 et 3 RCV8) 65
Figure C-4 : Images radiographiques avec produit de contraste sur Do it like a star (3 injections, 1 RCV7 et 2 RCV8) 66
Figure C-5 : Images radiographiques avec produit de contraste sur Baraka (3 injections, 1 RCV7 et 2 RCV8) 66

Figure C-6 : Images radiographiques avec produit de contraste sur Dame (2 injections, 1 RCV7 et 1 RCV8) 67
Figure C-7 : Comparaison des images radiographiques avec produit de contraste et des images post-mortem avec colorants 68
Figure C-8 : Juments en station pendant la phase de parésie supra-scapulaire 73
Figure C-9 : Juments en station pendant la phase de parésie radiale et signes d'ataxie 79

Figure C-10 : Photographies des zones de sudation associées à la parésie supra-scapulaire 83
Figure C-11 : Photographies des zones de sudation associées à la parésie radiale 87
Figure C-12: Diagramme des voies du motoneurone supérieur, du système proprioceptif général et des voies afférentes sensitives générales (voies de la nociception) issu de De Lahunta 2009 97

Figure C-13: Description par origine spinale des dermatomes cutanés du chien issue du « Handbook of veterinary neurology » par Lorenz et al. (2011) 100

Liste des abréviations

AD : membre antérieur droit
AG : membre antérieur gauche
ASIVE : articulation synoviale intervertébrale épiaxiale
BM /MB : bleu de méthylène
C5, C6, C7, C8 : 6ème, 7ème, 8ème vertèbre cervicale
CL : coupe longitudinale
CT : coupe transversale
CTMP : colorant tissulaire marqueur permanent
D : droite
DIV : disque intervertébral
G : gauche
IE : muscle infra-épineux
EMG : électromyographie/electromyography
IPNEG : injection péri-neurale écho-guidée
IPSC : injection péri-radiculaire sélective cervicale
J : joint
LA : local anesthetic agent, anesthésique local
LCS : liquide cérébro-spinal
LD : ligne droite
M : muscle
MRI : IRM
N : nerf
PA/AP : processus articulaire vertébral
PD : membre postérieur droit
PG : membre postérieur gauche
PT/TP : processus transverse vertébral
RCV6, RCV7, RCV8 : 6ème, 7ème, 8ème rameau cervical ventral
RV : ramus ventralis
SE : muscle supra-épineux
SNRB : selective nerve root block
T1, T2, T3 : 1ère, 2ème, 3ème vertèbre thoracique
TENS : Trans-cutaneous electrical neurostimulation
VAS : visual analog scale
U/S : ultrasonography

Partie bibliographique : Anatomie et pathologie cervicale

Le cheval est un animal domestique élevé et sélectionné pour ses aptitudes sportives à se déplacer. Si son apparence physique et son caractère font partie des critères de sélection, sa locomotion, avant tout, est étudiée et raffinée pour répondre aux impératifs des nombreuses disciplines équestres : par exemple, vitesse pour les courses de galop et de trot ; saut/suspension, souplesse et agilité pour les disciplines de dressage, CSO et CCE ; rapidité et résistance en endurance ; allures, agilité, résistance et puissance en attelage.

L'appareil locomoteur du cheval est constitué de 4 membres, 2 antérieurs et 2 postérieurs, reliés et unis par les ceintures thoracique et pelvienne à l'axe vertébral qui joue un rôle majeur dans le déplacement du corps en particulier par son balancier cervico-céphalique et sa charnière lombaire mais aussi dans la coordination des actions des 4 membres.

Les affections de l'appareil locomoteur du cheval sont multiples et intéressent en premier les membres ; plus particulièrement les sabots et les articulations basses ainsi que les tissus mous associés. Les connaissances sur les boiteries chez le cheval ont beaucoup évolué grâce au développement d'un savoir clinique et de moyens d'imagerie. Aussi, les boiteries liées aux affections locomotrices des membres sont-elles bien décrites, diagnostiquées et de mieux en mieux prises en charge par une thérapeutique adaptée comme la maréchalerie et les infiltrations intra-articulaires.

Les limitations de l'investigation par imagerie reculant avec le développement d'appareils d'imagerie de plus en plus adaptés à la corpulence et l'anatomie du cheval (radiographie, échographie, IRM, tomodensitométrie), l'investigation de la région axiale (encolure et dos) est maintenant disponible et abordable dans de nombreuses cliniques équines universitaires et privées. Elle n'est toutefois pas encore aussi complète qu'en médecine humaine ou vétérinaire canine du fait du gabarit du cheval qui reste une limitation. A titre d'exemple, l'examen radiographique de la région axiale du cheval est limitée aux incidences latérales, l'encolure étant trop épaisse chez l'adulte pour réaliser une incidence dorso-ventrale ; la région lombo-sacrée est difficilement visualisable du fait de la superposition de la hanche à la colonne vertébrale et la présence d'une musculature épaisse ; l'encolure caudale, le thorax et l'abdomen du cheval ne rentrent pas dans les anneaux des IRM et des scanners. Toutefois, ces investigations sont très poussées et raffinées du fait de la nature sportive de l'activité du cheval et du niveau de performances sportives requis. Les motifs de consultation sont larges de la franche boiterie à une gêne dans une ou plusieurs situations (grande vitesse, exercice particulier…) ou encore un défaut de performance sans anomalie apparente de la locomotion.

Le niveau de performance quotidiennement repoussé un peu plus haut et les boiteries des membres étant de mieux en mieux pris en charge, la région axiale est identifiée de plus en plus comme facteur limitant de la performance chez le cheval. Un intérêt grandissant s'est développé en particulier autour des affections cervicales et de leur impact sur la locomotion dans son ensemble mais aussi sur le fonctionnement du membre antérieur en particulier quand l'affection intéresse les vertèbres cervicales caudales.

Cette partie bibliographique aborde le contexte général des affections cervicales chez le cheval avec un focus sur les arthropathies cervicales caudales des processus articulaires, les affections correspondantes chez l'homme, l'utilisation des injections péri-radiculaires cervicales sélectives et se termine par la présentation d'éléments d'anatomie de l'encolure et du membre antérieur du cheval pertinents à l'étude expérimentale qui suit.

A. Contexte des affections cervicales caudales chez le cheval

1. Les affections cervicales chez le cheval

Les affections cervicales rencontrées chez le cheval comprennent :

- les affections congénitales comme les malformations, un malalignement cervical, ou de l'ostéochondrose, responsables d'une myélopathie cervicale compressive s'exprimant par des déficits neurologiques comme l'ataxie et la faiblesse musculaire (syndrome Wobbler) ;
- les traumatismes comme les fractures vertébrales ;
- les affections dégénératives qui touchent principalement l'articulation des processus articulaires (ASIVE : articulation synoviale intervertébrale épiaxiale) ;
- d'autres affections moins courantes (discospondylite infectieuse, ostéomyélite, abcès…) ou moins spécifiques d'une atteinte cervicale (encéphalite à protozoaire ou virale, myélome).

La prévalence de ces affections n'est pas facilement objectivable car elles ne sont pas toujours complètement identifiées et sont dépendantes des moyens d'investigations à disposition. Le pays, la race, l'utilisation sportive du cheval, le suivi médical et son poids économique, le centre vétérinaire et ses moyens d'investigation à disposition…. constituent de facteurs limitant ou biaisant cette évaluation.

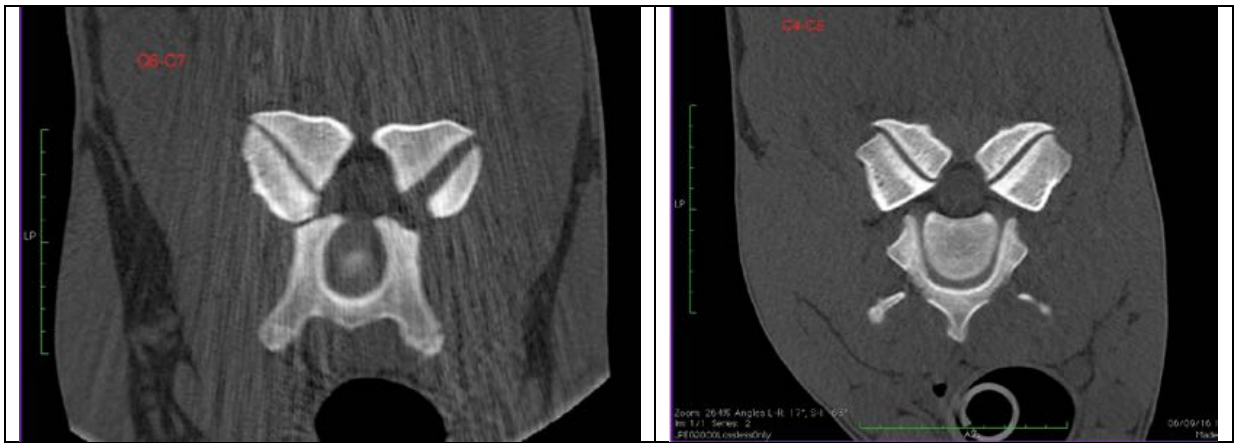
2. Les affections cervicales dégénératives associées à une boiterie ou à un défaut de performance

En l'absence de moyen diagnostique à disposition autre que *post-mortem*, il a longtemps été considéré que l'encolure pouvait être responsable d'une boiterie antérieure pour laquelle aucune douleur n'a été objectivée au niveau du membre (Ricardi & Dyson 1993, Marks 1999, Dyson 2011). Dans un deuxième temps, un lien a été réalisé entre boiteries antérieures sans signe d'ataxie et de faiblesse musculaire ni anomalie identifiable sur le membre et présence d'image radiographique cervicale anormale en particulier des processus articulaires (Ricardi & Dyson 1993).

La dégénérescence des ASIVE cervicales se caractérise par la présence d'une synovite avec épaississement de la capsule, possible développement d'un kyste synovial et d'un remodelage péri-articulaire aboutissant à une hypertrophie de l'articulation, laquelle peut entraîner une diminution de l'espace environnant au niveau du canal vertébral et du foramen intervertébral. Les symptômes consécutifs envisageables sont liés à une compression des structures nerveuses limitrophes : compression de la moelle épinière avec ataxie et faiblesse des membres postérieurs, compression d'une racine spinale cervicale avec douleur référée, possible boiterie antérieure et zone cutanée de sudation (Dyson 2011, Denoix 2013b).

La compression radiculaire a été confirmée par l'examen *post-mortem* ou par imagerie, mettant en évidence une diminution de la taille du foramen intervertébral, une neuropathie compressive d'une racine cervicale avec une prépondérance pour les étages cervicaux caudaux C6-C7 suivi de C5-C6 et C4-C5, C8-T1 n'étant pas toujours visible selon la qualité de l'imagerie (Moore et al. 1992, Ricardi & Dyson 1993, Sleutjens et al. 2014, Denoix 2013b, Denoix 2017). La figure A-1 montre une image scanner d'un cheval (source Pr Olivier Geffroy) ayant un remodelage de l'ASIVE C6-C7 avec diminution de la taille du foramen intervertébral.

Figure A-1 : Images scanner montrant une hypertrophie marquée de l'ASIVE C6-C7 gauche et modérée de la droite en comparaison avec des images normales de C4-C5



Le tableau clinique associé comprend (Dyson 2011, Denoix 2013b):

- un trajet rasant du membre dans la phase de soutien (arc abaissé),
- un raccourcissement de la phase antérieure de la foulée,
- une attitude en mouvement d'encolure raide et/ou étendue vers l'avant,
- une possible aggravation de la boiterie avec la présence du cavalier par rapport à la présentation en main ou en longe,
- une boiterie plus marquée sur le cercle à main opposée,
- une anesthésie intra-articulaire de l'ASIVE anormale améliorant partiellement la boiterie,
- des signes plus subtils tels qu'une tendance au trébuchement d'un ou des antérieurs ou à l'affaissement des postérieurs et un manque de propulsion postérieure lorsque la moelle épinière est aussi comprimée.

Une étude rétrospective sur la population des chevaux reçus en consultation de boiterie au pôle équin d'Oniris en 2010 et 2011 a identifié 143 chevaux ayant reçu un diagnostic d'affection cervicale à l'issue de la consultation (anamnèse, examen statique et dynamique, examen d'imagerie : radiographie/échographie) (Huault 2013). La population était constituée d'une majorité de chevaux de selle (Selle Français en premier) et de jeunes chevaux (50% <6 ans), femelles, hongres et mâles. La synthèse de l'examen clinique et par imagerie, toutes affections cervicales confondues, comprenait :

- pour l'examen statique, une diminution de la latéroflexion de l'encolure, une amyotrophie cervicale basse, la présence d'une zone cutanée hypo ou hyperesthésique à la palpation/pression en regard des processus articulaires ; un test de rétraction ou protraction rarement indicatif ;
- pour l'examen dynamique, la présence d'une boiterie chez 8 à 35% des chevaux selon les circonstances d'examen (sol mou/dur, ligne droite versus cercle, pas/trot), la situation la plus contraignante et ayant la plus haute prévalence d'expression de la boiterie antérieure étant l'examen sur sol dur au trot sur le cercle (35%) puis en ligne droite (28%) ; des signes d'ataxie chez 22,4% des chevaux ;
- pour l'imagerie, une prépondérance d'arthropathie des processus articulaires (60%) dont 94% sont situées en région cervicale caudale (C5-T1), souvent sur plusieurs sites avec C6-C7 le plus fréquent (95%) ; suivie par d'autres affections telles que les enthésopathies du ligament nuchal (32,6%) les discopathies essentiellement cervicales moyennes (14,5%), les malalignements vertébraux et subluxations cervicales (8,7%), les sténoses du canal vertébral (5,1%).

En retirant les chevaux ataxiques ne pouvant réaliser au complet les différentes situations de l'examen clinique, la prévalence d'une boiterie antérieure montait à 44,3% et le diagnostic lésionnel le plus souvent établi était l'arthropathie cervicale atteignant les étages vertébraux

desservant le plexus brachial (C5-T1) mais des boiteries ont été aussi identifiées avec des atteintes cervicales crâniales et moyennes (C2-C5).

Le mécanisme sous-jacent de la boiterie antérieure associée à des lésions cervicales chez le cheval a peu été étudié mais plusieurs auteurs mettent en avant des mécanismes identifiés chez l'homme. Les trois origines des boiteries sont retrouvées : une composante douloureuse, une composante mécanique/musculaire et une composante nerveuse. La contraction des muscles de l'encolure consécutive à la douleur articulaire au niveau des facettes pourrait altérer la locomotion en provoquant une réduction de la protraction de la scapula et de la phase antérieure de la foulée (Baxter 2011). La compression des racines du plexus brachial peut entraîner une radiculopathie à l'origine d'une cervico-brachialgie et/ou d'une faiblesse des muscles du membre antérieur dans son ensemble, épaule incluse (Dyson 2011). Le remodelage des ASIVE diminue la flexibilité de la colonne cervicale et impose de nouvelles contraintes mécaniques au cheval qui développe des stratégies de mouvements pour compenser ce défaut de souplesse et limiter la douleur (déplacement avec encolure basse, report du poids de l'encolure d'un côté….)

3. Options thérapeutiques

L'administration systémique d'anti-inflammatoires non-stéroïdiens avec une mise au repos est rarement associée à une réponse thérapeutique significative (Dyson 2011). Les traitements plus ciblés comme les injections écho-guidées intra ou péri-articulaires des ASIVE atteintes avec des corticostéroïdes semblent apporter une amélioration plus ou moins prolongée sur un à plusieurs mois (Dyson 2011, Birmingham et al. 2010, Martinelli et al. 2010). Les techniques d'injection intra-articulaire avec écho-guidage sont bien décrites mais les résultats thérapeutiques n'ont pas encore fait l'objet d'une évaluation prospective quantitative (Nielsen et al. 2003, Mattoon et al. 2004). Les données rétrospectives disponibles rapportent une amélioration des signes et des performances dans 70% des cas dans un groupe d'une centaine de chevaux présentés pour ataxie, raideur cervicale et/ou boiterie d'origine indéterminée avec un diagnostic de myélopathie compressive cervicale majoritairement (Birmingham et al. 2010). La publication des résultats de cette étude a été suivie d'un commentaire clinique par Martinelli et al. (2010) qui rapportent une utilisation des injections intra-articulaires des ASIVE cervicales pour le traitement des arthropathies cervicales des facettes articulaires chez 150 chevaux présentés pour baisse de performance, boiterie, raideur ou douleur avec environ 5% seulement de chevaux ataxiques (Martinelli et al. 2010). Les ASIVE injectés sont majoritairement C6-C7 (74%) puis C5-C6 et C6-C7 (21%) et C4-C5, C5-C6 et C6-C7 (5%). Le succès thérapeutique est énoncé en terme de retour d'expérience de la part des propriétaires et cavaliers qui observent communément une diminution à disparition de comportement « sur l'œil » (spooky) et d'une meilleure volonté à un franc enthousiasme au travail. La classe thérapeutique la plus utilisée pour les injections intra-articulaires des ASIVE cervicales est constituée par la famille des corticostéroïdes (méthylprednisolone, triamcinolone). Les autres produits utilisés incluent pour la voie intra-articulaire les sérums autologues conditionnés, le sarapin, l'acide hyaluronique, l'amikacine ; et par voie systémique les anti-inflammatoires non-stéroïdiens et l'acide hyaluronique. Les autres traitements complémentaires comprennent l'acupuncture, les massages, les manipulations ostéopathiques, les ondes de choc, l'application de couvertures magnétiques. Une adaptation du travail est aussi la plupart du temps implémentée.

Les corticostéroïdes ont aussi été utilisés de façon anecdotique par voie péridurale lors d'une suspicion de compression radiculaire cervicale sur 3 cas (Marks 1999). Les injections ont été réalisées sous anesthésie générale par introduction et avancement d'un cathéter dans l'espace péridural dorsal à partir de l'espace atlanto-occipital. Sur les 3 cas, 2 ont été franchement améliorés après une seule injection et le troisième partiellement après 3 injections successives à 4-6 semaines d'intervalle mais suffisamment pour reprendre une activité de saut de petit niveau.

Finalement, un traitement chirurgical de stabilisation vertébrale est envisageable en particulier lorsqu'une myélopathie compressive est associée aux arthropathies des ASIVE en raison de l'instabilité cervicale consécutive. Il s'agit d'une intervention très invasive avec des résultats inconstants en fonction des grades d'ataxie et de la discipline sportive du cheval. Etant donné le contexte médical de notre étude, il est choisi de ne pas développer plus les indications et résultats de cette option thérapeutique.

Les arthropathies des ASIVE cervicales caudales chez le cheval ont été identifiées comme causes de boiterie antérieure et radiculopathie compressive. La présentation clinique est incomplètement précisée. Les options thérapeutiques et leurs résultats ont fait l'objet de peu d'investigations.

B. La radiculopathie cervicale compressive chez l'homme

La radiculopathie cervicale chez l'homme est un syndrome clinique incluant une douleur et/ou un déficit sensorimoteur suite à la présence d'une compression d'une racine nerveuse cervicale (Caridi et al. 2011). La compression peut être consécutive à une hernie discale, à de la spondylose, à une instabilité ou un trauma cervical ou encore plus rarement à une tumeur. Les étages les plus souvent atteints correspondent aux étages cervicaux caudaux (C5-C7). La présentation clinique lorsqu'elle intéresse une ou plusieurs racines du plexus brachial (racines C5 à T1 chez l'homme) comprend des signes allant de la douleur, de l'engourdissement ou des picotements au niveau du membre supérieur jusqu'à des décharges douloureuses de type électriques et de la faiblesse du membre. D'autres symptômes douloureux sont inconstants comme les douleurs cervicales et les céphalées voire parfois des douleurs localisées à l'épaule. Il s'agit d'une maladie très débilitante ayant des répercussions physiques et psychologiques à long terme en raison de la présence d'une douleur chronique et d'une altération consécutive du fonctionnement social de l'individu.

Chez l'homme comme dans les autres mammifères, les nerfs cervicaux émergent de la moelle épinière et sont orientés obliquement dans une direction caudale vers leur foramen intervertébral respectif et sortent crânialement à la vertèbre du même segment (nerf C7 sortant entre les vertèbres C6 et C7, nerf C8 sortant entre les vertèbres C7 et T1). Le foramen vertébral est constitué par les processus articulaires et leur articulation dorsalement (postérieurement dans la littérature humaine), le disque intervertébral ventralement (antérieurement), les pédicules des corps vertébraux crânialement et caudalement (bords supérieur et inférieur). Les foramen sont larges en région cervicale crâniale et deviennent progressivement plus étroits en région caudale, le foramen C7-T1 étant le plus étroit chez l'homme. Les causes les plus courantes de compression de la racine nerveuse cervicale sont la spondylose de l'articulation des processus articulaires (ASIVE) et la hernie discale. Une hyper-mobilité des ASIVE cervicales entraîne une hypertrophie ligamentaire et un remodelage osseux hypertrophique qui réduit l'espace autour du nerf juqu'à la compression. Les hernies discales causent une compression ventrale de la racine nerveuse au niveau du foramen.

Le diagnostic est réalisé à l'issue de l'anamnèse dans une majorité de cas avec la présence d'une douleur et d'une paresthésie dans le bras. Une localisation de l'étage cervical peut être recherchée en analysant les dermatomes affectés et les muscles affaiblis mais n'a pas une bonne corrélation (moins de 50%) entre plages de douleur référée et distribution dermatomale classique (Anderberg et al. 2006). Une douleur cervicale est présente de façon inconstante. Le diagnostic lésionnel, réalisé par IRM, permet d'évaluer le mieux les tissus mous autour des vertèbres cervicales même si le scanner est plus adapté à l'évaluation de la composante osseuse (Caridi et al. 2011). L'électromyographie est utilisée comme méthode complémentaire de l'imagerie pour aider

à localiser l'étage lorsque les images ne permettent pas de conclure ou pour le diagnostic différentiel avec les neuropathies périphériques.

Le traitement comprend une gestion non chirurgicale initialement avec une issue favorable dans la majorité des cas. L'option chirurgicale est envisagée en cas d'échec du traitement conservateur ou lors de présentation clinique d'atteinte neurologique sévère. Les traitements conservateurs sont multiples de l'immobilisation avec une minerve à la physiothérapie en passant par les thérapies manuelles et instrumentales : la chaleur, le massage, les mobilisations les ultrasons et le TENS. L'intervention thérapeutique médicale la plus courante est l'infiltration péri-radiculaire à épidurale de corticostéroïde. Le traitement chirurgical consiste en la décompression radiculaire et en la stabilisation du segment vertébral. Il s'agit d'une chirurgie lourde qui présente un bon taux d'amélioration des symptômes mais qui n'est pas sans des complications potentielles graves en particulier lors l'abord ventral pour le traitement des hernies cervicales. Il est donc réservé aux cas pour lesquels toutes les options conservatrices ont échoué.

En terme de médecine comparée, des similitudes sont retrouvées entre espèces. Les radiculopathies cervicales compressives sont principalement dues chez le cheval au remodelage des ASIVE (spondylose des processus articulaires) alors qu'elles sont consécutives aux hernies discales et arthropathies des ASIVE chez l'homme et majoritairement aux hernies discales chez le chien (Giambuzzi et al. 2016).

C. Pathophysiologie de la compression radiculaire cervicale

(Rydevik et al. 1984, Slipman et al. 2000, Tanaka et al. 2000)

Les racines nerveuses à leur émergence de la moelle épinière ont des faisceaux accompagnés de leurs vaisseaux nourriciers, ne sont pas recouverts de périnèvre et ont un épinèvre peu développé ce qui les rend particulièrement vulnérables aux traumatismes mécaniques et chimiques. Les traumas mécaniques sont directement dus aux compressions du tissu neural ou secondaires aux troubles de l'apport sanguin et nourricier des nerfs. La compression des larges plexus veineux dans le foramen résultant en une stase veineuse provoque une congestion, une ischémie, un œdème intra-neural et une augmentation de la pression intra-neurale. La compression mécanique du tissu nerveux aboutit à un œdème intra-neural par augmentation de la perméabilité de la microvasculature endoneurale. Les racines nerveuses sensitives ont une sensibilité particulière aux effets de l'augmentation de la pression intra-neurale. Il a été démontré que la compression de racines nerveuses irritées entraîne des décharges prolongées des fibres nerveuses compatibles avec la production d'un signal nociceptif. De même, le ganglion dorsal de la racine a des décharges répétitives à la suite d'une compression minimale même en l'absence d'irritation. Il présente une sensibilité particulière lors de trauma mécanique chronique. Un processus compressif chronique et des insultes mécaniques à répétition des racines nerveuses provoquent un état d'inflammation et de fibrose. Une irritation chimique et inflammatoire se rajoute du fait de la fuite et de la dispersion de substances inflammogènes et de neuropeptitdes libérés par les structures cervicales dégénératives (cytokines synoviales des ASIVE, du disque…). La compression mécanique a pour origine la protrusion d'un disque intervertébral, la présence d'ostéophytes, l'hypertrophie des processus articulaires, du ligament jaune et des tissus fibreux péri-radiculaires.

D. L'injection péri-radiculaire cervicale sélective en médecine humaine

La technique d'injection péri-radiculaire cervicale a été développée par Kikuchi dans les années 80 afin de réaliser une anesthésie diagnostique de la racine nerveuse responsable de la douleur suite à l'identification d'une mauvaise corrélation entre stabilisation chirurgicale à partir du diagnostic radiographique/myélographique et disparition du syndrome douloureux. L'étude initiale a été développée sur des cadavres de chiens puis d'humains avec l'injection péri-radiculaire de produit de contraste.

1. Anatomie de la racine nerveuse cervicale

Dans l'espace péridural, la membrane épidurale recouvre les méninges, est attachée au ligament jaune et se confond avec la couche superficielle du ligament longitudinal ventral. Les racines nerveuses cervicales sont entourées d'une gaine épi-radiculaire qui correspond à un épaississement fibreux de la membrane épidurale. Cette gaine s'attache de façon lâche aux racines mais fermement au périoste des processus transverses et sur les muscles scalènes puis se continue par un tissu conjonctif lâche autour des nerfs périphériques en formant l'épinèvre au niveau du plexus brachial.

2. Infiltration des racines cervicales sur cadavres avec produit de contraste

Dans l'étude initiale sur cadavre de chiens (Kikuchi et al. 1981), le produit de contraste a diffusé à la périphérie du nerf sous la gaine péri-radiculaire et épineurale mais aussi proximalement entre la membrane épidurale et les méninges. Les mêmes observations ont été faites sur les cadavres humains et ont amené les auteurs à conclure que le produit de contraste diffusait d'une façon tubulaire.

3. Description de la technique d'injection par Kikuchi et al. 1981

L'injection péri-radiculaire est réalisée sous contrôle radiographique avec trois approches possibles :

- une approche antérieure (ventrale) utilisée pour les discographies ;
- une approche latérale avec placement de l'aiguille en visant le processus transverse et redirection dorso-médiale vers le foramen intervertébral ;
- une approche postérieure (dorsale) plus difficile à réaliser en particulier au niveau C6-C7 en raison de l'épaisseur des tissus mous.

L'aiguille est mise en place contre la racine distalement par rapport à son émergence du foramen. Une petite quantité de produit de contraste est injectée pour vérifier le bon placement par l'obtention d'une image de diffusion tubulaire. Les complications possibles sont la ponction d'un vaisseau sanguin (artère ou veine), la pénétration des méninges et un traumatisme de la moelle épinière ou encore la pénétration intra-pleurale avec risque de pneumothorax. Une aspiration test pour confirmer l'absence de liquide cérébro-spinal ou de sang est réalisée avant l'injection.

4. Anesthésie sélective de la racine cervicale

La technique d'injection péri-radiculaire a été développée à la fois dans un but diagnostique et thérapeutique. Pour le diagnostic topographique de la racine source de la symptomatologie douloureuse, un anesthésique local est injecté. Un bloc sensitif sélectif peut être obtenu sans effet moteur selon la concentration utilisée de l'anesthésique local (lidocaïne, mépivacaïne ou bupivavcaïne). Dans un nerf mixte (comme un nerf spinal), un bloc progressif des sensations nociceptives, puis du toucher, de la température, de la pression profonde et finalement un bloc moteur s'installent au fur et à mesure que la concentration de l'anesthésique augmente. Lors de l'anesthésie péri-radiculaire, le bloc s'installe par diffusion vers la zone péri-radiculaire qui comprend, en plus de la racine, les fibres nociceptives issus des structures périphériques (ASIVE et musculature profonde) et rejoignant la racine ciblée (Anderberg et al. 2004). L'anesthésie péri-radiculaire sélective est largement utilisée dans de nombreuses affections spinales : douleur dorsale lombaire et cervicale, syndromes douloureux liées au affections des ASIVE lombaires et cervicales, douleur discogénique et radiculaire (Anderberg et al. 2006)

5. Traitement de la douleur et de l'inflammation avec les injections péri-radiculaires cervicales

Les traitements par infiltration se sont largement développés depuis les années 1990 avec de nombreuses études cliniques qui ont évalué les effets à plus ou moins long terme avec, selon les études, des critères différents et des résultats aussi variables allant de la bonne efficacité à l'échec thérapeutique. Les études les plus importantes sont décrites dans le tableau D-1.

Les infiltrations thérapeutiques comprennent généralement une association d'un corticostéroïde et d'un anesthésique local. Les mécanismes d'action thérapeutique de l'anesthésique local rapportés par les auteurs incluent :

- un effet anti-inflammatoire et son mode d'action central diminuant l'hyperalgésie secondaire (Anderberg et al. 2006) ;
- un effet anti-inflammatoire de la lidocaïne par inhibition de l'activité leucocytaire sur les traumas de la racine nerveuse induite par le *nucleus pulposus* (Anderberg et al. 2007, Yabuki et al. 1998)
- une amélioration du flux sanguin local et une diminution du dysfonctionnement nerveux au niveau des racines traumatisées par la lidocaïne (Slipman et al. 2000).

Les stéroïdes ont un effet anti-inflammatoire et analgésique par stabilisation de l'activité de la membrane neurale et par un effet anesthésique direct sur les petites fibres nerveuses nociceptives de type C (Slipman et al. 2000). Toutefois, les injections péri-radiculaires de stéroïdes ont été associées à des complications d'infarction de la moelle épinière, du tronc cérébral et du cervelet avec la suspicion de mécanisme sous-jacent de vasospasme ou de traumatisme d'une artère vertébrale, d'embolie gazeuse ou de particules lors d'une injection d'une suspension. L'utilisation de solution aqueuse de stéroïde est conseillée (Ito et al. 2015). Le test d'aspiration avant injection a montré une spécificité de 97% lors d'une aspiration positive de sang mais une sensibilité de seulement 46% lors d'injections épidurales transforaminales (Furman et al. 2003).

Tableau D-1 : Synthèse des études principales sur l'injection péri-radiculaire cervicale sélective chez l'homme

Authors Aims	Symptoms- Pain Diagnosis	Injection Technique	Products injected	Results
SNRB anesthesia for diagnosis or surgical intervention on clavicle				
Kikuchi et al (1981) J Bone Joint Surg				
Localization of symptomatic cervical disc degeneration before anterior cervical fusion surgery	Cervico-brachial pain	Anterior approach Radiographic control	Needle striking the root reproduces the pain Contrast media to confirm placement 1 ml Lidocaine 1% to confirms loss of symptoms	Discography and nerve root block used to determine site of surgery
Slipman et al. (2001) Pain Physician				
Diagnostic SNRB 24 patients	Whiplash induced cervical pain attributed to disc pain, facet joint pain or nerve root pain	Lateral approach Medial to base of articular process (not in the foramen) Fluoroscopy	0,5-0,75 ml Lidocaine 2%	21/22 patients with diagnostic confirmation by SNRB
Säveland et al. (2004) Acta Neurochir				
Diagnostic SNRB Correlation clinical symptoms/MRI-pathology (disc herniation / spondylosis) on single cervical segment before anterior surgical procedure 20 patients	Cervical radicular pain (sensory or motor deficit or both) One sided radiculopathy with corresponding single level MRI pathology (soft disc / spondylosis) 4 EMG testing with 3 demonstrating nerve root involvement	Lateral approach Fluoroscopy Lateral view with facet alignment in cranio-caudal and anterio-posterior direction, needle aimed at the floor of the sulcus nervi spinalis of the transverse process then anterio-posterior vue to place the tip of the needle at the lateral end of the transverse process where the nerve is leaving the sulcus (well beyond the area of vertebral artery and veins and CSF space)	Radiating sensation when needle touching the nerve root 1 ml Mepivacaine 1% 3 tests with 1 ml iohexol after LA showing tubular spread without affection of adjacent roots	Pain: VAS before and after pain provocation by active neck motion Evaluation 30 min after block Arm pain VAS 88% mean reduction Neck pain VAS 65% mean reduction Also î VAS after pain provocation and for shoulder pain **Possible sensory and motor signs for 1-2 h (5/20 patients)** Radicular and neck pain correlated to MRI diagnosis location but not always 100% relief
Shanthanna (2014) Indian J Anaesth				
U/S guided C5 SNRB and superficial brachial plexus (C1-C4) block	Clavicle Surgery	U/S + nerve locator	8 ml ropivacaine 0,5% for plexus and 2 ml for SNRB	Efficacious
SNRB for pain source identification and treatment				
Anderberg et al. (2005) Eur Spine J				
Diagnostic SNRB 2 cervical same side levels degenerative signs (disc) on MRI with close relation to nerve root	Cervical radicular pain Possible sensory and/or motor deficits, shoulder pain, headache	Lateral approach, transforaminal Fluoroscopy Needle placement perineurally in the vertebral foramen confirmed by contrast media Done at both levels	0,5 ml Mepivacaine 1%	Pain: VAS 30 min before, 30 min post block and 4h later done for the 2nd level Correlations SNRB-most severe MRI level 60% Pain distribution in arm-classical dermatomes 24% 1 patient with radicular pain C8 with no MRI finding, positive response to SNRB

Tableau D-1 suite

Authors Aims	Symptoms- Pain Diagnosis	Injection Technique	Products injected	Results
Anderberg et al. (2006b) Eur Spine J				
Distribution patterns of transforaminal injections in cervical spine 9 patients	Cervical radiculopathy (C6, C7, C8 nerve roots)	Lateral approach, transforaminal Fluoroscopy Needle placement perineurally in the vertebral foramen confirmed by contrast media (0,1 ml iohexol) as test injection than 0,1 ml mixed with LA and steroid (Depomedrol) CT scan	0,5 ml Mepivacaine 1% (lower volume to avoid Se and Mo blockade, only pain fibers) or 1 ml Mepivacaine 1% or 1 ml Steroid + 0,5 ml Mepivacaine	Perineural, intraforaminal and extraformaminal distribution for the 3 volumes Perineural 19 to 49 mm (mean 36) in length without a correlation to volume 0,6 ml considered selective of the root (although 25% of circumference of above root seen with contrast medium) 1,1 ml more spread to above root 1,7 ml spread to above and below roots, intraspinal/epidural spread systematically, up to the contralateral side Common nerve sheath existing between nerve roots at level of the scalene triangle, the contrast medium follow distally the nerve sheath and can affect the adjacent nerve root
Anderberg et al. (2006a) Eur Spine J				
Comparison Steroid/LA versus LA only for transforaminal injections in cervical spine 40 patients	Cervical radiculopathy with arm pain distal to elbow, one or 2 cervical site SNRB + MRI concordance	Transforaminal Fluoroscopy Correct needle placement confirmed by contrast media	0,5 ml Mepivacaine 1% + 1 ml Depomedrol (40 mg) or 1 ml Mepivacaine 1% + 1 ml NaCl 0,9%	No difference in improvement at one week and 3 weeks between treatments Discussion Placebo effect? On fact of repeating twice SNRB with LA (diag block then treatment) Inefficacy of steroid reported in other studies Consider separating different causes of root compression/inflammation to evaluate better treatment effect
Slipman et al. (2000) Arch Phys Med Rehabil				
Diagnostic SNRB and therapeutic SNRB LA + steroids 20 patients	Cervical spondylotic radicular pain	Lateral approach Base of articular process (not in the foramen) for diagnostic Closer to foramen for treatment Fluoroscopy, contrast media 0,5-0,75 ml iohexol	0,5-0,75 ml Lidocaine 2% for diagnostic, 0,5 ml lidocaine 1% with steroids	60% of good to excellent outcome over 24 months No details on immediate effects
Ito et al. (2015) Nagoya J Med Sci				
Therapeutic intradiscal/SNRB with steroid 161 patients	Cervical radiculopathy (cervical spondylotic or discogenic radiculopathy)	Fluoroscopy iohexol to confirm position Anterolateral approach for SNRB	1 ml bethamethasone sodium phosphate 0,4% + 1ml lidocaine 2% intra disc and 0,5 ml/0,5 ml for SNRB	Effectiveness of 89% for arm pain, 77% for arm numbness, 82% for neck and/or scapular pain, 76% for arm paralysis

Tableau D-1 suite

Authors Aims	Symptoms- Pain Diagnosis	Injection Technique	Products injected	Results
SNRB under ultrasonographic guidance or U/S versus fluoroscopy				
Yamauchi et al. (2011) Pain medicine				
U/S guided cervical SNRB 10 cadavers 12 patients	Mono-cervical radiculopathy	U/S linear 13-6 MHz Short axial view of target nerve root surrounded by anterior and posterior tubercles of transverse process Confirmation of vessel location with Doppler Insulated needle by in-plane approach toward posterior edge of nerve root located inside of the posterior tubercle Nerve locator 2Hz 100micros pulse width 0,8 mA Evoked response between 0,4-0,8 mA considered good location Confirmation by 0,5 ml saline injection under U/S and 2 ml contrast medium and fluoroscopy	2 ml Ropivacaine 0,375% + dexamethasone 4 mg (1 ml) 2 ml blue dye on cadavers C5, C6, C7	Needle tip didn't reach the vertebral arch pedicle on fluoroscopy Contrast medium spread along roots as extraneural pattern 10/12 Along scalene muscles (myogram) 2/12 No epidural spread Pain relief 100% at 2 and 6h Sensory and motor block for a few hours Injection more distal on NR compared to traditional fluoroscopic technique Dye: U/S guidance 100% spread along nerve roots outside of intervertebral foramen
Park et al. (2013) Ann Rehab Med				
U/S guided SNRB Transforaminal 114 patients	Lower cervical radicular pain (herniated IV disc, foramen stenosis)	Fluoroscopy versus U/S 6-12 MHz Transverse scan image of transverse process C7 rudimentary anterior tubercle + prominent posterior tubercle Needle insertion parallel to probe, post to anterior direction, dorsal to nerve Contrast medium and fluoroscopy to confirm location	1-2 injections at 15 days Lidocaine 1% 1 ml test to insure no intravascular injection Dexamethasone 2 ml (10 mg) + 1 ml Lidocaine 0,5%	No difference between imaging mean Spread of contrast medium 70% distal portion only with U/S 30% intraspinal epidural space with U/S 100% intraspinal epidural space with fluoroscopy 3 cases of intravascular injection with fluoroscopy Discussion on: is the contrast medium spread equivalent to the drug spread?
Takeuchi (2014) Neurol Med Chir				
U/S guided SNRB for transforaminal epidural injections C5, C6, C7, C8 43 patients	Cervical radicular pain CT or MRI level location (disc herniation, osteophytes compressing cervical nerve root)	U/S 13-6 MHz linear probe Axial image Nerve located at the inside of the posterior tubercle Nerve strike to elicit radiating pain	1,5 ml lidocaine 2% + 0,5 ml (2 mg) bethametasone sodium phosphate 1 to 2 injections	Immediate disappearance of radicular pain (within 10 min) 39/41 Decreased VAS score at 1 month (88 to 39) 62% had pain relief longer than 3 months up to 10-24 months U/S technique: identification of carotid artery and C7 then considered safer because possible to see major vessels around nerve root, 2 unsuccessful identification of the root C8 more difficult to visualize

6. Evolution de la technique d'injection et des pratiques

Anderberg et al. (2006b) a montré qu'une injection, transforaminale de C6, C7 ou C8 chez l'homme par approche latérale sous fluoroscopie, était sélective de la racine cible avec un volume d'injection de 0,6 ml alors que les volumes de 1,1 et 1,7 ml diminuait la sélectivité avec une diffusion vers les racines adjacentes proximale et distale ainsi qu'une diffusion

instraspinale/péridurale systématique avec le volume le plus grand jusqu'au côté controlatéral. La longueur de diffusion du produit de contraste le long de la racine était variable et ne semblait pas corrélé au volume. Les injections transforaminales ont été initialement préférées et jugées plus efficaces en raison d'une meilleure diffusion péridurale (en particulier dans l'espace péridural ventral) et d'une déposition du principe actif au plus proche de la source d'irritation ou de la racine nerveuse irritée par rapport aux injections péridurales classiques par abord dorsal (approche interlaminaire entre les processus épineux) (Park et al. 2013).

L'approche latérale chez l'homme est la plus utilisée car jugée la plus facilement réalisable et la moins traumatique (Anderberg et al. 2005 et 2006, Slipman et al. 2000 et 2001, Saveland et al. 2004, Yamauchi et al 2011, Park et al. 2013, Takeuchi et al. 2014). La technique qui visait initialement à placer la pointe de l'aiguille dans le foramen (injection transformainale, Anderberg et all. 2005, 2006 et 2007) a évolué vers un positionnement de l'aiguille plus distalement sur le nerf en regard du rameau ventral du nerf spinal (donc distalement à la racine du nerf spinal) au niveau des processus transverses initialement toujours avec le contrôle fluoroscopique afin d'éloigner l'aiguille des vaisseaux péri-radiculaires (Slipman et al. 200 et 2001, Säveland et al. 2004), puis à la suite du développement du guidage par échographie avec comme repère le passage du nerf à proximité des processus transverses (Yamauchi et al 2011, Park et al. 2013, Takeuchi et al. 2014). La technique par écho-guidage a été associée à moins d'injection intravasculaire, une diffusion péridurale inconstante (0% pour Yamauchi et al. 2011, 30% versus 100% avec la fluoroscopie pour Park et al. 2013) et une efficacité équivalente (Park et al. 2013).

L'ensemble de la littérature ne fait pas de différence de terminologie de la structure nerveuse cible entre l'injection péri-radiculaire dans le foramen et l'injection péri-nerveuse principalement du rameau ventral du nerf spinal (*ramus ventralis*) issu de la racine cervicale sur son cours entre le bord latéro-ventral des processus articulaires (sortie du foramen) et les processus transverses qu'il contourne avant de rejoindre le plexus brachial. Dans les deux cas, le terme de racine cervicale (« cervical nerve root ») est utilisé.

7. Complications des injections péri-radiculaires ou péri-nerveuses cervicales chez l'homme

Initialement, Kikuchi et al. n'ont reporté aucune complication liée à l'injection péri-radiculaire sélective cervicale (IPSC). Suite à la publication de cas rapportant des complications neurologiques centrales graves, des études rétrospectives puis prospectives de l'incidence des complications des IPSC ont été entreprises. Les premières données prospectives ont été présentées dès 1996 mais publiées plus tardivement par Huston et al. en 2005 à la fois sur les injections cervicales et lombaires.

Les complications graves ont été qualifiées de rares et ont été liées à la technique d'injection et/ou à la nature du stéroïde injecté (Anderberg et all 2005, Huston et al. 2005, Hodler et al. 2013) :

- Injection sous-durale qui peut entraîner un bloc spinal temporaire avec hypotension lors de l'administration d'un anesthésique local ;
- Injection intravasculaire dans l'artère vertébrale ou l'artère radiculaire et/ou traumatisme artériel (dissection), en particulier de l'artère basilaire pouvant résulter en une thromboembolie jusqu'à l'infarction de la moelle épinière (myélopathie ischémique) et du cérébellum (atteinte du territoire vertébrobasilaire). La présentation clinique est un tétraparésie temporaire à définitive mais peut aller jusqu'au décès de l'individu. La nature particulaire du stéroïde injecté (suspension) a été mise en cause. L'injection intra-artérielle d'anesthésique local a été liée au développement d'une quadriplégie temporaire.

L'étude prospective de Huston et al. a permis de suivre la survenue de complications en fonction des étapes du traitement et d'évaluer leur incidence plus précisément. Elle n'a pas répertorié de complications graves comme la tétraparésie ou la mort :

- Complications pendant la procédure (étourdissement 2,2%, ponction durale 1,1%, nausée 1,1%) ;
- Complications dans la salle de réveil (augmentation de la douleur au point d'injection 22,7%, augmentation de la douleur radiculaire 18,2%, étourdissement 13,6%, augmentation de la douleur vertébrale 9,1%, céphalée non spécifique 4,5%, nausée 3,4%) ;
- Complications à une semaine (persistance de la douleur au point d'injection et de céphalée)
- Complications à 3 mois (persistance d'une douleur vertébrale augmentée 1,3%).

Les injections étaient réalisées sous fluoroscopie avec injection test de produit de contraste pour valider le bon placement de l'aiguille et d'un anesthésique local pour confirmer le diagnostic.

Hodler et al. rapportent en 2013 deux cas de tétraparésie avec séquelles graves à long terme suite à une injection extraforaminale de stéroïde particulaire (triamcinolone). Depuis la FDA (Food and Drug Administration) a émis une contrindication à l'utilisation des stéroïdes particulaires (méthylprednisolone, béthaméthasone et triamcinolone) pour l'injection péridurale par voie transformaminale chez les patients souffrant de cervicalgie (Makkar et al. 2016).

Les recommandations actuelles pour les IPSC sont les suivantes (Hodler et al. 2103, Yamauchi et al. 2011) :

- Information du patient sur le risque de complications graves (estimé à 1 : 3500) ;
- Indication thérapeutique pour une douleur radiculaire réfractaire aux traitements conservateurs classiques et dont l'origine cervicale est confirmée par l'imagerie ;
- Une approche postérieure par l'aspect antério-latéral des processus articulaires (approche dorsale avec orientation dorsolatérale-ventromédiale de l'aiguille) en fluoroscopie puis une injection extraforaminale sur le bord dorsolatéral du tronc nerveux pour éviter les vaisseaux péri-radiculaires ou
- Une approche plus distale du tronc nerveux par écho-guidage en regard des processus transverses avec vérification Doppler de l'absence de vaisseaux pour une meilleure sécurité, sachant que la diffusion péridurale après injection extraforaminale est inconstante et n'a pas été reliée à une efficacité supérieure ;
- L'utilisation de stéroïde non particulaire (dexaméthasone) même si les stéroïdes particulaires semblent être associés à une efficacité légèrement supérieure aux non particulaires (Makkar et al. 2016)

8. Approche comparée

Un rapport de 5 cas cliniques de hernie cervicale latéralisée (C3-C4, C5-C6 et C6-C7) chez le chien, provoquant une douleur cervicale et une boiterie antérieure dues à une radiculopathie compressive confirmée par l'image scanner, met en avant l'option thérapeutique d'une injection péri-neurale sous guidage fluoroscopique de méthylprednisolone avec une approche dorso-latérale pour déposer la solution à l'entrée du foramen intervertébral (Giambizzi et al 2016). Une amélioration clinique marquée a été objectivée immédiatement dans 4 cas sur 5 et modérée pour le dernier cas. La période de disparition des signes de douleur s'est étendue sur 18 mois à 4 ans. Le premier cas a reçu en plus du corticoïde de la bupivacaïne (1 mg/kg) qui a entraîné une paralysie respiratoire temporaire probablement par migration péridurale. L'association des 2 molécules n'a pas été poursuivie.

E. Anatomie de l'encolure et du membre antérieur du cheval

Ce chapitre rassemble les informations pertinentes pour l'étude expérimentale anatomique et *in vivo* :

- Anatomie cervicale caudale et du plexus brachial,
- Anatomie fonctionnelle musculaire du membre antérieur en station et en locomotion.

1. Anatomie du plexus brachial chez le cheval

Le plexus brachial correspond à la convergence des rameaux ventraux des derniers nerfs cervicaux et des premiers thoraciques dont émergent après échanges et réorganisation de leur faisceaux les nerfs du membre thoracique et des parties adjacentes du thorax (Barone 2010). Chez le cheval, il est constitué des racines ventrales des nerfs spinaux C7 (C6) à T2. Une synthèse de la contribution de chaque racine dans le plexus et de ses nerfs émergeants selon les auteurs est présentée dans les tableaux E-1 et E-2. Les descriptions du plexus dans les livres d'anatomie ne sont pas toujours complètes et ne précisent pas systématiquement la source de l'information ni la spécificité de chaque espèce pour chaque nerf.

La présentation adoptée quant à la séquence des nerfs correspond à celle de Barone en fonction de la destination des nerfs (paroi thoracique ou membre antérieur) et de la fonction des muscles innervés (abduction/extension ou adduction/flexion). Seuls les résultats des travaux expérimentaux de Magilton sont présentés dans le tableau, sa synthèse bibliographique n'apportant pas d'information supplémentaire en comparaison avec les autres auteurs.

Les racines cervicales et thoraciques du plexus et des nerfs émergeant du plexus sont décrites en fonction de leur(s) racine(s) principale(s) et accessoire(s) (participation constante mais moindre en nombre de fibres) ainsi que leurs racines inconstantes (décrites par le signe ±). Le caractère accessoire ou inconstant n'est pas toujours différencié par les auteurs au contraire de Barone qui a la présentation le plus systématique même si les particularités des équidés ne sont pas toujours différenciées des ruminants, porcins ou chiens.

La compilation des données bibliographiques dans le tableau E-1 des auteurs cités dans le tableau E-2 correspond à une tentative d'identifier les racines principales des nerfs du plexus chez le cheval. Elle est présentée dans le tableau E-3. A part le nerf médian pour lequel une racine latérale et une racine médiale sont décrites et positionnées respectivement crânialement et caudalement au sein du plexus l'une par rapport à l'autre, la position des racines des nerfs au sein du rameau ventral du nerf spinal n'est pas décrite en détail (positionnement superficiel ou profond, crânial ou caudal).

Abréviations utilisées dans le tableau E-1 :

Pcpl : participation principale
Faible : participation faible (accessoire)
± : participation inconstante

Tableau E-1 : Synthèse bibliographique de l'origine, la composition et la distribution du plexus brachial chez le cheval

BARONE	MANSOUR	GUETTY	BUDRAS	MAGILTON *(Dissection)*	MONTANE	SMALLWOOD	NICKEL	DYCE	BEAVER
Plexus brachial									
C6-T2 C6, T2 faible	C6-T2 Pcpl C7-T1		C6-T2	C6-T2 Pcpl C7-T1	C6-T2 C6 faible	C6-T2	C6-T2		
Nerfs destinés à la paroi thoracique									
Nerf dorsal de la scapula									
C6									
Nerf subclavier									
C6-C7		C7-C8		C7-C8					
Nerfs pectoraux crâniaux									
C6-C7 ± C8				C7-C8 ± T1					
Nerf thoracique long									
C7 ± C6 ou C8		C7-C8 ou C8-T1	Pcpl C7-C8	C7-C8 ou C8-T1		C8-T1	C7 ou C8		C6-C7
Nerf thoracodorsal									
C8 ± C7 ou T1		C8 ± T1	Pcpl C8	C8 ou C8- T1					C8 ±T1
Nerf thoracique latéral									
C8-T1 ± T2		T1-T2 ± C8	Pcpl C8-T1	T1-T2 ± C8			C8-T1		C6-C7
Nerfs pectoraux caudaux									
C7-T1 ± T2		C7-C8 ± T1							
Nerfs destinés au membre antérieur contrôlant l'abduction et l'extension									
Nerf supra-scapulaire									
C6-C8 C8 faible		C6-C7	C6-C7	C6-C7	C6-C7	C6	C6-C8	C6-C7	C6-C7
Nerf axillaire									
C7-C8		C7-C8 ± C6	Pcpal C7-C8	C7-C8 ± C6	C8		C7-C8	C8	C7-C8 ± C6
Nerf radial									
C6-T1 Pcpl C8-T1 ou C7-C8 ou C7-T1 ± T2		C8-T1 ± C7	C7-T1	C8-T1 ± C7	T1		C7-T1	C7-T1	C8-T1 ± C7
Nerfs destinés au membre thoracique contrôlant d'adduction et la flexion									
Nerfs subscapulaires									
C6-C7 ± C8		C7 ± C6	Pcpl C6-C7	C7 ± C6	C7				C7 ± C6
Nerf musculo-cutané									
C7-C8 + C6 faible		C7-C8	Pcpl C7 C6-C8	C7-C8	C7-C8		Pcpl C7 + C6, C8	C7- C8	C7-C8
Nerf médian									
Racine latérale C8 + C7 faible Racine médiale T1 + T2-C8 faible	C8-T2	C8-T2 ± C7	Pcpl C8-T1 C7, T2 faible	C8-T1-T2 ± C7	Pcpl C8 T1-T2		C8-T2 ± C7	C8-T1	C8-T2 ± C7
Nerf ulnaire									
T1, T2 faible ± C8		T1-T2 ou T1	Pcpl C8-T1 ± T2	T1-T2 (ou T1)	T1-T2		C8-T2	C8- T2	T1-T2

Tableau E-2 : Références bibliographiques sur l'anatomie du plexus brachial chez les animaux

Auteur et références
BARONE R. 2010 – Paris, Vigot Anatomie comparée des mammifères domestiques tome 7 – neurologie II
BEAVER B. 1980 – The Iowa State University Press Comparative anatomy of domestic animals, a guide – p40-47
BUDRAS K-D, SACK WO, ROCK S. 2009 – fifth edition, Hannover, Schlütersche Anatomy of the horse
DYCE – SACK – WENSING. 2002 – 3rd edition, Philadelphia, Saunders Textbook of veterinary anatomy – p312-314
GETTY R. 1975 – fifth edition – WB Saunders company Sisson and Grossman's The anatomy of the domestic animals volume 1
MAGILTON JH. 1966 – Thesis Iowa State University A comparative morphological study of the brachial plexus of domestic animals (Bovidae, Ovidae, Capridae, Suidae, Equidae), (JH Magilton, R Getty and NG Ghoshal ; Iowa State J. Sci. 42:245-279, 1968)
MANSOUR M, STEISS J, WILHITE R. 2013 – Blurb Equine anatomy guide: the forelimb – an illustrated guide – p62
MONTANE L, BOURDELLE E, BRESSOU C. 1972 – Paris, JBB Anatomie régionale des animaux domestiques I Equidés cheval âne mulet par E. BOURDELLE et C. BRESSOU
NICKEL R, SCHUMMER A, SEIFERLE E. 1977– Berlin, Parey Lehrbuch der Anatomie der Haustiere IV
SMALLWOOD JE. 2010 – North Carolina, Millenium Print Group A guided tour of veterinary anatomy – p295-299

Tableau E-3 : Compilation des données bibliographiques sur les racines principales et les plus rencontrées des nerfs du plexus brachial chez le cheval

Nerfs	Racine(s) cervicale(s) et/ou thoracique principale(s)
N. subscapulaires	C6-C7
N. supra-scapulaire	C6-C7
N. subclavier	C6-C7 ou C7-C8
N. pectoraux crâniaux	C6-C7 ou C7-C8
N. pectoraux caudaux	C7-T1 ou C7-C8
N. thoracique long	C7 ou C7-C8
N. thoracodorsal	C8
N. thoracique latéral	C8-T1 ou T1-T2
N. musculo-cutané	C7-C8
N. radial	C8-T1
N. médian	C8-T1
N. ulnaire	T1

2. Muscles du membre thoracique et fonctions

Les muscles du membre antérieur du cheval ainsi que les muscles cervico-thoraciques ayant une attache sur le membre antérieur sont innervés par les nerfs issus du plexus brachial et jouent un rôle dans la locomotion du cheval mais aussi dans son maintien en station.

La locomotion du cheval est décrite selon son composant unitaire qui est la **foulée** (Denoix 2014b). Chaque foulée est composée de 2 phases quelque soit l'allure : une **phase d'appui** pendant laquelle le membre est au contact du sol et une **phase de soutien** pendant laquelle le membre est suspendu et a un mouvement pendulaire en direction de l'avant. Chaque phase comporte 3 temps.

La **phase d'appui** comprend :

- l'**amortissement** dès le poser du pied au sol, qui correspond à une phase d'absorption des forces d'atterrissage du membre, de la masse du cheval au sol et de la réaction du sol ;
- le **soutènement** ou **support** lorsque le membre est verticalisé et qu'il supporte la masse corporelle dans un déplacement horizontal et
- la **propulsion** caractérisée par l'extension des articulations du membre pour pousser le cheval vers l'avant.

La **phase de soutien** correspond à un mouvement de balancier caudo-crânial du membre et comporte aussi 3 temps :

- le **ramener** du membre initié par le décollage du sabot du sol après la propulsion ;
- la **phase pendulaire ou de suspension** qui constitue un temps intermédiaire dans le mouvement pendulaire vers l'avant et
- l'**embrassée** du terrain (phase crâniale du mouvement pendulaire) qui termine le mouvement de **protraction** du membre et qui s'achève avec la prise de contact du sabot au sol (battue).

Les muscles actifs dans la locomotion et la station imposent aux rayons osseux des tractions dans différents plans selon leurs attaches respectives. On distingue ainsi des mouvements de flexion et d'extension des articulations, d'adduction et d'abduction du membre par rapport au thorax ainsi que de rotation ou circumduction du membre avec une direction interne (rotation de la face latérale vers l'avant) ou externe (rotation de la face médiale vers l'avant). En station, les muscles de la ceinture scapulo-thoracique définissent la position et le soutènement du thorax entre les 2 membres antérieurs. Les muscles principaux sont cités dans le tableau E-4 d'après Barone 1980. Leur innervation et fonctions y sont décrites.

Tableau E-4 : Principaux muscles et leur fonction de la station et la locomotion du membre antérieur chez le cheval d'après Barone 1980

Muscles (M)	Fonctions	Innervation (N : nerf)
Région cervico-thoracique		
M. trapèze	Abducteur de l'épaule Partie cervicale : traction dorso-crâniale de la scapula Partie thoracique : participation à la bascule caudale de la partie dorsale de la scapula	N. accessoire
M. omotransversaire	Traction crâniale de l'épaule avec encolure pour point fixe Auxiliaire du m. brachiocéphalique pour la protraction	N. accessoire
M. rhomboïde	Traction de la scapula vers les vertèbres Releveur de la scapula Bascule crâniale du bord dorsal de la scapula	N. dorsal de l'épaule
M. brachiocéphalique	Protracteur du membre antérieur au soutien (point fixe à la tête) en synergie avec le m. omotransversaire	N. accessoire (portion cléido-céphalique), N. axillaire (portion cléido-brachiale
M. pectoral descendant	Adducteur du bras et protracteur du membre antérieur Mouvement de rotation interne portant en avant la face latérale du bras (circumduction interne)	N. pectoraux crâniaux
M. pectoral transverse	Adducteur du membre thoracique avec maintien du membre collé au tronc	N. pectoraux crâniaux
M. pectoral ascendant	Adducteur et rotateur interne du rayon huméral (portant en avant la face latérale du bras) Traction caudale de l'angle de l'épaule avec attaches sterno-abdominales en point fixe (en synergie avec m. grand rond et en antagoniste du m. brachiocéphalique) Avec membre à l'appui, traction caudale de l'angle de l'épaule redressant la scapula sur l'humérus ce qui concourt à la détente du membre Auxiliaire du m. dentelé ventral du thorax pour le soulèvement du thorax entre les 2 épaules avec humérus comme point fixe	N. pectoraux caudaux
M. subclavier	Traction ventro-caudale et soutènement de l'angle scapulo-huméral : traction crâniale de la partie dorsale de la scapula et, en synergie avec M. pectoral ascendant, ouverture et déplacement caudal de l'angle de l'épaule pour la détente du membre Point fixe à l'épaule, soulèvement et traction crâniale du thorax	N. subclavier
M. grand dorsal	Traction caudale du bras avec colonne vertébrale en point fixe (auxiliaire du m. pectoral ascendant) Traction crâniale du tronc avec humérus en point fixe, concourant à la propulsion	N. thoracique dorsal
M. dentelé ventral du thorax	Avec thorax en point fixe, traction ventrale de la scapula portant l'angle de l'épaule crânialement et protracteur du membre antérieur avec m. brachiocéphalique et omotransversaire Avec scapula en point fixe, soulèvement du thorax entre les épaules	N. thoracique long
M. dentelé du cou	Avec les vertèbres cervicales en point fixe, traction crâniale de la partie dorsale de la scapula faisant basculer caudalement l'angle scapulo-huméral Suspension de l'encolure entre les 2 épaules	N. thoracique long

Tableau E-4 suite

Muscles (M)	Fonctions	Innervation
Région scapulaire latérale		
M. deltoïde	Abducteur du bras et rotateur externe Fléchisseur de l'articulation de l'épaule dans le ramener du membre au soutien (avec m. grand rond)	N. axillaire
M. supra-épineux	Principal extenseur du bras (de l'épaule) Contention crâniale de l'articulation scapulo-humérale en limitant la projection crâniale de la tête humérale	N. suprascapulaire
M. infra-épineux	Abducteur du bras avec rotation externe Contribution à la flexion du bras Contention de l'articulation scapulo-humérale en limitant les déplacements transversaux de la tête humérale	N. suprascapulaire
M. petit rond	Accessoire du m. infra-épineux, Abducteur et rotateur externe, Contribution à la contention de l'articulation scapulo-humérale	N. axillaire
Région scapulaire médiale		
M. grand rond	Adducteur et rotateur interne du bras (auxiliaire des m. grand dorsal et subscapulaire). En synergie avec le m. deltoïde, flexion de l'humérus sur la scapula	N. axillaire
M. subscapulaire	Adducteur et rotateur interne du bras Contention de l'articulation scapulo-humérale en s'opposant aux déplacements transversaux de la tête humérale	N. subscapulaires
M. coraco-brachial	Adducteur et rotateur interne du bras	N. musculo-cutané
Région brachiale crâniale		
M. biceps brachial	Fléchisseur de l'avant-bras avec légère rotation externe Tenseur du fascia antébrachial Avec sa corde de limitation d'extension (lacertus fibrosus), solidarise passivement l'extrémité ventrale de la scapula et l'extrémité proximale du radius : dans la locomotion, rôle de coordination des mouvements des articulations de l'épaule et du coude ; en station, contribution au maintien de l'ouverture de l'angle scapulo-huméral avec les m. pectoral descendant et supra-épineux, le coude étant bloqué par le triceps brachial	N. musculo-cutané
M. brachial	Auxiliaire du m. biceps dans la flexion de l'avant-bras avec rotation externe	N. musculo-cutané
Région brachiale caudale		
M. triceps brachial - Chef long - Chef latéral - Chef médial	3 chefs: extension de l'avant-bras (olécrane = bras de levier) Chef long : ouverture de l'angle du coude (au soutien par levier du 1er genre et à l'appui par levier du 2ème genre) ; maintien en station l'ouverture de l'angle scapulo-huméral avec les m. pectoraux et biceps brachial en assurant l'extension de l'avant-bras (coude) Chef latéral : accessoire du chef long Chef médial : accessoire du chef long et du chef latéral	N. radial
M. anconé	Accessoire du m. triceps brachial	N. radial
M. tenseur du fascia antébrachial	Extenseur de l'avant-bras (attaches olécrâniennes) Tenseur du fascia antébrachial Contention du m. grand dorsal en région axillaire, de façon à assurer la transmission intégrale de sa contraction sur le bras pendant la marche	N. radial

Tableau E-4 suite

Muscles (M)	Fonctions	Innervation (N : nerf)
M. antébrachiaux dorsaux		
M. extenseur radial du carpe	Extenseur du carpe, du métacarpe et de la main dans son ensemble Opposition à la flexion carpienne pendant l'appui du membre (aidé passivement par les intersections tendineuses de son corps charnu et le lacertus fibrosus venant du biceps)	N. radial
M. extenseur dorsal du doigt	Extenseur de la phalange distale sur la phalange moyenne et de la phalange moyenne sur la phalange proximale. Etend l'ensemble du doigt sur le métacarpe et concourt à l'extension de la main sur l'avant-bras. Contribue au maintien des articulations carpiennes pendant l'appui et au soutien des trois phalanges pendant la phase d'amortissement des réactions (brides)	N. radial
M. extenseur latéral du doigt	Extenseur du doigt et de la main dans son ensemble	N. radial
M. extenseur oblique du carpe	Faible extenseur du métacarpe et de l'ensemble de la main sur l'avant-bras ; peut porter le rayon métacarpien du côté médial, au moment de la flexion du carpe	N. radial
M. antébrachiaux palmaires		
M. ulnaire latéral	Fléchisseur du carpe et de la main. Avec ses fortes intersections fibreuses, contribution à limiter passivement l'extension du carpe et du métacarpe lors de l'appui du membre au sol	N. radial
M. fléchisseur ulnaire du carpe	Fléchisseur du carpe et de la main (agit sur le bras de levier formé par la saillie de l'os accessoire du carpe) Limitateur de l'extension du carpe pendant l'appui du sabot sur le sol.	N. ulnaire
M. fléchisseur radial du carpe	Fléchisseur du carpe et de la main sur l'avant-bras	N. médian
M. fléchisseur superficiel du doigt = m. perforé	Fléchisseur de la phalange moyenne sur la proximale. Fléchisseur de façon indirecte du doigt, du métacarpe et de la main sur l'avant-bras	N. médian + ulnaire (à titre accessoire)
M. fléchisseur profond du doigt = m. perforant	Fléchisseur des phalanges les unes sur les autres, des doigts sur le métacarpe et de la main sur l'avant-bras. A l'appui, redresseur du rayon digital et contribution à la propulsion	N. médian et ulnaire
M. fléchisseurs superficiel et profond	A l'appui, soutènement de la région du boulet et du région digitale par leurs tendons et ligaments avec le m. interosseux III	N. médian et ulnaire

Les muscles cités ci-dessus ont une action synergique ou antagoniste selon la situation ou les temps de la foulée. Aussi, il est intéressant de les regrouper par action principale sur le membre et/ou le thorax dans le tableau E-5.

Tableau E-5 : Synthèse des principales actions du membre antérieur en locomotion et en station

Action en station ou locomotion et participation musculaire
PROTRACTION DU MEMBRE ANTERIEUR
M. brachiocéphalique **M. omotransversaire** **M. pectoral descendant** M. dentelé ventral du thorax M. trapèze, portion thoracique (traction caudale de la scapula dorsale) Les 2 derniers muscles ont une participation plus accessoire en horizontalisant la scapula ce qui concourt à avancer la pointe de l'épaule
ADDUCTION DU MEMBRE ANTERIEUR ET ROTATEUR INTERNE DU BRAS
M. pectoraux (circumduction avec m. pectoraux descendant et ascendant) M. grand rond M. subscapulaire M. coraco-brachial
ABDUCTION DU MEMBRE ANTERIEUR ET ROTATION EXTERNE DU BRAS
M. infra-épineux M. deltoïde M. petit rond
FLEXION DE L'EPAULE au soutien
M. deltoïde **M. grand rond** M. infra-épineux (accessoire)
EXTENSION DU BRAS
M. supra-épineux
SUSPENSION DU THORAX ENTRE LES MEMBRES ANTERIEURS
M. pectoraux ascendant et transverse M. subclavier M. dentelés du cou et ventral du thorax
TRACTION CRANIALE ET PROPULSION DU THORAX (membre fixe)
M. grand dorsal M. subclavier
TRACTION CAUDALE DE L'ANGLE SCAPULO-HUMERAL ET DU BRAS PROPULSION DU MEMBRE ANTERIEUR
M. pectoral ascendant M. grand dorsal M. subclavier Avec le membre à l'appui au cours de la foulée, redressement de la scapula sur l'humérus et détente (propulsion) du membre M. trapèze, portion cervicale, m. rhomboïde et dentelé du cou (traction crâniale de la scapula dorsale)
CONTENTION DE L'ARTICULATION SCAPULO-HUMERALE
M. supra-épineux : contention crâniale M. infra-épineux et petit rond : contention latérale (limitation des déplacements transversaux de la tête humérale) M. subscapulaire : contention médiale (limitation des déplacements transversaux de la tête humérale)
OUVERTURE DE L'ANGLE SCAPULO-HUMERAL EN STATION
M. pectoral descendant, supra-épineux et biceps brachial : tension crâniale M. triceps brachial : tension caudale en bloquant le coude

Partie expérimentale :
Injection péri-neurale écho-guidée du rameau ventral des nerfs spinaux cervicaux 7 et 8 chez le cheval

L'origine de ce travail tient dans la description assez vague des signes cliniques d'une radiculopathie compressive cervicale consécutive à une arthropathie des ASIVE. Une boiterie « haute » (diminution de la phase antérieure de la foulée) possiblement intermittente est décrite mais aussi des signes beaucoup plus discrets comme les trébuchements, un manque d'action de l'avant-main ou des défauts ou de performance. La participation d'une composante douloureuse cervicale et/ou appendiculaire versus une atteinte de la fonction motrice du membre antérieur n'est pas bien définie. Les affections dégénératives des ASIVE étant les plus fréquemment rencontrées entre C6-C7 et C7-T1, il a été choisi de se concentrer sur ces 2 étages vertébraux cervicaux. L'étude visait à répondre aux questions suivantes :

- Faisabilité d'une injection péri-nerveuse sélective du RCV7 et RCV8 par écho-guidage,
- Etude de la diffusion du produit pour documenter une anesthésie tronculaire mais aussi d'une injection à visée thérapeutique,
- Evaluer l'impact moteur et si possible sensitif d'une anesthésie sélective de RCV7 et RCV8 sur la locomotion du cheval,
- Etablir un parallèle entre données expérimentales et données cliniques.

La partie expérimentale de ce travail se divise en 2 grandes parties :

- une étude sur cadavre de chevaux de la diffusion de colorants autour des racines et rameaux nerveux cervicaux 7 (C7) et 8 (C8) après injection péri-neurale écho-guidée ;
- une étude *in vivo* de l'effet de l'anesthésie sélective du rameau cervical ventral à deux étages (RCV7 et RCV8) sur la locomotion du cheval.

La présentation de ces deux parties est précédée par une description de l'anatomie régionale pertinente et de la technique d'injection péri-neurale des RCV 7 et 8 par écho-guidage.

A. Description de la technique d'injection péri-nerveuse cervicale caudale ventrale sous contrôle écho-guidé

1. Anatomie régionale

Le segment vertébral cervical caudal (vertèbres C6-C7) est situé au niveau du tiers ventro-caudal de l'encolure, sa limite caudale étant constituée par le bord crânial des muscles de l'épaule (muscle subclavier). Les racines des nerfs spinaux cervicaux 7 et 8 émergent de la moelle épinière à travers les foramen intervertébraux C6-C7 et C7-T1 respectivement. Le bord dorsal du foramen est constitué par les processus articulaires vertébraux des vertèbres adjacentes et l'articulation synoviale intervertébrale épiaxiale (ASIVE) alors que le corps vertébral fait office de bord ventral. Le nerf spinal, qui se sépare proximalement en un rameau cervical ventral (RCV) et un rameau dorsal, est visible sur la coupe transversale de la colonne cervicale entre les PA et le corps vertébral (Figure A-1).

Les rameaux ventraux des nerfs spinaux cervicaux 7 et 8 cheminent entre ces reliefs dans une direction légèrement ventro-caudale (par rapport à l'axe longitudinal de la vertèbre). Le RCV7 longe ensuite le corps vertébral toujours en direction ventro-caudale et passe crânialement et médialement à l'aspect crânial du processus transverse (PT) de C7, lequel le cache

partiellement, avant de prendre une direction encore plus caudale à la face ventrale du PT de C7 pour rejoindre le plexus brachial. RCV8 longe aussi obliquement avec une direction caudo-ventrale le corps de C7 et est bordé caudalement par la première côte jusqu'au plexus. RCV7 et RCV8 constituent deux des racines du plexus brachial chez le cheval. RCV7 a une forme cylindrique en coupe transversale alors que RCV8 a une forme aplatie (ovaloïde) et est 2 à 3 fois plus large que RCV7.

La fenêtre de visualisation par échographie des RCV se situe entre le bord ventral du PA crânial de C7 et le bord crânial du PT de C7 pour RCV7, entre le PA crânial de T1 proximalement , l'aspect caudal du PT de C7 distalement et la tête de la première côte caudalement pour RCV 8 (Figure A2).

2. Repérage échographique et méthode d'injection

La localisation des segments C6-C7 et C7-T1 dans l'encolure est réalisable selon plusieurs méthodes :

- par palpation à partir de l'atlas et en comptant les segments vertébraux qui sont d'environ une largeur de main (Mattoon et al. 2004) ;

- par repérage radiographique avec la pose de marqueur radio-opaque sur l'encolure (Mattoon et al. 2004) ;

- par échographie, soit en balayage crânio-caudal et en comptant les ASIVE à partir de C1-C2, soit en repérant l'artère cervicale profonde visible en coupe transversale et positionnée caudo-dorsalement à l'ASIVE C7-T1 sur l'image échographique en coupe transversale de l'ASIVE (Denoix, 2013a et b).

L'identification par la présence de l'artère a été privilégiée sur chevaux vivants et la méthode de palpation manuelle a été utilisée sur les cadavres. Afin d'optimiser la visualisation du segment C7-T1, le membre antérieur ispilatéral a été reculé et l'encolure maintenue à l'horizontal avec une légère incurvation opposée au côté d'injection. L'image échographique de référence de l'ASIVE en coupe transversale a été successivement recherchée pour chaque segment C6-C7 et C7-T1 (Figure A-2).

De la position de la sonde perpendiculaire au segment cervical permettant d'obtenir la CT de l'ASIVE, la sonde est glissée ventralement et caudalement avec une légère rotation antihoraire sur l'encolure gauche et horaire sur l'encolure droite afin de visualiser le RCV en coupe longitudinale sous le PA (Figure A-2). Le RCV apparaît comme une structure échogène longitudinale avec une limite superficielle et une limite profonde d'échogénicité supérieure au corps du tronc nerveux.

Une fois que la sonde est en place, une aiguille spinale 20G de 88 mm (Spinocan, BBraun France SA) est insérée ventralement à la sonde dans une direction légèrement médiodorsale avec un angle ajusté par suivi échographique afin que la pointe de l'aiguille soit positionnée sur le bord superficiel du RCV entre 1 et 2 cm distalement au bord ventral du PA (Figure A-3). L'injection est alors réalisée sous contrôle échographique avec enregistrement d'une vidéo.

Figure A-1 : Localisation et rapports anatomiques des rameaux cervicaux ventraux 7 et 8 de leur racine au plexus brachial

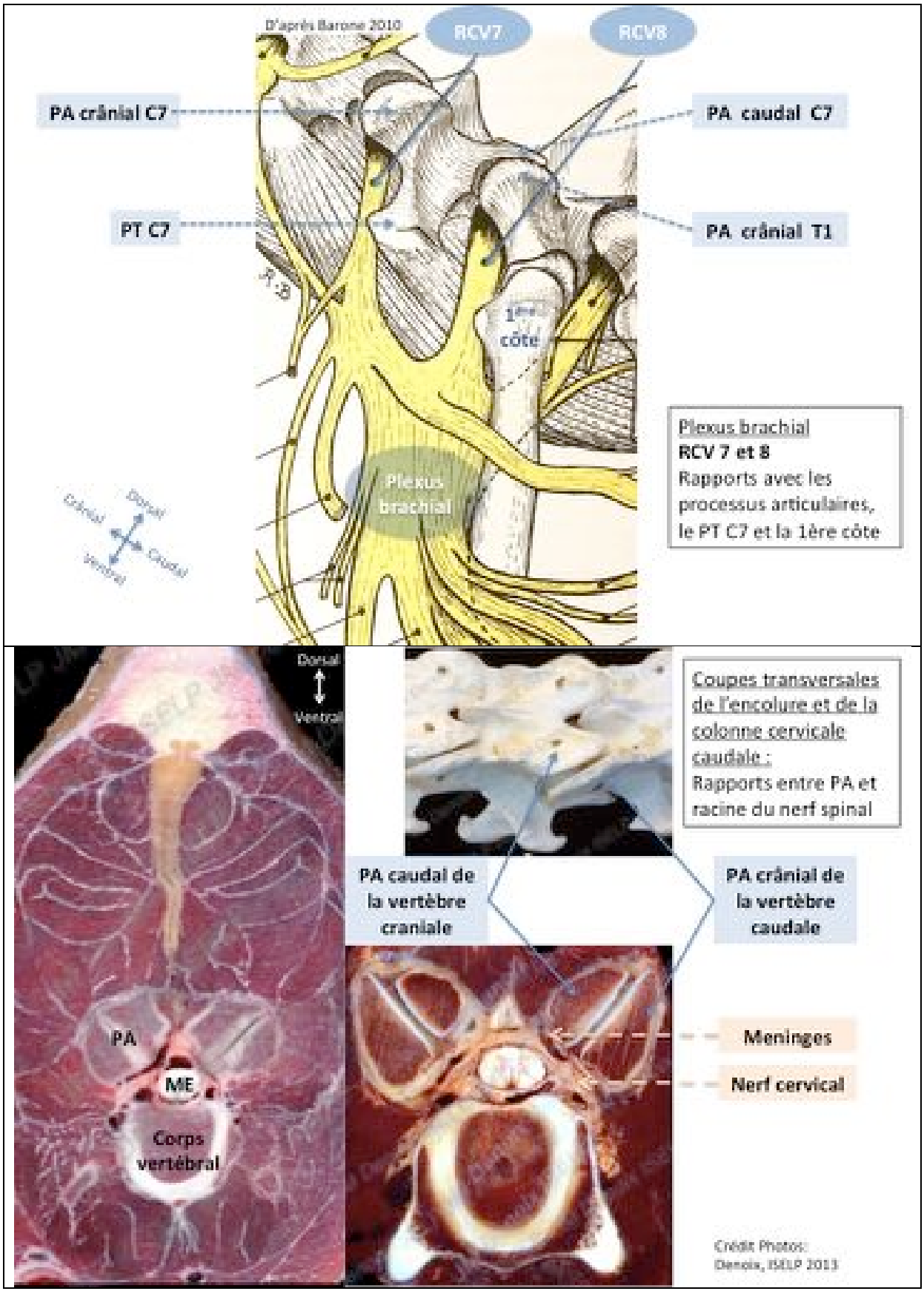
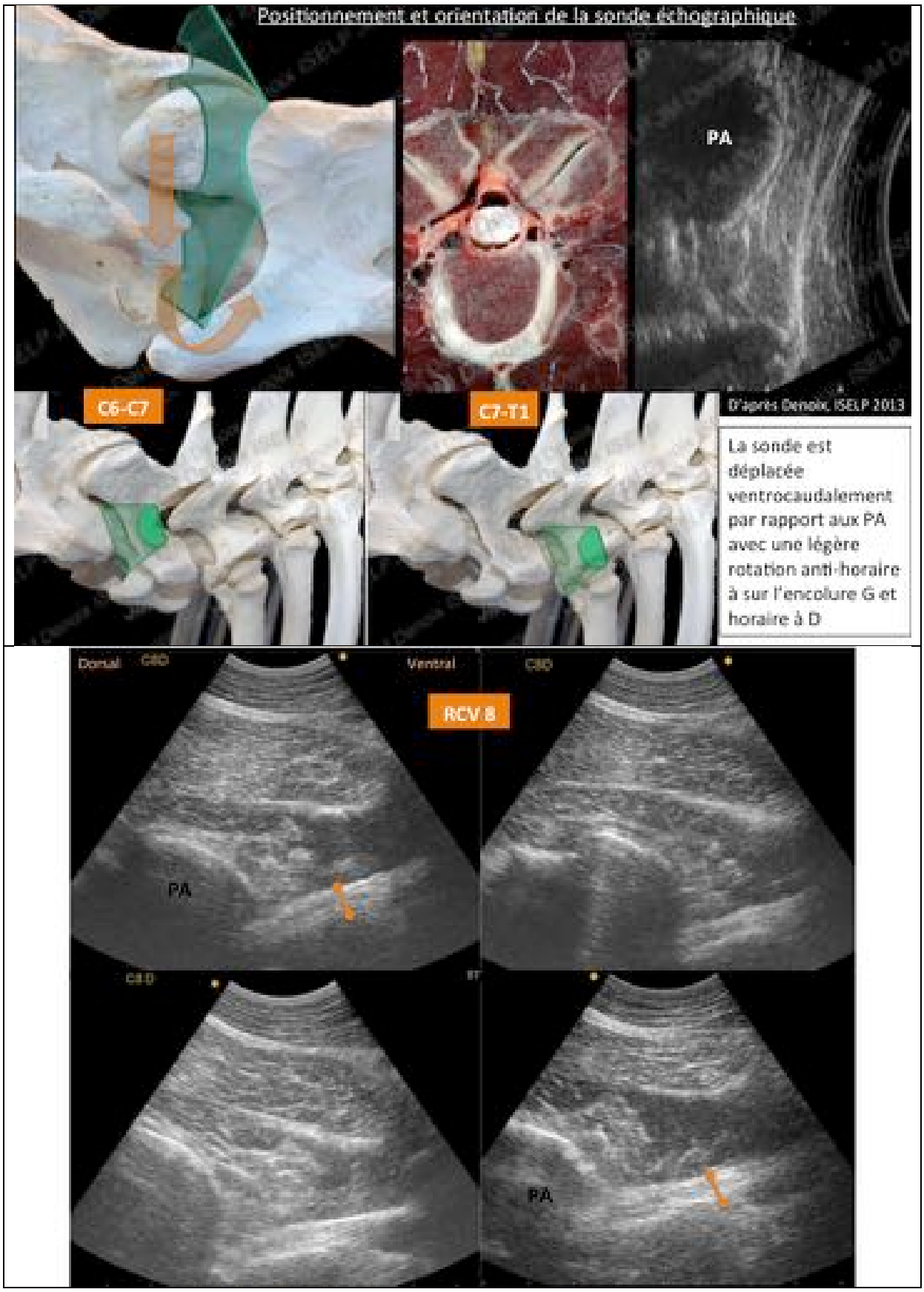
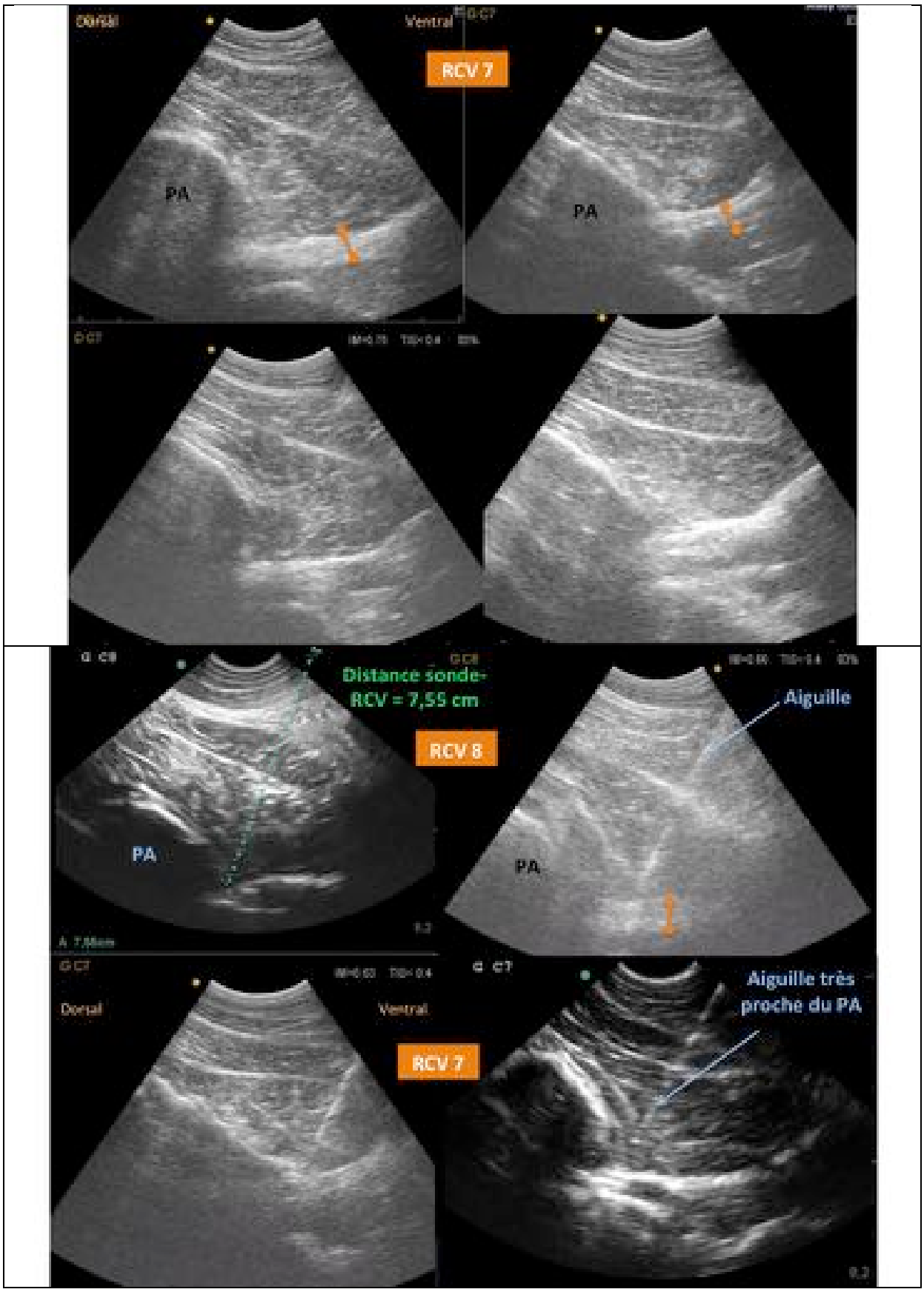


Figure A-2 : Repérage et images échographiques des rameaux cervicaux ventraux 7 et 8




Dorsal
Ventral
RCV 7
PA
PA
Distance sonde-RCV = 7,55 cm
RCV 8
Aiguille
PA
PA
Dorsal
Ventral
RCV 7
Aiguille très proche du PA

B. Partie expérimentale 1 : étude cadavérique avec injection de colorants

Cette étude cadavérique chez le cheval a consisté en l'injection péri-neurale d'une solution colorée par écho-guidage des rameaux ventraux des nerfs spinaux cervicaux 7 et 8 suivie d'une dissection. Les objectifs de l'étude étaient d'observer la diffusion du colorant en regard des racines et des tissus avoisinant ainsi que de tester l'effet de 2 volumes de solution colorée sur l'étendue de la diffusion péri-neurale.

1. Matériel et Méthodes

L'étude de la diffusion d'un colorant suite à une injection péri-neurale écho-guidée de la 7ème et de la 8ème racines cervicales ventrales (IPNEG-RCV7 et IPNEG-RCV8) a été réalisée sur 4 cadavres de chevaux euthanasiés pour raisons indépendantes de l'expérimentation et a comporté 2 phases :

- Phase 1 : IPNEGs unilatérales et ipsilatérales de RCV7 et RCV8, soit deux injections par cadavre, avec le colorant bleu de méthylène sur 3 cadavres stockés après l'euthanasie pendant 24 heures au réfrigérateur ;
- Phase 2 : IPNEGs bilatérales de RCV7 et RCV8, soit 4 injections, sur un cadavre supplémentaire directement à la suite de l'euthanasie avec des colorants tissulaires permanents de 4 couleurs différentes.

a) Choix des colorants, du volume injecté et de l'allocation des injections

Le bleu de méthylène a été initialement choisi en raison de son affinité à marquer les tissus nerveux et son excellente capacité de diffusion (Seif et al. 2004, Oz et al. 2012). Une concentration de 0,12% (1,2 mg/ml) a été utilisée. Les 3 cadavres injectés ont reçu chacun 2 injections ipsilarétales gauches ou droites de RCV7 et RCV8. Le dernier cadavre a reçu des injections bilatérales de RCV7 et RCV8 avec des colorants tissulaires marqueurs permanents (Davison Marking System; Bradley Products, Inc., MN, USA) dilués au 1/50ème (1 ml de colorant dans 50 ml de diluant). Pour reproduire au mieux la situation *in vivo*, les colorants ont été dilués dans 5 ml de la lidocaïne (Lidocaïne sans conservateur 20 mg/mL, Laboratoire Aguettant, France) and 2 ml de produit de contraste, le iohexol (Omnipaque 300 mg/mL, GE Healthcare SAS, France) pour le volume de 7 ml et le double (10 + 4 ml) pour les 14 ml.

Ce changement de colorants pour le dernier cadavre a été introduit à la suite des résultats obtenus avec le bleu de méthylène. Ce type de colorants tissulaires permanents a la propriété de se fixer sur les tissus et d'avoir ainsi une diffusion limitée. Il a été récemment utilisé dans une étude de diffusion péri-nerveuse autour des racines spinales thoraciques chez le chien et a montré son intérêt par rapport au bleu de méthylène très hydrosoluble et diffusible (Portela et al. 2017). Il existe plusieurs couleurs ce qui a permis d'utiliser 4 couleurs différentes (jaune, orange, violet et vert) et de mieux tester la sélectivité de l'injection d'un RCV à l'autre, RCV en position crâniale ou caudale par rapport à celui injecté mais aussi la diffusion à travers le plan médian (espace péridural) vers la racine spinale controlatérale.

Deux volumes ont été testés : 7 et 14 ml. La sélection de ces 2 volumes est issue d'un calcul allométrique à partir des volumes utilisés chez l'homme et considérés comme sélectifs d'une racine, c'est-à-dire minimisant le risque de diffusion vers les racines adjacentes (Anderberg et al. 2006a et b). L'allocation du côté d'injection droit ou gauche pour les 3 premiers cadavres et des volumes 7 ou 14 ml pour les 4 cadavres a été randomisée par simple tirage au sort. La répartition des traitements est rassemblée dans le tableau ci-dessous.

Tableau B-1 : Description des injections et randomisation des traitements

Cadavres	Colorants	Nombre d'injections	Côté des injections	Racines	Volumes injectés
Cheval 1	Bleu de méthylène	2	Gauche	RCV7	7 ml
				RCV8	14 ml
Cheval 2	Bleu de méthylène	2	Gauche	RCV7	7 ml
				RCV8	7 ml
Cheval 3	Bleu de méthylène	2	Droit	RCV7	7 ml
				RCV8	14 ml
Cheval 4	Colorants tissulaires marqueurs permanents	4	Gauche	RCV7	7 ml
				RCV8	14 ml
			Droit	RCV7	14 ml
				RCV8	7 ml

b) Réalisation des injections péri-radiculaires et technique de dissection

Les cadavres ont été positionnés en décubitus latéral sur un support horizontal. Les membres antérieurs ont été réclinés vers l'arrière au mieux selon l'état de rigidité cadavérique. La région cervicale basse a été tondue et la peau préparée par un mouillage à l'eau chaude et l'aspersion d'alcool. Le repérage de la localisation des vertèbres C6 et C7 a été fait manuellement par palpation en comptant les segments vertébraux à partir des ailes de l'atlas (Mattoon et al. 2004). Le guidage échographique de l'injection a été entrepris avec un échographe portable muni d'une sonde curvilinéaire (micro-convexe) de fréquence variable 5-8 MHz (C11x, SonoSite Edge, FUJIFILM SonoSite France SARL) en commençant par l'injection du site le plus caudal (RCV8) avec la technique décrite plus haut (chapitre A). En raison de la présence de gaz de putréfaction dans les tissus sous-cutanés du cheval 3, la peau a été réséquée pour obtenir des images échographiques de qualité adéquate en apposant la sonde directement sur le tissu conjonctif. Après l'injection du côté droit, le cadavre 4 a été retourné pour injecter les rameaux gauches.

La dissection des cadavres a été réalisée dans les 2 à 4 heures suivant l'injection selon les étapes suivantes :

- Retrait du volet cutané en incluant le muscle cutané du cou sur le tiers distal de l'encolure

- Retrait du membre antérieur ipsilatéral :

Incisions de la peau dorsalement autour de la scapula descendant le long des muscles de l'épaule, crânialement le long du muscle subclavier et caudalement le long du bord caudal du triceps, se rejoignant ventralement le long des muscles pectoraux.
Section des muscles trapèzes et rhomboïde pour soulever le cartilage scapulaire
Section du muscle grand dorsal
Section des muscles pectoraux et dissection de la région axillaire jusqu'au plexus brachial
Retrait du membre par section du plexus brachial et des rameaux vasculaires

- Dissection de l'encolure :

Retrait des muscles omotransversaire et brachiocéphalique
Repérage du nerf phrénique visible le long du muscle scalène ventral et de la sortie du plexus brachial entre les muscles scalènes ventral et moyen
Repérage du nerf thoracique long traversant le muscle scalène moyen
Retrait en commençant dorsalement et en descendant ventralement des muscles dentelé du cou, longissimus du cou puis des muscles ilio-costal du cou et scalène moyen
Retrait des muscles intertransversaires et multifides pour visualiser les racines des PA aux PT

Observation et suivi de la coloration sur tout la longueur de RCV 7 et 8, de l'aspect ventral des PA, sur leur longueur longeant le corps vertébral et passant entre les PT vertébraux jusqu'à l'a zone distale de fusion dans le plexus brachial.
Recherche du rameau dorsal du nerf spinal cervical et observation de sa coloration.

Le canal vertébral a été ouvert *in situ* en regard des RCV colorés pour les cadavres 1 et 2 par retrait d'une portion de l'arc vertébral de C6 et C7. La présence d'une coloration a été recherchée au niveau des racines des nerfs spinaux, de l'espace péridural et des méninges puis au niveau de la moelle épinière après l'ouverture méninges.

La colonne cervicale de C5 à T2 a été isolée en masse pour le cadavre 3 avant d'être congelé pendant une semaine. Elle a ensuite été coupée transversalement en tranches d'un cm environ de la moitié caudale du corps de C6 à la moitié crâniale de T1 et sagittalement pour le segment crânial de C6

La technique de dissection du cadavre 4 a été identique à celle des cadavres 1 et 2. Le côté gauche a été disséqué en premier pour l'observation des RCV avant de retourner le cadavre pour disséquer le côté droit. Le canal vertébral a été ouvert *in situ* à droite. La moelle épinière et les racines cervicales ont ensuite été isolées pour observer le côté gauche (canal, espace péridural, méninges et moelle épinière avec ses radicelles).

2. Résultats et discussion

L'ensemble des résultats et la discussion sont rassemblés dans l'article 1 (Annexe). Ci-après sont présentés les résultats bruts en détail.

La rigidité cadavérique du cadavre 1 a rendu le positionnement du corps et la localisation des segments vertébraux par palpation difficiles et a abouti à l'injection des RCV6 et RCV7 au lieu de RCV7 et RCV8. Au total, 10 injections péri-radiculaires ont été réalisées, 1 RCV6, 5 RCV7 et 4 RCV8.

a) Description anatomique

Les descriptions des trouvailles de dissection sont répertoriées par RCV dans les 4 tableaux suivants :

Tableau B-2 : Description du schéma de coloration de RCV6

Cadavre Racine	Injection	Volume Couleur	Description
Cadavre 1 RCV6G	Injection adéquate	7 ml Bleu	RCV coloré sur la longueur, limite distale de la coloration juste après le passage du RCV entre les muscles scalènes moyen et ventral RCV fin de petit diamètre Coloration de l'aspect proximal de la racine C6 du nerf phrénique Coloration des fascicules sur toute l'épaisseur du nerf à la section transversale

Tableau B-3 : Description des schémas de coloration de RCV7

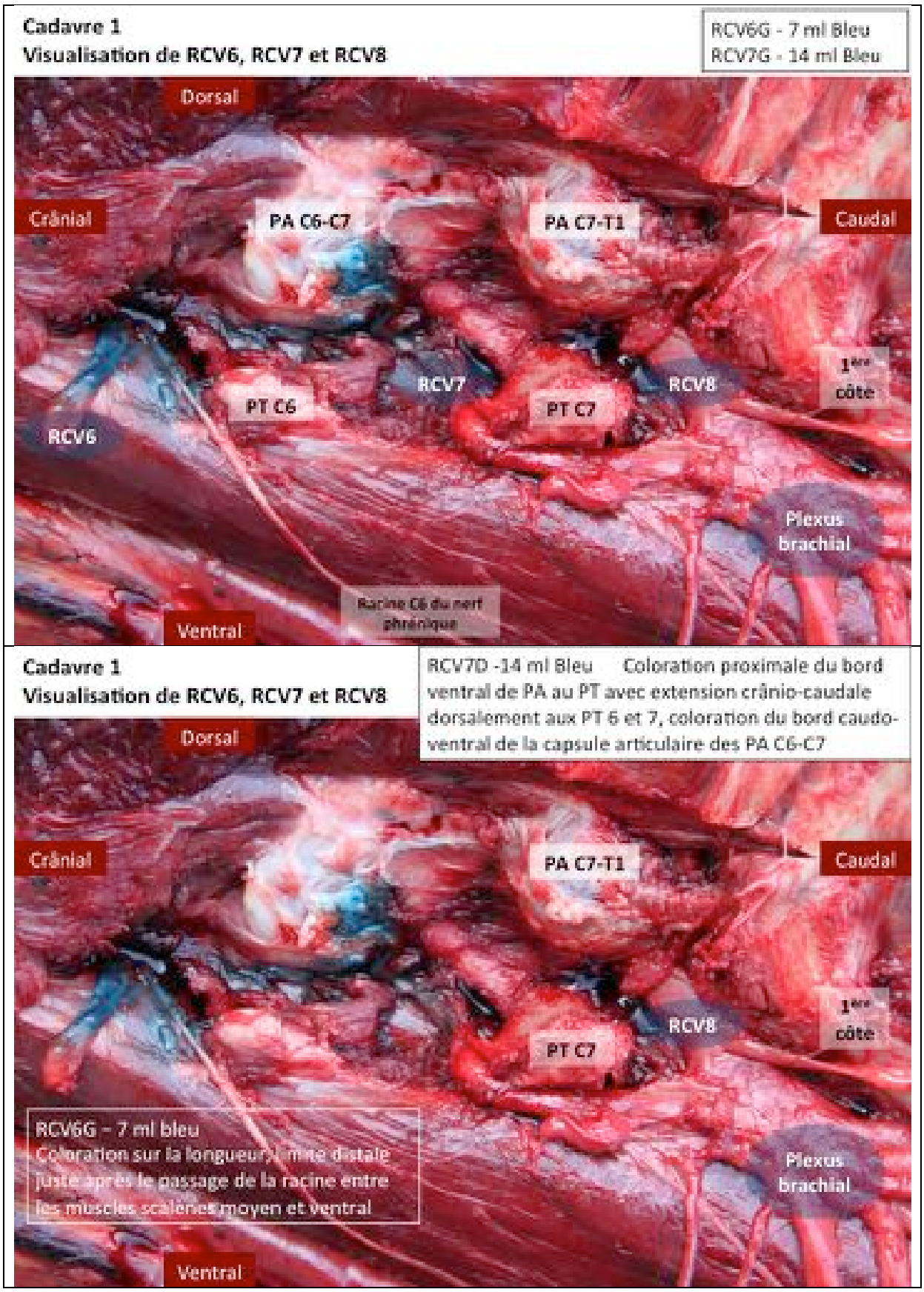
Cadavre Racine	Injection	Volume Couleur	Description
Cadavre 1 RCV7G	Injection très proche du PA	14 ml Bleu	Coloration sur toute la longueur du RCV du PA au bord dorsal du PT, coloration plus marquée du bord crânial du RCV Ouverture du canal médullaire : injection sous-arachnoïdienne avec coloration visualisée par transparence à travers la dure-mère en forme de tâche Ouverture des méninges : LCS encore présent en quantité, radicelles dorsales colorées dorsalement (aspect caudal), arachnoïde/dure-mère colorées (de l'intérieur) au niveau des radicelles colorées et plus ventralement, aspect de tâches bleu clair
Cadavre 2 RCV7G	Injection adéquate	7 ml Bleu	Coloration descendant le long du RCV : proximalement démarcation sous le PA, distalement descendant jusqu'à sous le PT et la jonction avec le RCV8 Coloration des fascicules dorsaux superficiels mais pas dans toute l'épaisseur du RCV Ouverture du canal médullaire : absence de passage dans l'espace péridural, ganglion dorsal et radicelles sans coloration
Cadavre 3 RCV7D	Retrait de la peau pour obtention d'une image échographique adéquate (gaz de putréfaction) Injection adéquate mais proche du PA	7 ml Bleu	Dépôt de la solution sur le bord crânial du RCV Coloration peu étendue limitée à la base du RCV ventralement au PA descendant jusqu'à mi hauteur du PT de C7 Vertèbres isolées pour congélation puis section à la scie (CT du segment vertébral C6-T1, CL du bout proximal de C6) Remontée de la coloration dans le canal vertébral ventralement jusqu'à la jonction des corps C6-C5, passage du plan sagittal avec coloration du côté G jusqu'à la racine controlatérale. Absence de coloration de la racine C6
Cadavre 4 RCV7G	Injection proche du PA (conformation du PT enveloppante cachant le RCV en partie et réduisant la taille de la fenêtre échographique pour visualiser le RCV en CL entre PA et PT	7 ml Jaune	Diffusion le long du nerf spinal, rameau dorsal et ventral. RCV coloré jusqu'à la limite de son arrivée dans le plexus Ouverture du canal médullaire et des méninges : Diffusion péridurale avec coloration des radicelles dorsales et de la dure-mère, Absence de diffusion sous-arachnoïdienne
Cadavre 4 RCV7D	Injection proche du PA (idem G) Injection sur le bord crânial du RCV	14 ml Violet	Couleur sur la partie proximale du RCV en forme de tâche ventralement au PA n'atteignant pas l'aspect dorsal du PT caudal (C7) et diffusion crânialement au RCV au dessus du PT crânial (C6) sous les muscles Ouverture du canal médullaire et des méninges : Diffusion péridurale avec coloration des radicelles dorsales et de la dure-mère, Absence de diffusion sous-arachnoïdienne

Tableau B-4 : Description des schémas de coloration de RCV8

Cadavre Racine	Injection	Volume Couleur	Description
Cadavre 1 RCV8G	Non réalisée		Erreur de localisation anatomique
Cadavre 2 RCV8G	Injection proximale sous le PA	7 ml Bleu	Coloration du RCV peu étendue proximo-distalement mais diffusion crânio-caudalement présente entre le bord dorsal du PT de C7 et la 1ère côte sous le PA Rameau dorsal coloré Ouverture du canal médullaire : passage dans l'espace péridural, coloration du ganglion dorsal et remontée de la coloration sur les radicelles (moitié crâniale) de la racine dorsale de C8, absence de coloration sur la face ventrale des méninges Ouverture des méninges : LCS encore présent en quantité, absence de coloration à l'intérieur des méninges
Cadavre 3 RCV8D	Retrait de la peau pour obtention d'une image échographique adéquate (gaz de putréfaction) Injection adéquate	14 ml Bleu	RCV coloré sur toute sa longueur avec diffusion vers le plexus brachial (au niveau la fusion entre racine C8 et T1 du plexus, jusque sous la tête de la 1ère côte) Coloration de la partie proximal du nerf thoracique long Zone colorée large sous le processus articulaire touchant le bord crânial de la 1ère côte Rameau dorsal aussi coloré Ouverture du canal médullaire Vertèbres isolées pour congélation puis section à la scie (CT passant par la racine C8 puis remontant crânialement en coupe de 1cm d'épaisseur environ) Diffusion dans le canal vertébral, partie ventrale (sinus veineux) caudalement jusqu'au bord crânial du corps de T2, diffusion trans-sagittale avec coloration de la partie péridurale de la racine C8G Absence de coloration du rameau ventral T1D
Cadavre 4 RCV8G	Injection adéquate	14 ml Vert	Diffusion le long du RCV (mi-longueur PA-plexus) jusqu'à l'aspect ventral du PT de C7 et remontée dorso-crâniale au dessus du PT de C7 sur toute sa longueur Absence de diffusion sous les PA vers l'espace péridural
Cadavre 4 RCV8D	Injection adéquate	7 ml Orange	Coloration focale sous le PA d'un longueur de la moitié de la racine jusqu'au bord ventral du PT, peu de diffusion, Ouverture du canal médullaire : absence de passage péridural

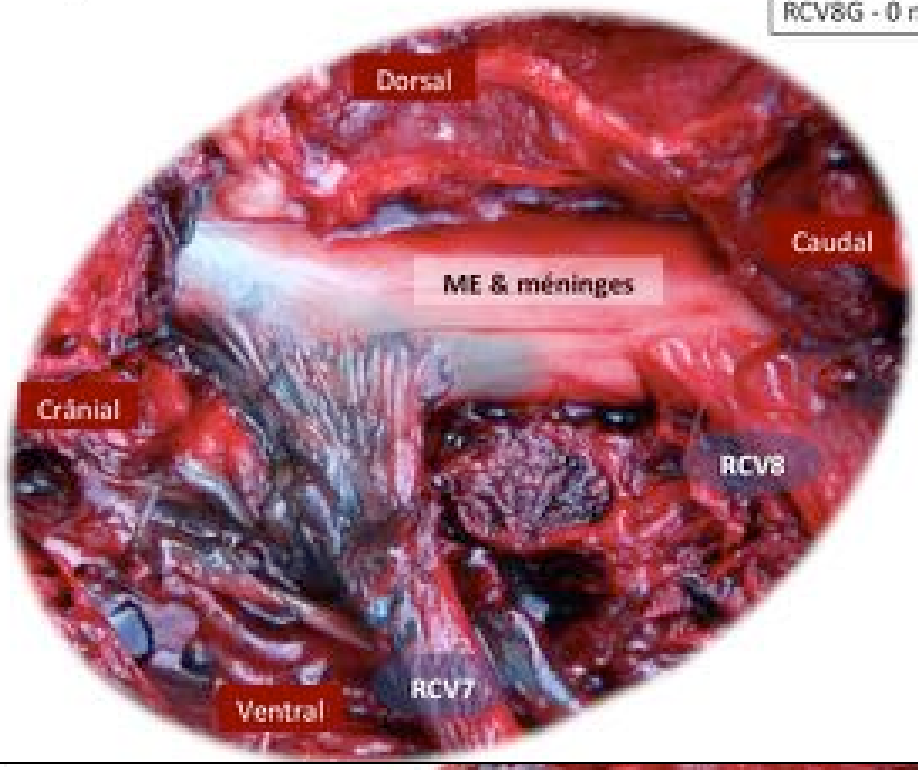
Les images correspondantes aux descriptifs des schémas de coloration sont présentées ci-après par cadavre.

Figure B-1 : Photos de la dissection des RCV - Cadavre 1

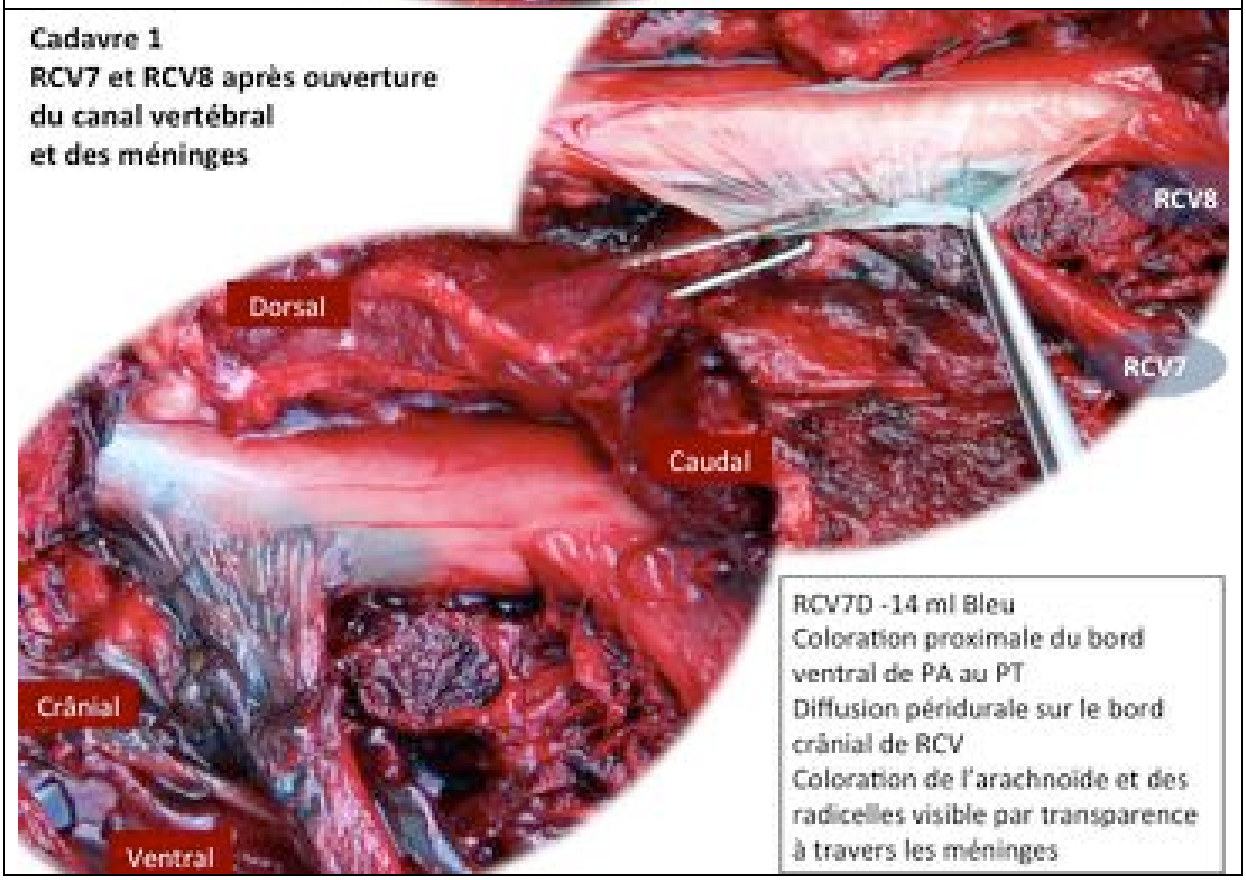


Cadavre 1
RCV7 et RCV8 après ouverture du canal vertébral

RCV6G - 7 ml Bleu
RCV7G - 14 ml Bleu
RCV8G - 0 ml Bleu

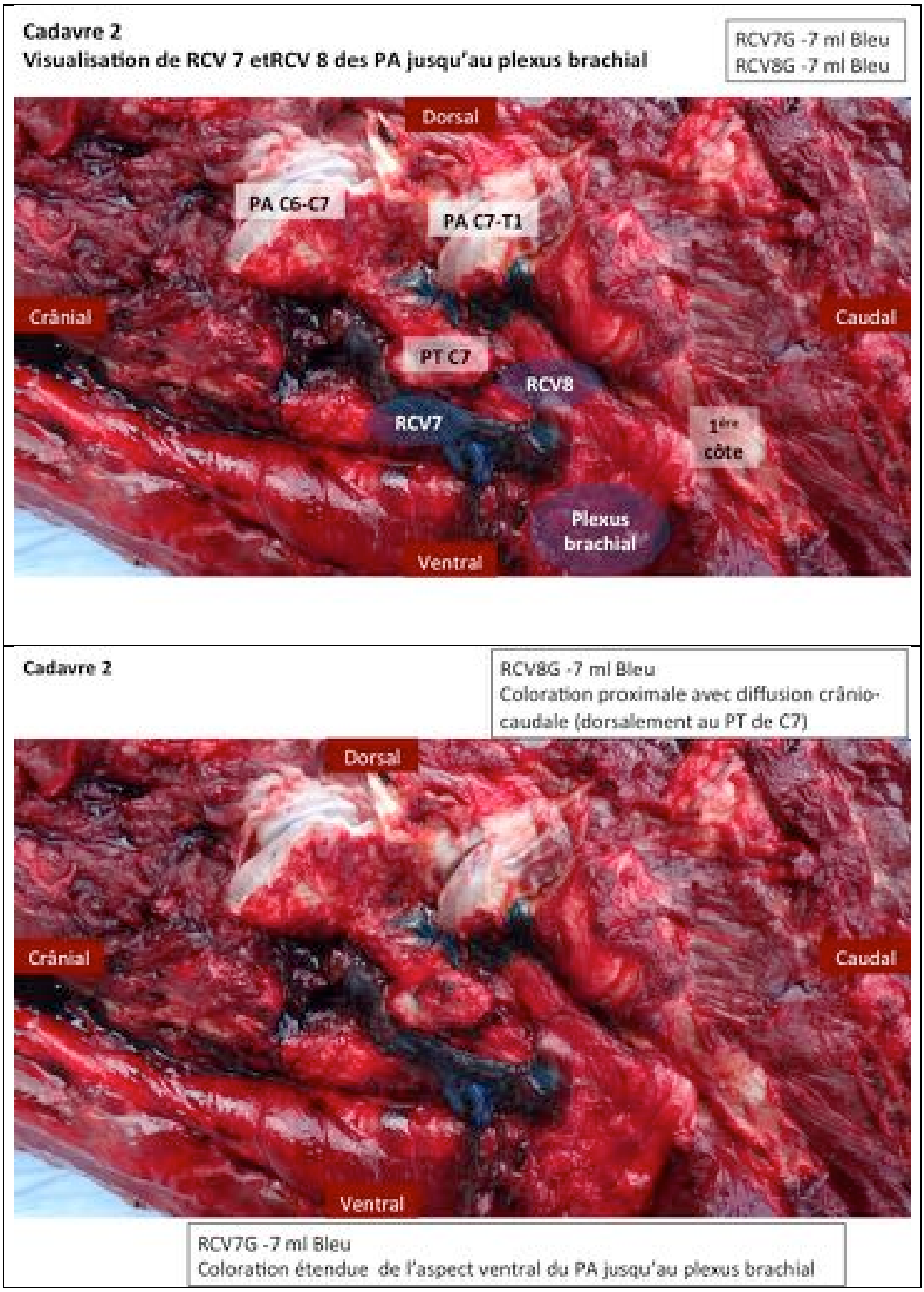


Cadavre 1
RCV7 et RCV8 après ouverture du canal vertébral et des méninges



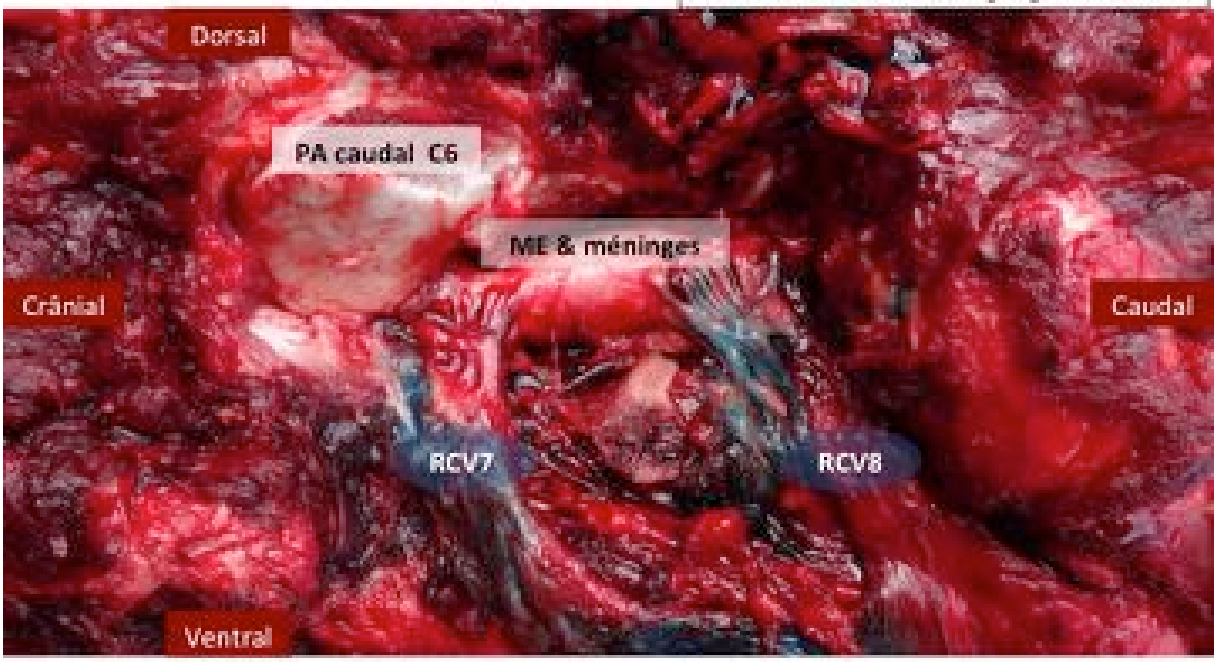
RCV7D -14 ml Bleu
Coloration proximale du bord ventral de PA au PT
Diffusion péridurale sur le bord crânial de RCV
Coloration de l'arachnoïde et des radicelles visible par transparence à travers les méninges

Figure B-2 : Photos de la dissection des RCV - Cadavre 2



Cadavre 2
RCV7/8 après ouverture du canal vertébral

RCV8G -7 ml Bleu
Diffusion péridurale avec coloration des radicelles dorsales et du ganglion dorsal



RCV7G -7 ml Bleu
Absence de diffusion péridurale

Cadavre 2

Isolement du segment C7-C8 de la ME avec les RCV7/8 G

Ouverture longitudinale des méninges

RCV7G -7 ml Bleu
RCV8G -7 ml Bleu

Absence de diffusion sous-arachnoïdienne

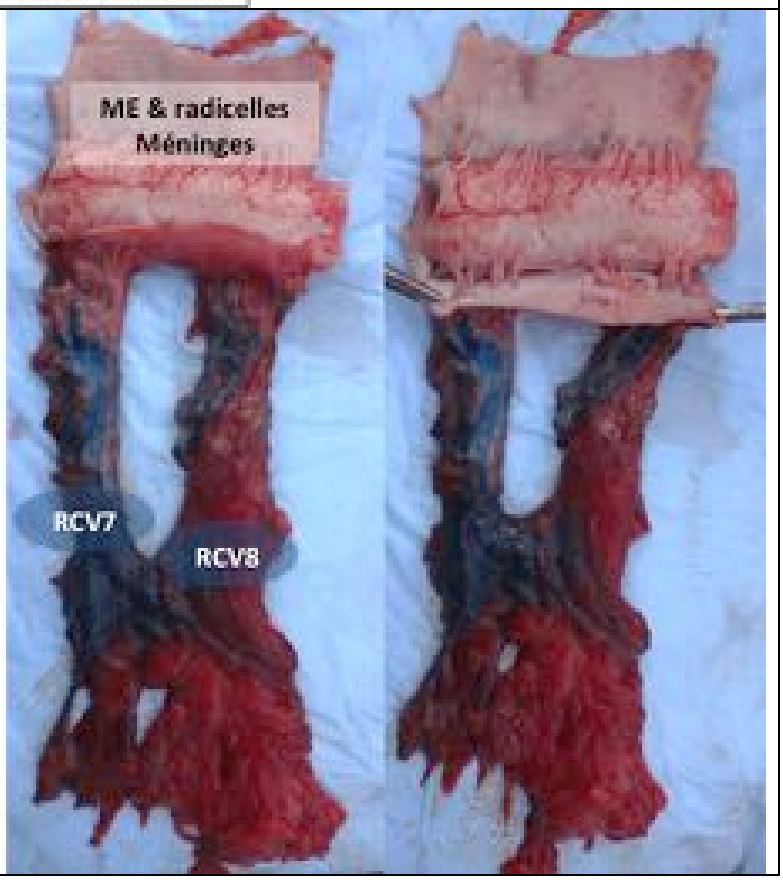
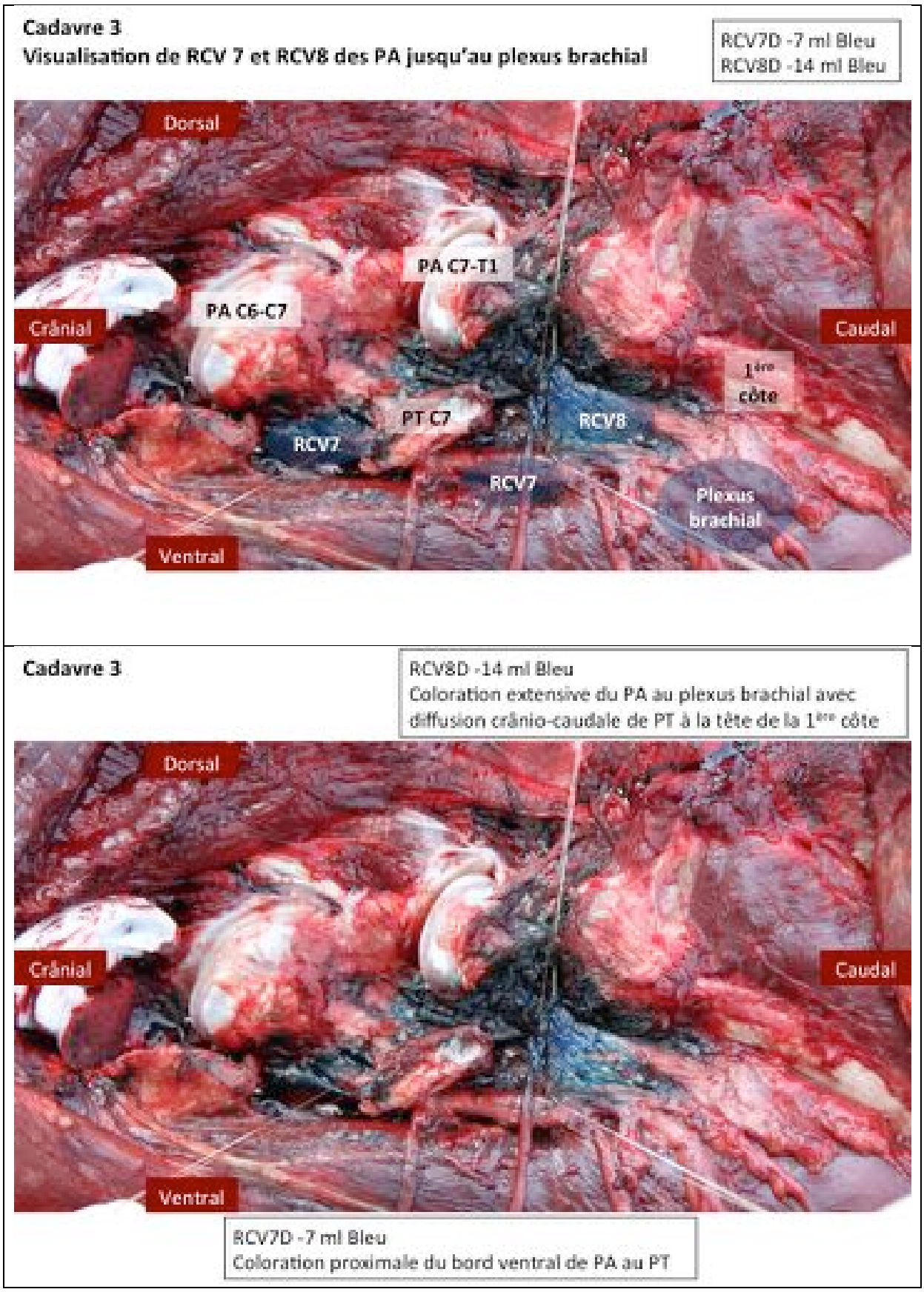
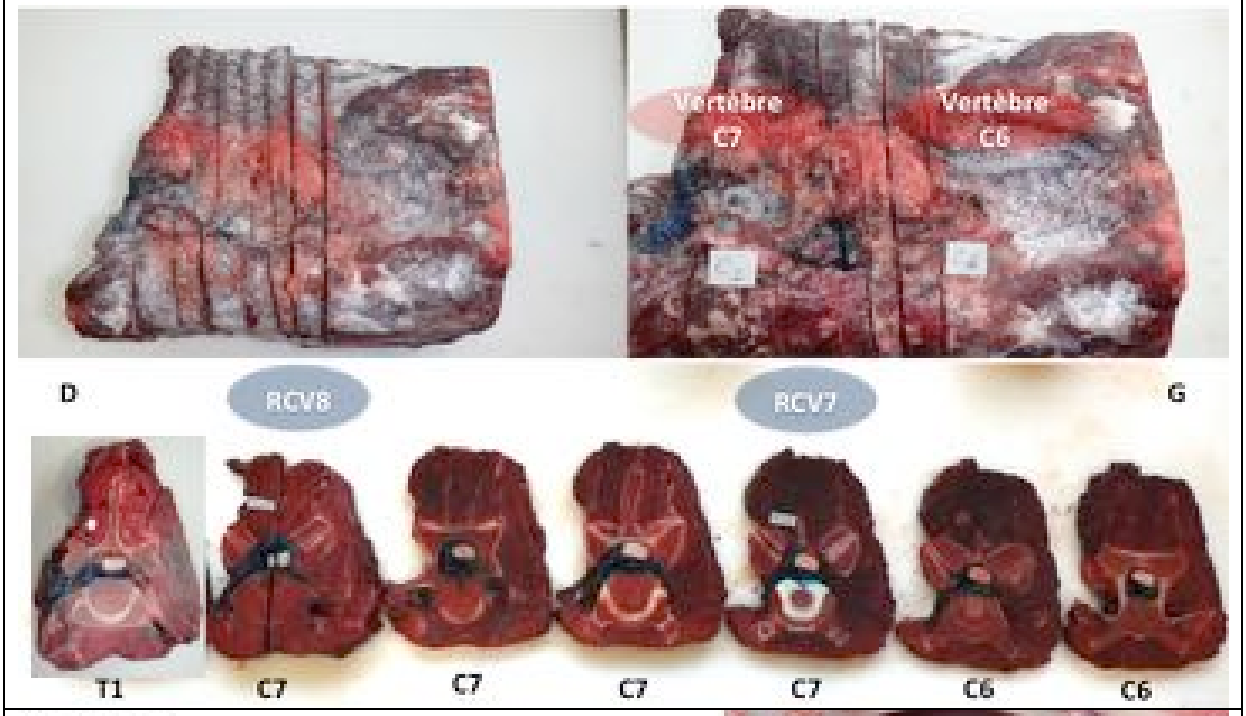


Figure B-3 : Photos de la dissection des RCV - Cadavre 3

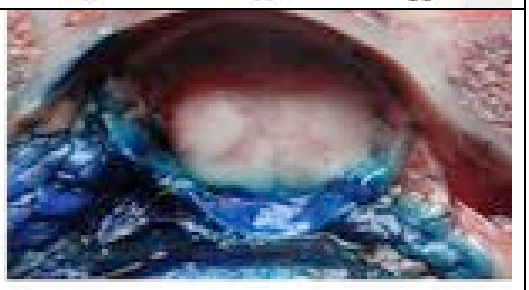


Cadavre 3
Coupes transversales et longitudinales de la colonne cervicale caudale après congélation



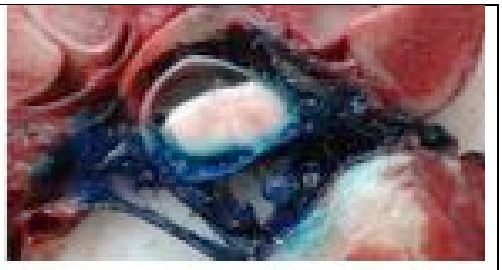
Cadavre 3
Coupes transversales de C7 et T1

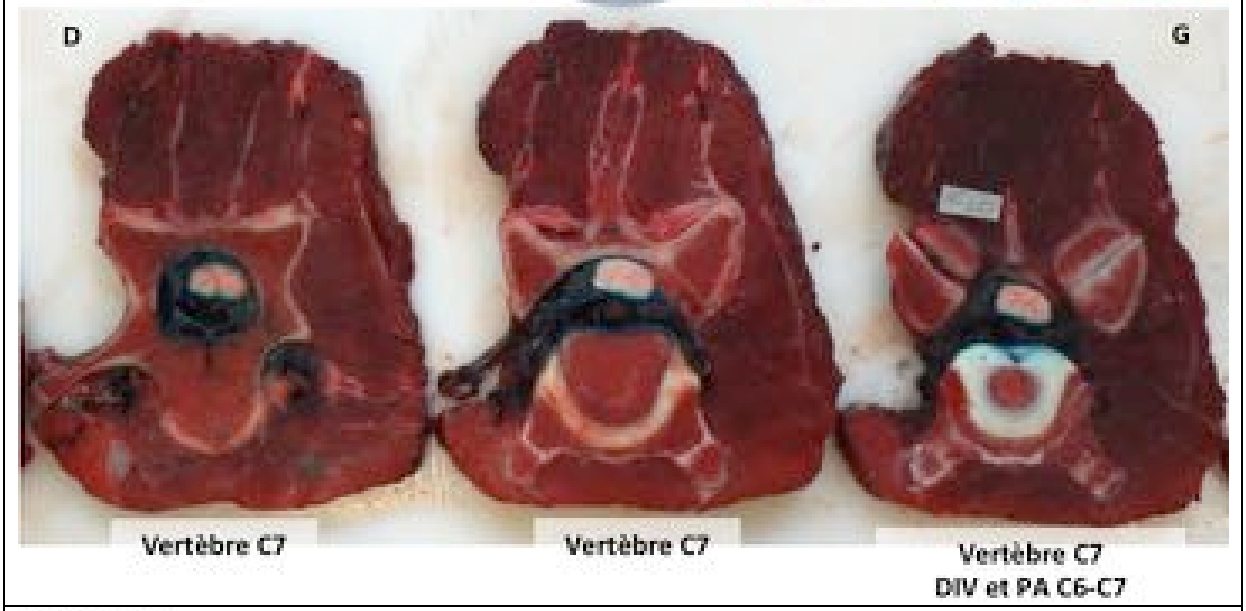
Coloration péridurale extensive traversant le plan sagittal. La coloration s'est progressivement étendue au cours de la décongélation des pièces anatomiques.



Cadavre 3
Coupes transversales de C7

Coloration péridurale extensive traversant le plan sagittal. La coloration s'est progressivement étendue au cours de la décongélation des pièces anatomiques.





Cadavre 3
Coupe longitudinale de C6 après congélation

Coloration de l'espace péridural et diffusion à travers les vaisseaux jusqu'au trou nourricier du corps vertébral. La coloration s'est progressivement étendue au cours de la décongélation des pièces anatomiques.

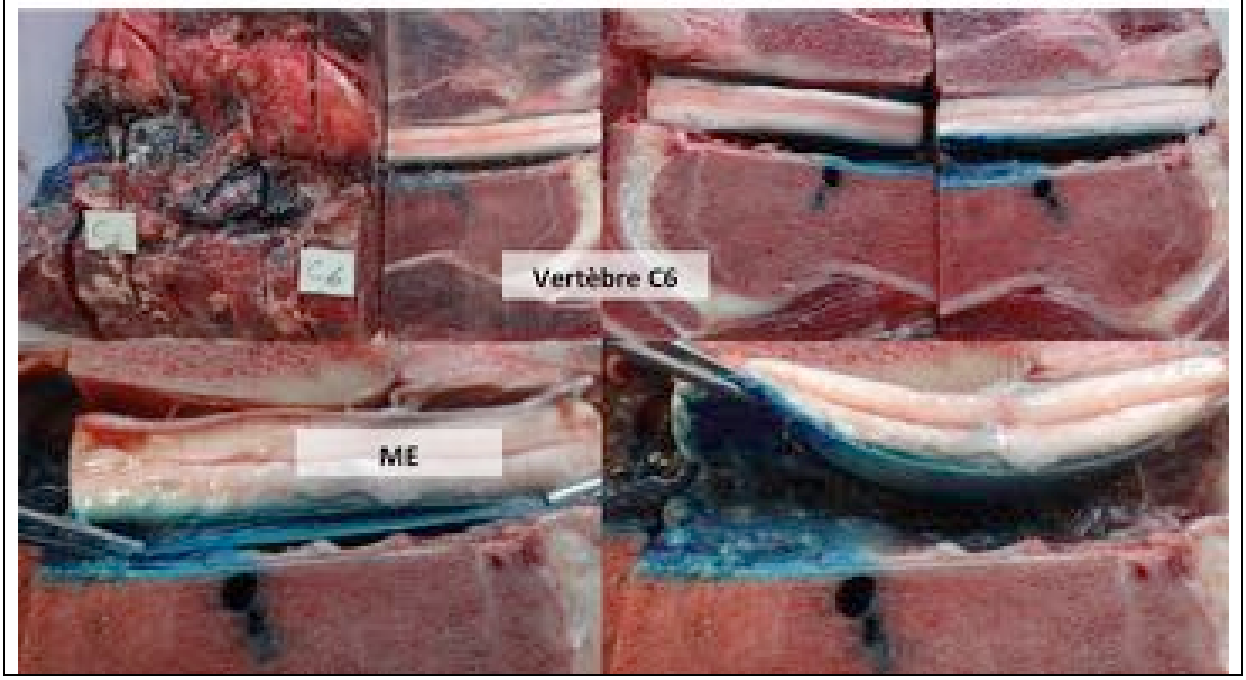
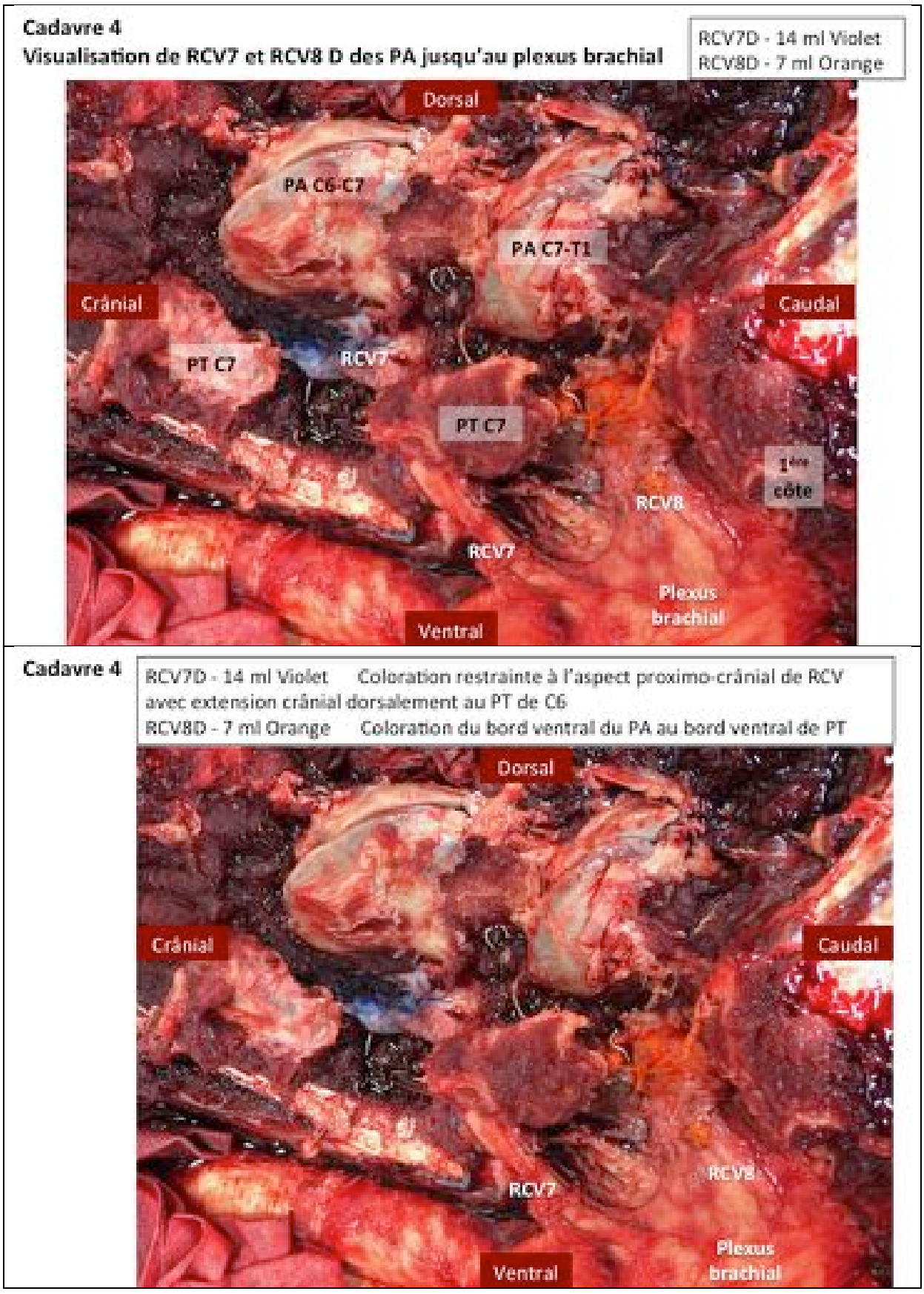
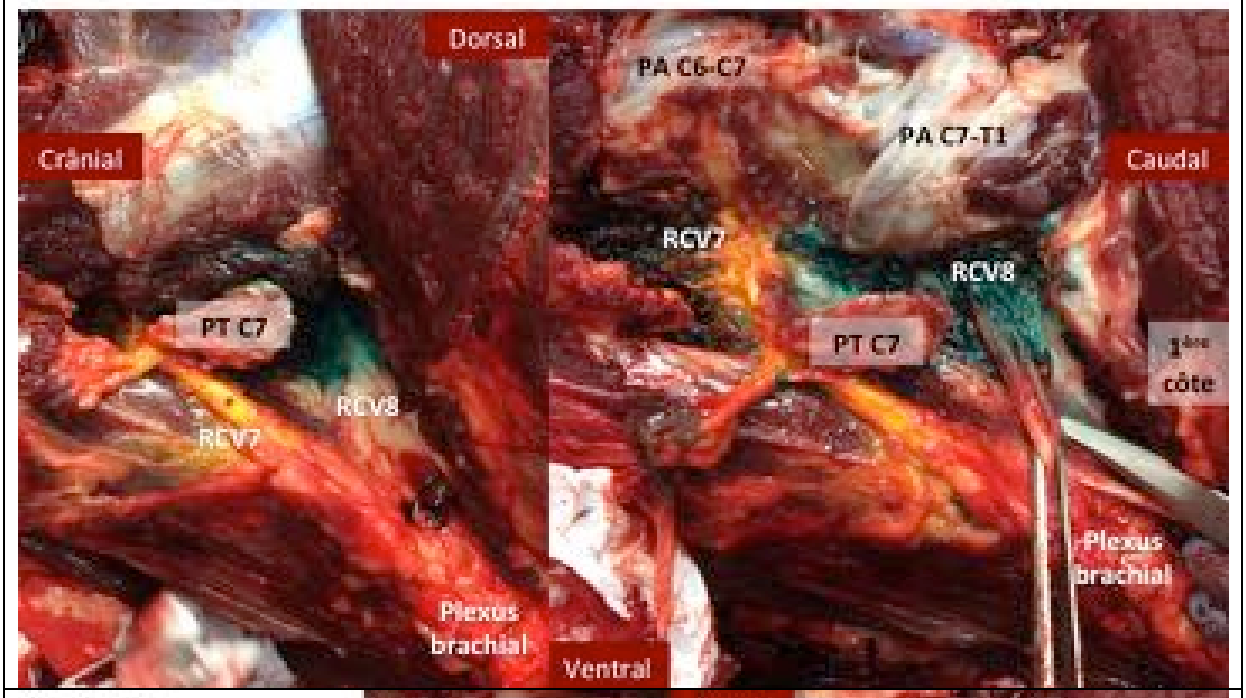


Figure B-4 : Photos de la dissection des RCV - Cadavre 4



Cadavre 4
Visualisation de RCV7 et RCV8 G des PA jusqu'au plexus brachial

RCV7G - 7 ml Jaune
RCV8G - 14 ml Vert



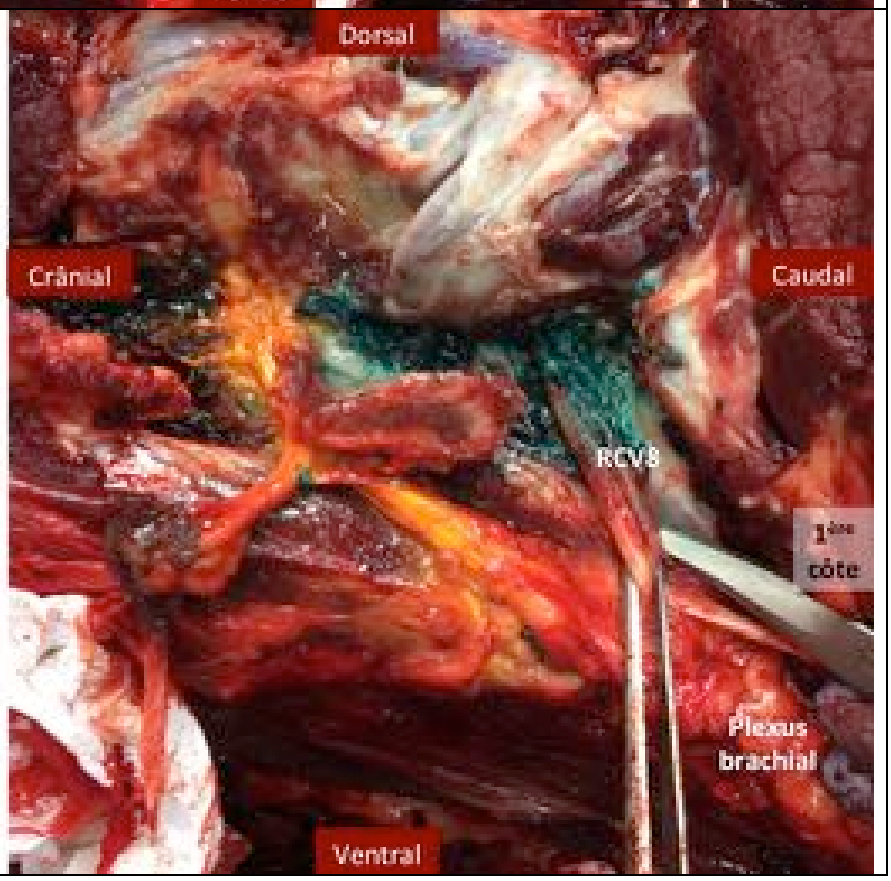
Cadavre 4

RCV7G - 7 ml Jaune

Coloration étendue du PA au plexus brachial ainsi que du rameau dorsal (réclné ventrocrânialement)

RCV8G - 14 ml Vert

Coloration proximale du PA au PT avec extension crâniale dorsalement au PT
de C7



Cadavre 4
RCV7 et RCV8 G après ouverture du canal vertébral
Isolement du segment C7-C8 de la ME, des RCV7/8 G et des radicelles de RCV7/8 D
Ouverture longitudinale des méninges

Le site d'injection a été qualifié de :
- **proximal** lors que l'injection était proche du processus articulaire, commentaire noté lors de l'injection et fait vérifié ensuite par la revue de l'image échographique (distance entre la pointe de l'aiguille et le bord ventral du PA < 1cm) ou
- **distal** lorsque l'injection était qualifiée d'adéquate et la distance entre la pointe de l'aiguille et le bord ventral du PA sur l'image échographique était > 1cm.

La diffusion des colorants autour des racines a été catégorisée selon 4 schémas de coloration :

1. **Schéma 1 : Coloration nerveuse localisée et proximale**
   Colorant couvrant l'aspect proximal du RCV sur son cours le long du corps vertébral entre le bord ventral du PA et le PT avec une diffusion crânio-caudale variable dorsalement au PT entre le corps vertébral et les muscles para-vertébraux profonds.
2. **Schéma 2 : Coloration nerveuse proximale s'étendant à l'espace péridural**
   Même diffusion que dans le schéma 1 avec une diffusion proximale supplémentaire dans l'espace péridural avec coloration de la dure-mère majoritairement au niveau des radicelles dorsales et du ganglion dorsal.
3. **Schéma 3 : Coloration distale le long du tronc nerveux**
   Coloration de RCV du bord ventral du PA sur toute sa longueur jusqu'à sa limite de fusion dans le plexus brachial.
4. **Schéma 4 : Coloration extensive du tronc nerveux**
   Coloration de la racine de l'espace épidural à sa limite de fusion dans le plexus brachial.

Les résultats en fonction du schéma de coloration et de l'aspect proximal ou distal de l'injection sont rassemblés dans le tableau suivant.

Tableau B-5 : Schémas de coloration et sites d'injection par RCV

Cadavres	RCV	Schéma de coloration	Site d'injection
Cadavre 1	RCV6G 7 ml	3	Distal
Cadavre 1	RCV7G 14 ml	2	Proximal
Cadavre 2	RCV7G 7 ml	3	Distal
Cadavre 3	RCV7D 7 ml	2 (congélation)	Proximal
Cadavre 4	RCV7D 14 ml	1	Proximal
Cadavre 4	RCV7G 7 ml	4	Proximal
Cadavre 2	RCV8G 7 ml	2	Proximal
Cadavre 3	RCV8D 14 ml	4 (congélation)	Distal
Cadavre 4	RCV8D 7 ml	1	Distal
Cadavre 4	RCV8G 14 ml	1	Distal

Un traitement statistique avec un test exact de Fisher de l'effet du site d'injection et de la variation du volume sur les schémas de diffusion n'a pas permis de relever de différence significative (Grade 1-2/ Grade 3-4 versus injection proximale ou distale, p=0,5 avec OR 4,171 pour IC 95% ; Grade 1-2/ Grade 3-4 versus 7 ou 14 ml p =1 avec OR 0,698 pour IC 95%).

b) Résultats et discussion en fonction des schémas de diffusion des colorants tissulaires

Issus du manuscrit présent en annexe.

Results

The C7 and C8 ventral nerve roots could be identified by US in all horses. A total of 10 injections were performed. Five out of 6 MB injections were successful with one wrong location on C6. Five injections were qualified as proximal and 5 as distal (Table 1). All ventral roots had a stained portion and only 3 injections lead to coloration of the dorsal *ramus* proximal portion (2 C8-MB, 1 C7-TD). Limited staining of the nerve distally to the AP (pattern 1, table 1) was encountered on 2 C8-TD and 1 C7-TD roots. A similar staining with a proximal extension to the epidural space (pattern 2) was found for 1 C8-MB and 2 C7-MB roots, of which one reached the subarachnoid space. Two roots (C6-MB and C7-MB) had a distal staining from the AP toward the plexus (pattern 3) and the last two roots (C8-MB and C7-TD) had a larger staining from the epidural space to the plexus (pattern 4). Four proximal injections out of 5 resulted in epidural spreads and one mixed epidural/subarachnoid diffusion compared to only one distal injection out of 5. Overall extent of nerve staining appeared more limited with TD than with MB. The effect of volume was not clearly recognizable. All the injections were considered as nerve root selective although a C8-TD coloration extended cranially along the dorsal aspect of C7 TP and nearly reached the caudal border of C7 nerve root and 2 MB colorations (1 C8, 1 C7) reached the limit of the brachial plexus. After 5 days of freezing, transverse sections of the third C7-MB and C8-MB roots showed a extensive MB diffusion into the vertebral canal reaching proximal and distal vertebral segments (C6-T1) and crossing midline. The meninges, the venous sinuses and the surrounding vertebral bone were deeply stained. The extensive diffusion was attributed to the storage time and the evaluation technique was therefore not pursued.

Discussion

US visualization of caudal cervical nerve ventral *ramus* was easily achieved with a curvilinear 5-8 Mz US probe and allowed for adequate needle positioning. Some degree of *rigor mortis* may have precluded from ideal neck/foreleg positioning in horse 1 and, associated with the cervical segment identification method, resulted in injections of C6-C7 instead of C7-C8 ventral nerve roots. More precise methods have been described as the use of external radio-opaque markers for cervical radiographs before US (Mattoon et al. 2004) or US identification of the deep cervical artery passing caudodorsally to C7-T1 APJ (Denoix 2017). These methods were not applicable to the experiment settings but would be easily undertaken on standing horses in a clinical setting.

Needle tip positioning over the nerve trunk was close to AP in 5 of 10 injections and 4 of 5 C7 injections. The anatomic conformation of C6 vertebral TP with a marked dorsal tubercle hindered C7 root distal portion visualization and may have contributed to the proximal injections. Due to its large size and width, C8 root was the easiest to identify in longitudinal section for an in plane US-guided injection. It resulted predominantly in distal injections.

All nerves had a stained area easily identified at the AP ventral border and extending in 3 axes: proximally into the epidural space toward the vertebral canal, craniocaudally in the deep paravertebral muscles along the vertebral bodies and dorsally to the TP, or distally along the nerve toward the brachial plexus. Half of the 10 injections and 4 of 5 C7 injections resulted in a transforaminal diffusion. One reached the subarachnoid space and happened to be the injection done the closest from the AP (less than 5 mm from the AP ventral border). The safety of transforaminal injections in humans has been questioned following recognition of major complications after accidental intradural or intra-arterial injections (Anderberg et al. 2006). The study was undertaken on equine cadavers so the risk of intravascular injection and arterial wall damage could not be fully tested. Recommendations to limit the risk of complications encompass injections along the nerve root distally to the AP with a dorsal approach to the nerve, the use of US allowing for vulnerable vessel identification and the use of non-particulate steroids. The absence of epidural spread in US-guided perineural corticosteroid injections have not been linked to decrease efficacy compared to transforaminal injections in human radicular pain (Yamauchi et al. 2011).

The extent of diffusion could not be linked to a volume effect probably due to the small sample size. The injections were considered as root selective. However 2 HV and 1 LV injections nearly reached the cranial or caudal adjacent root via a cranial diffusion over the TP or a distal migration to the limit of the brachial plexus. Even though the dye carrier solution used aimed at reproducing a clinical setting, it cannot be certain that drugs would not reach the contiguous root. More cadaveric injections need to be done to confirm the adequate volume but both volumes stained consistently the ventral ramus over its course on the vertebral body from the AP ventral border to the TP level.

MB has proven its interest in nerve staining to document perineural injection techniques in animal cadaveric studies. But the concern it may provide a large diffusion along and around the target nervous structure due to its solubility in aqueous solution has been raised by Portela et al.. It was witnessed during the dissection that MB continued to diffuse and the extended diffusion in the vertebral canal of the delayed frozen sections seems to confirm it. The TD showed limited diffusion patterns in 3 injections out of 4 and no further expansion during the dissection could be seen. It is possible that MB overestimates and TD underestimates the extent of drug diffusion and do not account for a drug concentration gradient.

In conclusion, the perineural injection of C7 and C8 ventral nerve root using US guidance may potentially represent a reliable and accurate technique for local perineural drug delivery. The present results suggest that a proximal injection along the nerve may favor a transforaminal diffusion reaching the epidural space when a more distal injection may target the nerve on its course over the vertebral body. The volumes (7-14mL) appear adequate. Clinical applicability and efficacy still have to be investigated and such studies are now in progress.

c) Résultats et discussion en fonction de l'étendue de la coloration du tronc nerveux

Issus du manuscrit présent en annexe.

Results

The *ramus ventralis* (*RV*) could be identified by US in all cadavers. Cervical segment identification was erroneous on one MB cadaver leading to C6 and C7 *RV* injections instead of C7 and C8. The 10 performed injections corresponded to 1 C6-7mL, 3 C7-7mL, 2 C7-14mL, 2 C8-7mL and 2 C8-14mL. Five injections were qualified as proximal and 5 as distal. All the injections were successful in staining a portion of the nerve trunk. Eight *RV* had a uniform complete transversal staining of the nerve trunk that covered longitudinally a distance greater than 2 cm, of which three RV (2 C7-7mL, 1 C8-14mL) were colored from the AP to the limit of the brachial plexus. One C7-14mL and one C8-7mL *RV* showed incomplete transversal staining with a more concentrated color on its half cranial aspect and a longitudinal coverage of less than 2 cm. The effect of volume was not clearly recognizable.

After five days of freezing, C7 and C8 *RV* transverse sections on the third MB cadaver showed an extensive MB diffusion into the vertebral canal reaching proximal and distal vertebral segments (C6-T1) and crossing midline. Meninges, venous sinuses and surrounding vertebral bone were deeply colored. The extensive diffusion was attributed to the storage time. The evaluation technique was therefore not pursued but the data was included in the epidural spread evaluation as time would be relevant clinically. Four proximal injections out of five resulted in epidural spreads and one mixed epidural/subarachnoid diffusion compared to only one distal injection out of five that happened to be evaluated by the frozen section. Apart from trans-sagittal epidural spread on the frozen sections, all injections were considered nerve selective.

Discussion

This study evaluated the nerve coloration extent of US-guided C7 and C8 *RV* perineural injections in horses. The technique was effective in staining the entire width of the nerve trunk on a length greater than 2 cm in eight injections out of ten.

US visualization of C7 and C8 *RV* was easily achieved with a micro-convex 5-8 Mz US probe and allowed for adequate needle positioning. Some degree of *rigor mortis* may have precluded from ideal neck/foreleg positioning in horse 1 and, associated with the cervical segment identification method, resulted in injections of C6-C7 instead of C7-C8 *RV*. More precise methods have been described as the use of external radio-opaque markers for cervical radiographs before US (Mattoon et al. 2004) or US identification of the deep cervical artery passing caudodorsally to C7-T1 APJ (Denoix 2017). These methods were not applicable to the experiment settings but would be easily undertaken on standing horses in a clinical setting.

The injection site along the nerve trunk was chosen where the nerve was best visualized and was therefore not at a standardized distance from the AP, mainly due to individual neck conformation and body positioning partially dictated by some degree of *rigor mortis* on the first three cadavers. As a result, needle tip positioning over the nerve trunk was close to AP in five of ten injections and four of five C7 injections. The anatomic conformation of C6 vertebral TP with a marked dorsal tubercle hindered C7 RV distal portion visualization and may have contributed to the proximal injections. Due to its large size and width, C8 root was the easiest to identify in longitudinal section for an in plane US-guided injection. It resulted predominantly in distal injections.

The length of nerve staining > 2 cm was compatible with a clinically effective blockade of nerve conduction for eight injections, of which 50% resulted in staining of the complete *RV* length (Campoy et al. 2008). The absence of identifiable volume effect has to be linked to the small sample size, main limitation of this pilot study. The injections were considered nerve

selective but may not reflect exactly diffusion over time in live horses as suggested by the effect of freezing storage duration on epidural spread. On four injections, the dye reached the limit of the brachial plexus or diffused craniocaudally over the PT nearly reaching the adjacent *RV* (2 MB and 2 TD). It can be hypothesized that, with more time between the injection and the dissection, nerve selectivity would have been lost. Even though the used dye carrier solution aimed at reproducing a clinical setting, it cannot be certain that drugs would not reach the contiguous *RV*.

MB has proven its interest in nerve staining to document perineural injection techniques in animal cadaveric studies. But the concern it may provide a large diffusion along and around the target nervous structure due to its solubility in aqueous solution has been raised by Portela et al.. It was witnessed during the dissection that MB continued to diffuse and the extended diffusion in the vertebral canal of the delayed frozen sections seems to confirm it. Contrarily, TD showed no further expansion during the dissection and may represent an underestimation of drug diffusion. TD have been developed for tumor margin marking and therefore formulated to adhere to tissue. Used for the present study scope, it is hypothesized that it more accurately tests for adequate needle placement and volume diffusion compared to MB as the stained area is the result of the needle placement the volume/pressure of the injection and the tissue reaction. The intrinsic diffusing property of the dye is only linked to the dilution solution and not to the dye *per se*.

Half of the ten injections and four of five C7 injections resulted in a transforaminal diffusion. One reached the subarachnoid space and happened to be the injection done the closest from the AP (less than 5 mm from the AP ventral border). The safety of transforaminal injections in humans has been questioned following recognition of major complications after accidental intradural or intra-arterial injections (Anderberg et al. 2006). The study was undertaken on equine cadavers so the risk of intravascular injection and arterial wall damage could not be fully tested. Recommendations to limit the risk of complications encompass injections along the nerve root distally to the AP with a dorsal approach to the nerve, the use of US allowing for vulnerable vessel identification and the use of non-particulate steroids. The absence of epidural spread in US-guided perineural corticosteroid injections have not been linked to decrease efficacy compared to transforaminal injections in human radicular pain (Yamauchi et al. 2011).

In conclusion, the perineural injection of C7 and C8 *RV* using US-guidance may potentially represent a reliable and accurate technique for local perineural drug delivery. The present results suggest that a proximal injection along the nerve may favor a transforaminal diffusion reaching the epidural space when a more distal injection may target the nerve on its course over the vertebral body. The volumes (7-14mL) appear adequate but need to be confirmed in a live situation. Clinical applicability and efficacy still have to be investigated and such studies are now in progress.

3. Synthèse des résultats de l'étude cadavérique et de leur interprétation

Les **conditions de réalisation des injections** écho-guidées sur cadavre sont moins optimales que sur cheval debout pour les raisons suivantes :

- Corps en décubitus latéral plus difficile à positionner (position et incurvation de l'encolure par rapport au membre antérieur et au thorax), en particulier lors de la présence de rigidité cadavérique ;

- Repérage des segments vertébraux par palpation compliqué par la rigidité cadavérique, (indisponibilité de la radiographie, absence de visualisation possible de l'artère cervicale profonde au dessus des PA C7-T1) ;
- Images échographiques de qualité inférieure (déshydratation des tissus par le froid et gaz de putréfaction).

Les injections ont toute été cependant réalisables avec une erreur de localisation d'un segment vertébral sur le cadavre 1, pour lequel les RCV injectés ont été RCV6 et RCV7.

Le **bleu de méthylène** (BM) a été performant pour la coloration extensive des structures nerveuses. Toutefois, sa fixation n'étant pas définitive, une attention particulière pendant la dissection a dû être portée à ne pas contribuer à l'extension de la coloration aux tissus adjacents lors de la manipulation des structures colorées. Sur les pièces congelées du cadavre 3, la diffusion du colorant dans l'espace péridural a été la plus extensive et a augmenté au fur et à mesure de la décongélation des pièces. Il a aussi été possible de voir des trainées colorées sur le passage de la scie. L'effet d'un facteur temps sur la diffusion est donc à considérer. L'analyse par CT congelées a donc été abandonnée. Par ailleurs, du fait de sa nature hydrophile, il est possible d'émettre l'hypothèse que le bleu de méthylène surestime la diffusion d'autres substances comme les anesthésiques locaux ou les corticoïdes en solution.

Les **colorants tissulaires marqueurs permanents** (CTMP) ont eu une diffusion plus limitée que le bleu et n'ont pas continué de diffuser pendant la dissection. Ils ont bien colorés les rameaux nerveux, la couleur jaune apparaissant comme la plus visible lors d'une dissection sans saignée du cadavre avant le vert, le violet et l'orange. Contrairement au bleu, il est possible de penser qu'ils sous-estiment la diffusion d'autres substances.

Le **site d'injection péri-neurale du RCV** en rapport avec le bord ventral des PA semble avoir un effet sur le schéma de diffusion du colorant (BM et CTMP) avec une tendance à la diffusion péridurale et crânio-caudale entre PA et PT lors d'injection proximale (pointe de l'aiguille à moins d'un cm du PA) et à une diffusion tubulaire le long de l'axe du tronc nerveux lors d'une injection plus distale (1-2 cm du PA). Suivant l'objectif spatial de l'injection, l'un ou l'autre site d'injection pourrait être ainsi privilégié. Nonobstant, **il est nécessaire de considérer lors d'une injection péri-neurale du RCV qu'une diffusion péridurale voire une injection sous-arachnoïdienne sont possibles.**

Un **effet volume sur l'étendue de la coloration** n'a pas pu être identifié. Il est possible toutefois de lister les observations suivantes :

- la largeur du RCV8 par rapport au RCV7 fait requérir un volume probablement supérieur pour obtenir une coloration étendue ;
- la faible étendue de coloration de RCV8 avec 7 et 14 ml de CTMP permet d'émettre l'hypothèse que les 2 volumes sont potentiellement insuffisants pour ce colorant si une coloration extensive du rameau est recherchée.

La fixation du colorant sur les structures nerveuses n'a pas permis de mettre en évidence un gradient de coloration aux extrémités des zones de coloration. Ce modèle sur cadavre, qui en plus ne prend pas en compte la résorption des substances injectées par le réseau capillaire et lymphatique, ne reproduit pas la situation clinique dans laquelle un gradient de concentration de la substance active injectée est présent avec une décroissance centrifuge de la concentration autour du site d'injection, et est responsable d'un effet clinique possiblement graduel. Ces hypothèses sont à évaluer dans la deuxième partie de l'expérimentation avec le modèle *in vivo*.

C. Partie expérimentale 2 : Etude des effets de l'anesthésie péri-neurale des rameaux cervicaux ventraux 7 et 8 chez le cheval

Cette étude chez le cheval a consisté en l'injection péri-neurale par écho-guidage d'une solution de lidocaïne mélangée à un produit de contraste le iohexol des rameaux ventraux des nerfs spinaux cervicaux 7 et 8 suivie d'un contrôle radiographique et d'une évaluation clinique jusqu'à disparition des anomalies locomotrices provoquées sur 4 juments trotteuses réformées des courses. Les objectifs principaux de l'étude étaient d'observer radiographiquement l'étendue de la diffusion du produit de contraste juste après l'injection et d'observer les modifications induites sur la locomotion du cheval.

1. Matériel et Méthodes

a) Comité d'éthique

Le projet a été évalué par le comité d'éthique régional ANSES/ENVA/Université de Paris-Est Créteil et a reçu l'autorisation COMETH 16-025.

Le projet initial prévoyait la réalisation des expérimentations *in vivo* puis de la phase cadavérique sur les mêmes individus dans le but que chaque animal soit son propre témoin et qu'une correspondance maximale entre signes *in vivo* et diffusion péri-neurale post-mortem existe, comme il a été fait et rapporté dans des études similaires sur d'autres espèces animales (Bagshaw et al. 2009, Campoy et al. 2008 et 2010, Rioja et al. 2012).

Le comité d'éthique a refusé l'euthanasie des chevaux utilisés *in vivo* et requis la réalisation de la phase anatomique sur cadavres de chevaux euthanasiés pour raison sans lien avec l'expérimentation et dont le corps était disponible pour une dissection. Le recrutement de cadavres avec une encolure de conformation similaire sans lésion dans le temps imparti à l'étude a représenté une des difficultés de l'étude.

b) Animaux et critères d'inclusion

Quatre juments Trotteur Français réformées des courses de 3 à 5 ans (tableau C-1) ont été sélectionnées selon les critères suivants :

- Tempérament doux et docile,
- Caractère pas trop peureux sans être dominant,
- Aplombs normaux des membres antérieurs (léger valgus acceptable),
- Absence de déformation osseuse, tendineuse et de distension articulaire des membres antérieurs,
- Absence de boiterie sur les 4 membres (examen locomoteur détaillé ci-après dans le paragraphe d)
- Sabots de bonne conformation avec corne en bon état
- Absence d'anomalie à l'examen clinique de la région cervicale et à l'examen radiographique de la colonne cervicale et thoracique crâniale (T1).

Tableau C-1 : Descriptif du troupeau des 4 juments sélectionnées

Juments	Age	Poids	Tempérament
Cranberry	4 ans	408 kg	Docile et respectueuse, réaction de fuite quand apeurée Caractère effacé dans le troupeau mais dominant pour l'alimentation
Do it like a star	3 ans	500 kg	Très interactive avec l'homme et pas peureuse, patience limitée mais augmentée par le travail soldé par un renforcement positif Caractère affirmé mais équilibré dans le troupeau
Dame	3 ans	423 kg	Très docile, pas peureuse, caractère assez effacée initialement mais qui s'est affirmé dans le troupeau
Baraka	5 ans	400 kg	Très docile et respectueuse, se fige quand est apeurée Dominée dans le troupeau

c) Santé, conditionnement et bien-être des juments

Les juments de race Trotteur Français ont été achetées chez un marchant de chevaux et ont été acheminées au Centre d'Imagerie et de Recherche sur les Affections locomotrices Equines (CIRALE) au minimum 1 mois avant les expérimentations. Elles ont été placées dans un grand paddock en respectant leur allotement d'arrivée deux par deux pour une quarantaine de 3 semaines. Pendant ces 3 semaines, elles ont reçu les soins suivants :

- vermifugation
- vaccination
- parage des sabots
- soins corporels adaptés : soin de plaie, traitement antifongique externe (Teigne de Do it), soin de pieds (abcès de Cranberry).
- alimentation foin et eau à volonté
- manipulation quotidienne dans le paddock avec récompense (pommes et carottes).

A la sortie de la quarantaine, les juments ont été transférées dans un pré avec une alimentation mixte herbe/foin en fonction de la poussée de l'herbe. Elles ont été pesées. Leur poids respectif a ensuite été suivi pendant la phase d'expérimentation. La semaine précédant le début des expérimentations, un examen locomoteur complet ainsi qu'un examen radiographique de la colonne cervicale jusqu'à sa jonction avec T1 ont été réalisés. Selon les trouvailles de l'examen clinique et radiographique, un examen échographique de toute région repérée suspecte a complémenté l'évaluation.

Les juments ont bénéficié des soins d'une palefrenière attitrée dont le travail essentiel a été de construire une relation de confiance et rassurante avec les juments quelque soit l'environnement. Pour cela, en plus des manipulations quotidiennes au pré, elles ont été mises en situation d'expérimentation quotidiennement pendant 5 à 10 jours pour qu'elles se familiarisent avec les lieux d'expérimentation (salle de radiologie, salle d'échographique, entrée/sortie/station dans la barre de travail) et qu'elles apprennent à rester immobile avec patience dans les différents lieux. Le déroulement de l'examen locomoteur statique et dynamique a aussi été répété quotidiennement pour créer une routine de travail afin d'obtenir une locomotion uniforme et régulière sans écart ou changement de vitesse du fait d'une sollicitation extérieure. Les sorties du pré et le travail ont systématiquement été récompensée par un repas au box avant un retour au pré. Lors des phases d'expérimentation, les juments étaient rentrées au box le soir précédant le jour d'injection et ressorties le lendemain de l'expérimentation. Les injections successives ont été espacées d'un minimum de 24 heures et jusqu' à 7-10 jours selon les juments et toujours réalisées après récupération complète (locomotion, comportement au box, appétit, transit digestif….).

d) Composition et attributions des injections

Pour chaque jument, l'ordre d'injection (RCV7/RCV8 ou RCV8/RCV7), le côté de l'encolure droit ou gauche et le volume d'anesthésique local mélangé au produit de contraste ont été randomisés par la technique de l'enveloppe fermée. Les produits injectés étaient mélangés dans la même seringue :

- Lidocaïne 2% (Xylovet [ND]) 5 ou 10 ml,
- Iohexol 300 mg/ml (Omipaque [ND]) 2 ou 4 ml ;

ce qui représentait un volume total de 7 ou 14 ml par injection.

e) Injections péri-neurales écho-guidées de RCV 7 et RCV8

Les injections ont été réalisées dans la salle d'échographie du CIRALE. La préparation pour la réalisation de l'anesthésie tronculaire de RCV7 ou RCV8 comprenait les étapes suivantes :

- Tonte de la région cervicale caudale basse ;
- Désinfection chirurgicale de la zone par 3 savonnages à la polyvidone iodée suivis de l'alternance de 3 pulvérisations de polyvidone iodée en solution et essuyées avec une compresse d'alcool à 70° ;
- Habillage de la sonde échographique dans un doigt de gant contenant du gel de contact ;
- Préparation et manipulation stérile des aiguilles, des seringues et de la sonde échographique (1 opérateur réalisant l'échographie et 1 opérateur plaçant l'aiguille et réalisant l'injection)
- Repérage échographique du RCV à anesthésier (technique d'injection détaillé dans le paragraphe A) et ajustement du positionnement du membre antérieur ispsilatéral et de l'incurvation de l'encolure pour optimiser l'image et le placement de l'aiguille ;
- Application d'un moyen de contention physique à la jument (pose d'un tord-nez) pour immobiliser la jument ;
- Vérification de l'écho-localisation ;
- Anesthésie sous-cutanée et intramusculaire sur 1,5 cm de profondeur du point d'insertion de l'aiguille,
- Insertion de l'aiguille spinale montée sur une tubulure de 25 cm (espace mort de 1,5 ml) branchée à la seringue d'anesthésique local (produits et volumes injectés : lidocaïne 2% 5 ou 10 ml, iohexol 300 mg/ml 2 ou 4 ml soit un volume total de 7 ou 14 ml)
- Enregistrement vidéo des images échographiques pendant l'injection.

A la fin de l'injection, le tord-nez était immédiatement enlevé et la jument déplacée dans la salle adjacente de radiologie pour la prise d'un cliché radiographique cervical caudal incluant la vertèbre T1 en mettant la cassette contre le côté injecté de l'encolure (cassette sur l'encolure droite pour une injection du RCV droit et rayons X traversant l'encolure de gauche à droite).

La jument était alors sortie du bâtiment sur l'aire d'examen locomoteur pour un examen locomoteur statique et dynamique détaillé dans le paragraphe suivant. Un deuxième contrôle radiographique été réalisé entre 30 et 45 minutes après l'injection pour les premières expérimentations.

f) Examen clinique

L'examen clinique pendant l'expérimentation comportait les éléments suivants :

- un examen locomoteur dynamique standardisé filmé en clips successifs de chaque situation d'examen;
- un examen statique pour observer la jument en station, toute modification du polygone de sustentation, l'apparition de zones de sudation et réaliser un test de sensibilité cutanée sur les dermatomes innervés par les nerfs issus de RCV 7 ou RCV8 ainsi que ceux adjacents.

La description de l'examen locomoteur dynamique et des temps de réalisation sont détaillés dans le tableau C-2. Pour se faire, les juments étaient tenues en main par leur palefrenière avec un filet et une longue plate longe. Toutes les situations d'examen dynamique ont fait l'objet d'un enregistrement vidéo avec 2 vues pour les déplacements en ligne droite (prise de vue latérale sur le côté du cheval et prise de vue fronto-caudale du cheval se déplaçant vers la caméra puis s'en éloignant). La durée de réalisation d'un examen dynamique complet représente 5 à 7 minutes. Sa réalisation au complet était tributaire de garantir la sécurité des manipulateurs et des juments selon le degré de dysfonctionnement locomoteur résultant de l'anesthésie du RCV.

Tableau C-2 : Description de l'examen dynamique et des temps de réalisation

Situations de l'examen dynamique	Description de l'examen	Temps de répétition
3 huit de chiffre au pas	Marcher en main en décrivant un 8 (2 cercles à main opposé) sur sol dur	T-1 Examen initial pré-injection T0 : Injection T+5-10 min : T1, premier examen après la radiographie de contrôle T+10-15 min : T2, 2ème examen post-injection T+20-30 min : T3 T+45 min : T4 T+60 min : T5 T+90 min : T6 T+2 h : T7 T+2 h 30 : T8 (optionnel) T+3 h : T9 T+3 h 30 : T10 (optionnel) T+4 h : T11 T+5 h : T12 (optionnel) T+12-24 h : examen du lendemain matin L'examen est réalisé pratiquement en continu sur les premières 30 min pour étudier les signes de la mise en place de l'anesthésie. Les temps optionnels sont utilisés lorsque les signes cliniques restent évolutifs après 2 h.
2 aller/retour au pas en ligne droite	Marcher en main au pas sur sol dur avec enregistrement vidéo latéral gauche et droit et fronto-caudal	
2 aller/retour au trot en ligne droite	Petit trot régulier en main au pas sur sol dur avec enregistrement vidéo latéral gauche et droit et fronto-caudal	
3 huit de chiffre au pas en pente avec trottoir	Marcher en main en décrivant un 8 (2 cercles à main opposé) avec montée et descente d'un petit trottoir et changement d'un sol dur (macadam) à un sol souple (herbe) sur un terrain légèrement en pente	
3 montées et descentes d'une butte	Montée et descente en main répétées 3 fois d'une butte courte en herbe (3 foulées) inclinée à 30-45°	

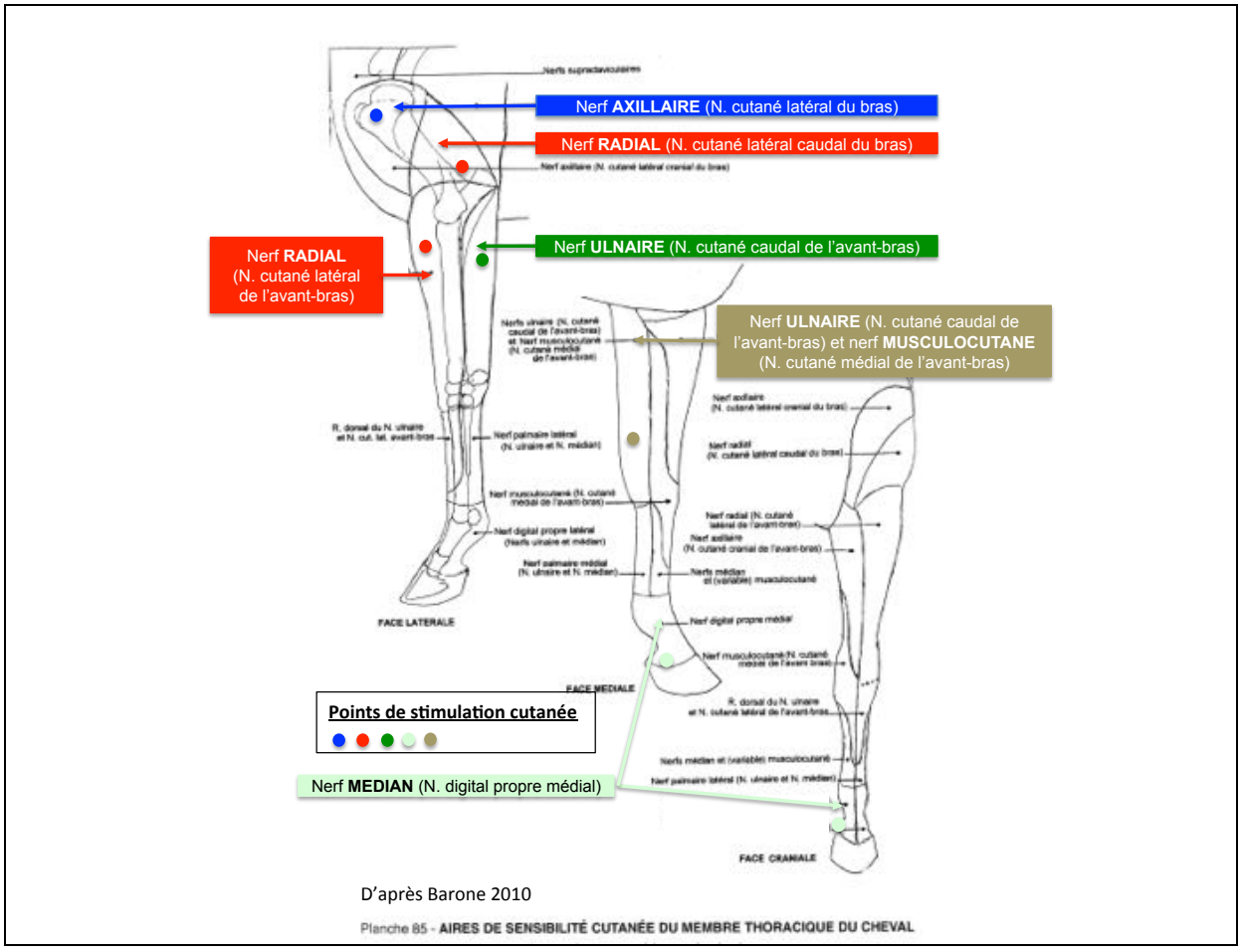
L'examen statique concernait en premier l'observation des juments à l'arrêt avec la forme du polygone de sustentation le plus souvent présent, le positionnement de l'encolure et la modification du polygone à la suite d'un abaissement de la tête et de l'encolure pour brouter. Les masses musculaires de l'encolure et de la ceinture thoracique ainsi que leurs tensions étaient aussi

évaluées. L'apparition de zone de sudation cutanée était recherchée avec documentation de l'étendue par photographie. Enfin, un test de sensibilité cutanée était entrepris avec un algomètre de pression (ProdPlus by TopCat Metrology) muni d'une sonde mousse de 2 mm de diamètre avec une vitesse d'application de la force de 4N/s. Un témoin positif était testé sur le thorax à mi-hauteur en arrière de la ligne du muscle triceps brachial. Un témoin négatif consistait à tester la sensibilité de la peau au niveau de l'anesthésie sous-cutanée réalisée pour l'injection écho-guidée. Les zones de sensibilité testées sur le membre correspondaient à un point par dermatome pour les territoires cutanés innervés par les nerfs radial, axillaire, musculo-cutané, médian et ulnaire.

Les points d'application de l'algomètre sont représentés sur la figure C-1 étaient les suivants :

1. Partie distal du muscle triceps brachial crânialement à l'olécrane sur le plat du chef latéral (nerf radial)
2. Caudalement à la pointe de l'épaule au niveau de l'extrémité distale du muscle deltoïde (nerf axillaire)
3. Sur la face latérale de l'avant bras entre le muscle extenseur radial du carpe et les extenseurs des doigts (nerf radial)
4. Au niveau de la veine céphalique proximalement à la châtaigne (nerfs axillaire et musculo-cutané)
5. Sur la face latérale des corps musculaires des muscles fléchisseurs (nerf ulnaire)
6. Sur la couronne en mamelle interne (nerf médian).

Figure C-1 : Localisation des points cutanés utilisés pour tester la sensibilité cutanée à l'algomètre de pression

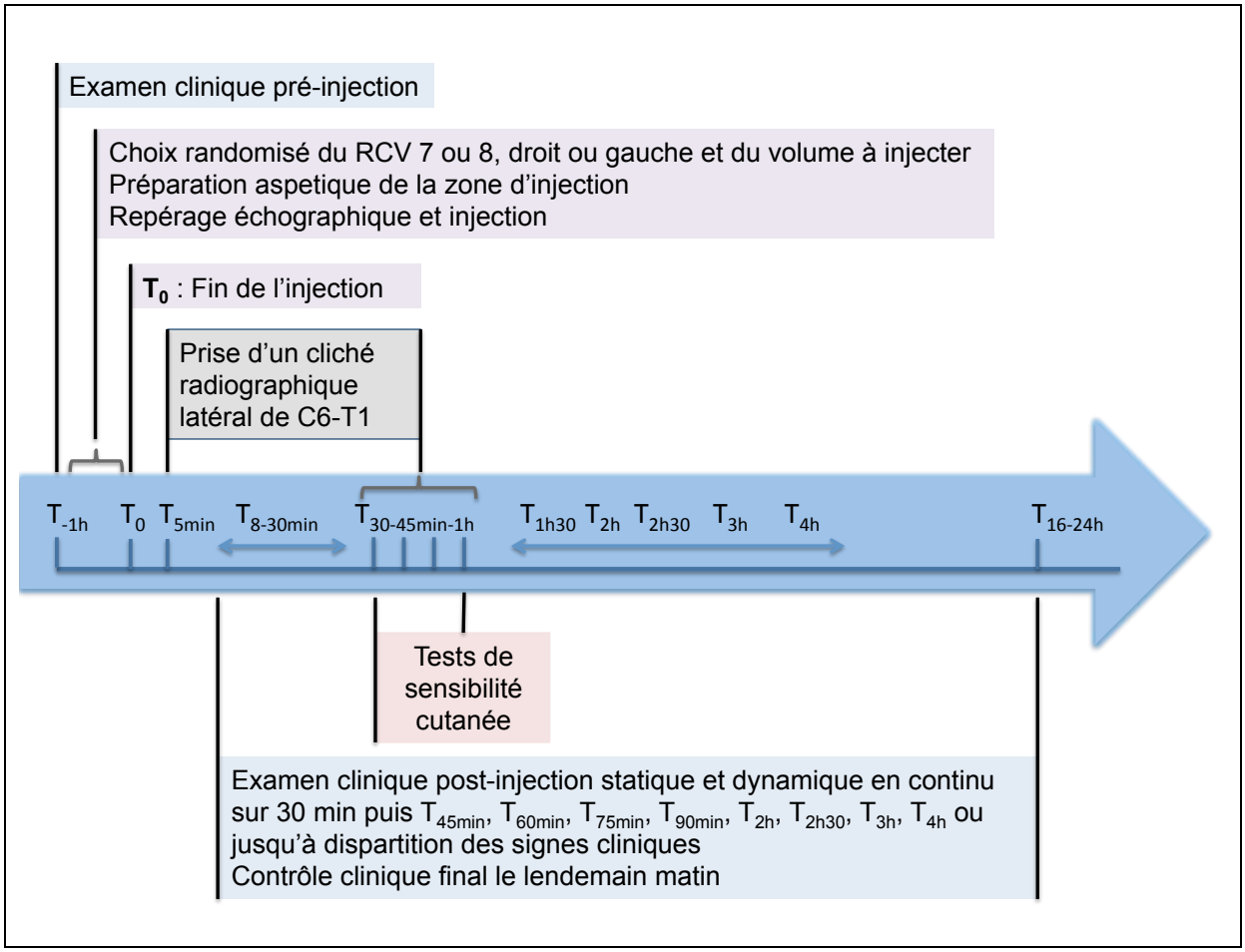


Les observations issues de l'examen dynamique et statique étaient renseignées sur une feuille d'examen pendant l'examen par l'investigateur principal (GTJ) en accord avec les observations de l'investigateur encadrant (JMD) puis complétées par le visionnage le jour même ou le lendemain des vidéos enregistrées (GTJ). Un visionnage supplémentaire a été réalisé au cours de la rédaction des résultats (GTJ).

g) Déroulé des actes, examens et observations lors de l'anesthésie péri-neurale de RCV 7 ou 8

Le déroulé des manipulations et observations au cours du temps pour une injection de RCV est présenté graphiquement dans la figure C.2.

Figure C-2 : Frise chronologique de la réalisation de l'anesthésie péri-neurale du RCV et des évaluations cliniques et par imagerie



2. Résultats

a) Nombre et descriptif des injections

La première jument Cranberry a été utilisée pour l'essai pilote qui a permis de standardiser la méthode d'injection et d'évaluer l'adéquation du volume injecté. Chronologiquement, les injections ont été réalisées de part et d'autre de la journée d'étude post-mortem sur les 3 premiers cadavres dont les résultats sont décrits dans la partie B de ce chapitre. La technique de repérage échographique a été développée sur cheval debout suivie des premiers essais d'injection sur Cranberry. La série anatomique a permis de confirmer l'adéquation des volumes choisis à la suite des premiers résultats cliniques et a été poursuivie par les anesthésies sur les 3 juments suivantes (Do it, Baraka et Dame). Sont présentés dans le tableau C.1 les descriptifs des injections ainsi que leur qualité en terme de positionnement de l'aiguille, d'immobilité complète ou non des juments pendant l'injection et de la nécessité consécutive de repositionner l'aiguille ou non.

Tableau C-3 : Description des anesthésies du RCV reçues par les 4 juments et des conditions de visualisation du RCV, de positionnement de l'aiguille et d'injection

Juments	RCV	Descriptif et qualité de l'injection
	RCV7	
Cranberry	**RCV7-1** RCV7D 7 ml	Positionnement de l'aiguille trop proche du PA et du foramen intervertébral
Cranberry	**RCV7-2** RCV7G 14 ml	Aiguille bien positionnée, injection avec jument immobile sur les 8 premiers ml, fin d'injection avec mouvements et déplacement de la jument
Cranberry	**RCV7-3** RCV7D 7 ml	Aiguille bien positionnée avec injection d'un seul trait sur jument immobile
Do it like a star	**RCV7-4** RCV7D 7 ml	Positionnement de l'aiguille sur le bord caudal du RCV avec injection d'un seul trait sans mouvement de la jument
Baraka	**RCV7-5** RCV7G 7 ml	Bon positionnement de l'aiguille, injection profonde avec contact osseux en fin d'injection, remontée de sang dans la tubulure d'injection au cours du retrait de l'aiguille
Dame	**RCV7-6** RCV7D 7 ml	Positionnement de l'aiguille sur le bord caudal du RCV, injection d'un seul trait sans mouvement de la jument
	RCV8	
Cranberry	**RCV8-1** RCV8G 7 ml	Aiguille bien positionnée mais mouvements de la jument
Cranberry	**RCV8-2** RCV8D 14 ml	Aiguille bien placée mais assez distalement sur le RCV par rapport au foramen intervertébral, réaction motrice de la jument au contact de l'aiguille sur le nerf, injection après vérification du bon positionnement de l'aiguille
Cranberry	**RCV8-3** RCV8D 14 ml	Positionnement de l'aiguille sur le bord caudal du RCV
Do it like a star	**RCV8-4** RCV8G 7 ml	Conformation de l'épaule cachant la jonction C8-T1 rendant plus difficile la visualisation de RCV8 et imposant un positionnement proximal de l'aiguille proche des PA
Do it like a star	**RCV8-5** RCV8D 7 ml	Positionnement proximal de l'aiguille proche du PA, mouvement de la jument
Baraka	**RCV8-6** RCV8G 7 ml	Aiguille bien placée mais assez distalement sur le RCV par rapport au foramen intervertébral
Baraka	**RCV8-7** RCV8D 7 ml	Aiguille bien placée, mouvements de la jument pendant l'injection
Dame	**RCV8-8** RCV8G 7 ml	Bon positionnement de l'aiguille avec injection d'un seul trait sans mouvement de la jument

La première jument a reçu 6 injections espacées sur 3 mois, 3 RCV7 (2x7 ml et 1x14 ml) et 3 RCV 8 (1x7 ml et 2x14 ml). Les anesthésies des RCV ont été réalisées en double lorsque la qualité de la première injection a été jugée insuffisante. A la fin de cette série de 6 injections et à la suite des résultats de l'étude anatomique, il a été décidé de standardiser le volume à 7 ml pour les 2 RCV sur les 3 juments suivantes. La symptomatologie obtenue avec les 2 volumes a été observée équivalente avec uniquement une durée prolongée avec les 14 ml par rapport au 7 ml.

La deuxième jument Do it like a star a reçu 3 injections au total : 1 RCV7 et 2 RCV8. La jument avait une conformation d'épaule couvrant le segment vertébral C8-T1, ce qui a provoqué une difficulté de visualisation du RCV et de positionnement de l'aiguille et a entraîné un dépôt de l'anesthésique local proche des PA et du foramen vertébral. La jument étant moins patiente que les autres pour rester immobile, les conditions d'injection n'étaient pas optimales.

La troisième jument Baraka a reçu une injection du RCV7 et 2 du RCV8 car la première injection de RCV8 avait un positionnement très distal sur le RCV. La dernière jument Dame a été la plus immobile pendant les injections ce qui a permis un placement optimal de l'aiguille et des injections d'un seul trait sans mouvement de la jument. Elle a ainsi reçu une injection de 7 ml de chaque RCV.

Sur les 3 dernières juments, une injection RCV7 et une injection RCV8 ont été réalisées avec un ordre (7 puis 8 ou 8 puis 7) et un côté (G ou D) tirés au sort. Lorsqu'une injection complémentaire sur la même jument a été entreprise suite aux résultats obtenus sur les 2 premières, le RCV controlatéral a été choisi.

Au total, **6 anesthésies de RCV7** (5 x 7 ml et 1 x 14 ml) et **8 anesthésies de RCV8** (6 x 7 ml et 2 x 14 ml) ont été réalisées sur l'ensemble des 4 juments. Les juments n'ont pas reçu le même nombre d'injections car seules les injections non optimales ont été répétées sur le même animal.

Les injections ont été ensuite classées en fonction du positionnement de la pointe de l'aiguille le long du tronc nerveux et de la réalisation de l'administration du volume à injecter en un seul trait sans réaction motrice de l'animal ou avec mouvement et déplacement de l'animal ayant entraîné la nécessité de repositionner l'aiguille en cours d'injection.

Comme pour dans la phase sur cadavre, le positionnement a été qualifié :

- De **proximal** lorsque l'aiguille était positionnée en regard du tronc nerveux juste ventralement au processus articulaire,
- De **distal** lorsque la pointe approchait le niveau du PT,
- De **crânial** ou **caudal** lorsque l'aiguille était positionnée sur un des bords du tronc nerveux plutôt qu'en son centre et
- D'**optimal** lorsque la pointe était centrée crâniocaudalement et proximodistalement sur le RCV.

Ces positionnements d'aiguille (tableaux C.4 et C.5) étaient le résultat de la recherche de la meilleure fenêtre acoustique, de l'optimisation de la visualisation du RCV et fonction des variation de conformation anatomique de l'encolure et de l'épaule des juments. L'injection d'un seul trait sur le RCV sans mouvement de la jument a été qualifiée de **réaction 0**, alors qu'une légère réaction ayant peu gêné la conduite de l'administration du volume était notée de **réaction 1** et la nécessité de repositionner l'aiguille et d'injecter en plusieurs fois recevait la note de **réaction 2**.

Tableau C-4 : Descriptif du positionnement de l'aiguille et de la qualité d'administration du volume injecté pour RCV7

RCV7	Codification	Positionnement de l'aiguille	Note de réaction
RCV7D 7 ml	RCV7-1	Proximal	1
RCV7G 14 ml	RCV7-2	Optimal	1
RCV7D 7 ml	RCV7-3	Optimal	0
RCV7D 7 ml	RCV7-4	Caudal	0
RCV7G 7 ml	RCV7-5	Optimal mais contact osseux indiquant une injection profonde	0
RCV7D 7 ml	RCV7-6	Caudal	0

Pour RCV7, trois injections sur 6 ont été qualifiées d'optimale, 1/6 de proximale, 2/6 de caudale, 4/6 d'un seul trait (réaction 0) et 2/6 avec un mouvement modéré de la jument (réaction 1). Une injection optimale a aussi été notée profonde avec l'existence d'un contact osseux de l'aiguille.

Tableau C-5 : Descriptif du positionnement de l'aiguille et de la qualité d'administration du volume injecté pour RCV8

RCV8 et volume injecté	Codification RCV	Positionnement de l'aiguille	Note de réaction
RCV8G 7 ml	RCV8-1	Optimal	2
RCV8D 14 ml	RCV8-2	Optimal	1
RCV8D 14 ml	RCV8-3	Caudal	0
RCV8G 7 ml	RCV8-4	Proximal	1
RCV8D 7 ml	RCV8-5	Proximal	2
RCV8G 7 ml	RCV8-6	Distal	1
RCV8D 7 ml	RCV8-7	Optimal	1
RCV8G 7 ml	RCV8-8	Optimal	0

Pour RCV8, quatre injections sur 8 ont été qualifiées d'optimale, 2/8 de proximale, 1/8 de caudale et 1/8 de distale. Les réactions des juments ont été un peu plus marquées que sur RCV 7 donnant 2 injections sur 8 d'un seul trait (réaction 0), 4/8 avec un mouvement modéré de la jument (réaction 1) et 2/8 avec réaction franche nécessitant le repositionnement de l'aiguille avec une administration du volume en plusieurs fois (réaction 2).

b) Lecture des clichés radiographiques cervicaux caudaux post-injection avec la solution anesthésique mélangée à du produit de contraste

Chaque injection a fait l'objet d'un contrôle radiographique (cliché cervical caudal d'incidence latérale avec cassette positionnée ipsilatéralement au côté injecté) pris et répété de façon séquentielle sur les 3 à 8 minutes suivant la fin de l'injection. Des vues obliques ont été réalisées pour RCV8-1 mais n'ont pas permis une visualisation améliorée par rapport au cliché latéral de la zone d'opacité créée par le produit de contraste. Seule l'incidence latérale a été maintenue pour l'évaluation des injections suivantes. Selon la capacité des juments à retourner en salle de radiologie et la disponibilité de la salle, des clichés supplémentaires ont été réalisés pour RCV7-3 à 30 min, RCV8-7 à 40 min et RCV7-1 à 45 min et ont montré la disparition complète du produit de contraste.

Le produit de contraste était visible sous la forme d'une opacité en tâche ovale ou en trainées longitudinales relativement parallèles à l'axe longitudinal des corps vertébraux. L'opacité était le plus souvent située en superposition à cheval sur le canal vertébral et l'aspect dorsal des corps vertébraux en regard des articulations intervertébrales. La description des images radiographiques pour chaque RCV est rassemblée dans le tableau C-6 pour RCV7 et C-7 pour RCV8. Les images radiographiques sont présentées dans les figures suivantes RCV7 en premier et RCV8 en second, jument par jument (figures C-3, C-4, C-5, C-6).

Pour les injections de RCV7, le produit de contraste a créé une opacité visible radiographiquement sur l'incidence latérale dans 5 cas sur 6. L'opacité avait la forme d'une tâche ou de lignes ayant un axe longitudinal proche de la parallèle avec l'axe vertébral. Les opacités ont été retrouvées en superposition avec le corps vertébral caudal de C6 et le corps vertébral crânial de C7 entre les PT de C6 et C7 (5 injections/6) et partiellement en superposition avec le canal vertébral au niveau du foramen intervertébral (4 injections/6). La diffusion du produit de contraste est ainsi apparue avoir un axe crânio-caudal parallèle à l'axe vertébral pour 4 injections sur 6. Pour RCV7-3 (figure C-3), l'axe de diffusion était oblique par rapport au corps vertébral et parallèle à l'orientation du RCV allant du foramen intervertébral vers le plexus brachial en passant sous le bord crânial et ventral du PT de C7. Pour RCV7-5 (figure C-4), aucun signe de produit de contraste n'était visible.

Tableau C-6 : Résultats radiographiques des injections péri-neurales RCV7 avec produit de contraste

RCV	Descriptif des images radiographiques
RCV7-1 **RCV7D 7 ml**	Légère opacité ovoïde visible à cheval en superposition sur l'aspect dorsal de l'articulation entre les corps vertébraux de C6 et C7, s'étendant de l'aspect caudal de la base du PT de C6 à l'aspect crânial de la base du PT de C7. L'opacité ne recouvre pas le canal vertébral ni le foramen intervertébral. Aucun signe de produit de contraste restant à 45 min
RCV7-2 **RCV7G 14 ml**	Lignes d'opacité en superposition sur l'aspect dorsal de l'articulation entre les corps vertébraux de C6 et C7, s'étendant de l'aspect caudal de la base du PT de C6 jusqu'à l'espace intervertébral de C7-T1. Présence d'une ligne d'opacité traversant le foramen intervertébral
RCV7-3 **RCV7D 7 ml**	Lignes d'opacité longeant ventralement le PT de C7 jusqu'à l'aspect caudoventral du corps vertébral de C7 où l'opacité, le corps vertébral et le tubercule supra-glénoïdal de la scapula se superposent. Zone d'opacité irrégulière au niveau du foramen intervertébral. Aucun signe de produit de contraste restant à 35 min
RCV7-4 **RCV7D 7 ml**	Lignes d'opacité visible de l'aspect caudal du PT de C6 au foramen intervertébral C6-C7
RCV7-5 **RCV7G 7 ml**	Produit de contraste invisible
RCV7-6 **RCV7D 7 ml**	Zone d'opacité s'étendant de l'aspect dorsal du PT de C6 à l'aspect dorsal du PT de C7 et couvrant l'aspect ventro-caudal du foramen intervertébral C6-C7

Tableau C-7 : Résultats radiographiques des injections péri-neurales RCV8 avec produit de contraste

RCV	Descriptif des images radiographiques
RCV8-1 **RCV8G 7 ml**	Plage d'opacité s'étendant de l'aspect dorsal du PT de C7, remontant sur le foramen intervertébral et atteignant l'aspect dorso-crânial de l'articulation entre T1 et la première côte.
RCV8-2 **RCV8D 14 ml**	Plage d'opacité s'étendant de l'aspect dorsal du PT de C7, remontant sur le foramen intervertébral et atteignant l'aspect dorso-crânial de l'articulation entre T1 et la première côte.
RCV8-3 **RCV8D 14 ml**	Plage d'opacité s'étendant de l'aspect dorsal du PT de C7, remontant sur le foramen intervertébral et atteignant l'aspect dorso-crânial de l'articulation entre T1 et la première côte avec discrète extension ventrale sous la ligne verticale du PT.
RCV8-4 **RCV8G 7 ml**	Plage d'opacité plus difficile à objectiver que pour les autres injections mais présente caudalement au PT de C7 ventralement au plancher de C7 et T1 et opacifiant l'aspect ventral du foramen intervertébral C7-T1
RCV8-5 **RCV8D 7 ml**	Lignes d'opacité se superposant au canal vertébral au niveau de l'articulation des corps vertébraux C7-T1, témoignant d'un passage possiblement péridural
RCV8-6 **RCV8G 7 ml**	Lignes d'opacité s'étendant du bord caudal du PT de C7 à l'aspect crânial de la première côte sur la moitié dorsale des corps vertébraux sans superposition sur le foramen intervertébral
RCV8-7 **RCV8D 7 ml**	Plage d'opacité étendue le long de l'aspect dorsal du PT de C7 jusqu'à la tête de la première côte, couvrant le bord dorsal des corps vertébraux et l'ensemble du canal vertébral et du foramen intervertébral C7-T1 Aucun signe de produit de contraste restant à 40 min
RCV8-8 **RCV8G 7 ml**	Ligne d'opacité en regard du canal vertébral ventral, parallèle au plancher du canal, s'étendant de la tête du corps vertébral de C7 à la jonction intervertébral T1-T2 (compatible avec une image d'épidurogramme)

Pour les injections de RCV8, le produit de contraste a créé systématiquement une opacité visible radiographiquement sur l'incidence latérale. La zone d'opacité se situait entre le PT de C7 et la tête de la première côte avec un axe longitudinal parallèle à l'axe vertébral dans 6 cas sur 8, pour lesquels une superposition avec le foramen intervertébral et le canal vertébral était présente 5 fois sur 6. L'interprétation de la radiographie pour RCV8-7 s'est montrée plus difficile mais la présence d'une ligne d'opacité superposée au canal vertébral peut possiblement correspondre à un passage péridural du produit de contraste (figure C-5). La diffusion péridurale pour RCV8-8 (figure C-6) se manifestant par une ligne d'opacité de C7 à T2 sur le bord ventral du canal est par contre moins sujet à controverse.

Figure C-3 : Images radiographiques avec produit de contraste sur Cranberry (6 injections, 3 RCV7 et 3 RCV8)

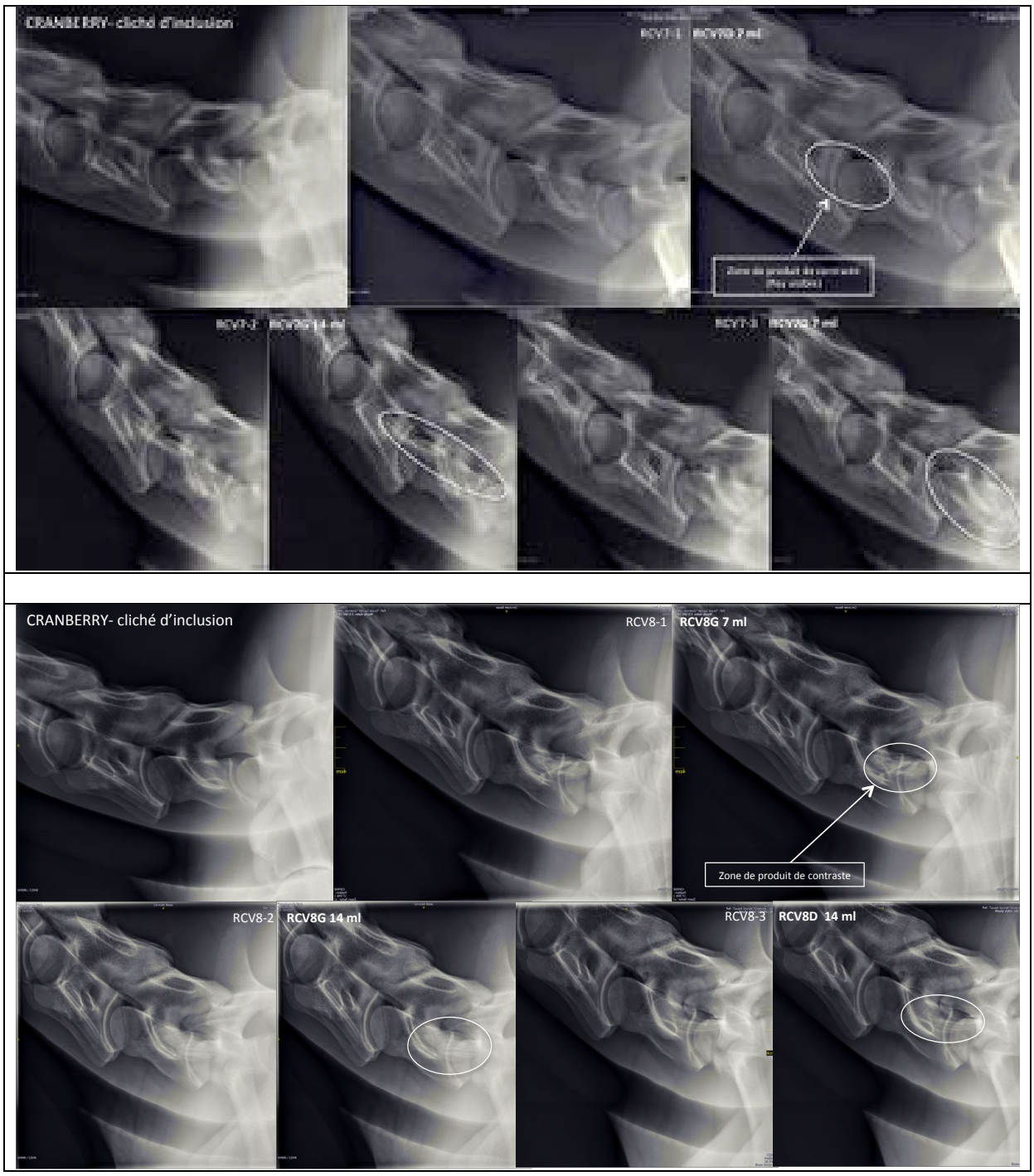


Figure C-4 : Images radiographiques avec produit de contraste sur Do it like a star (3 injections, 1 RCV7 et 2 RCV8)

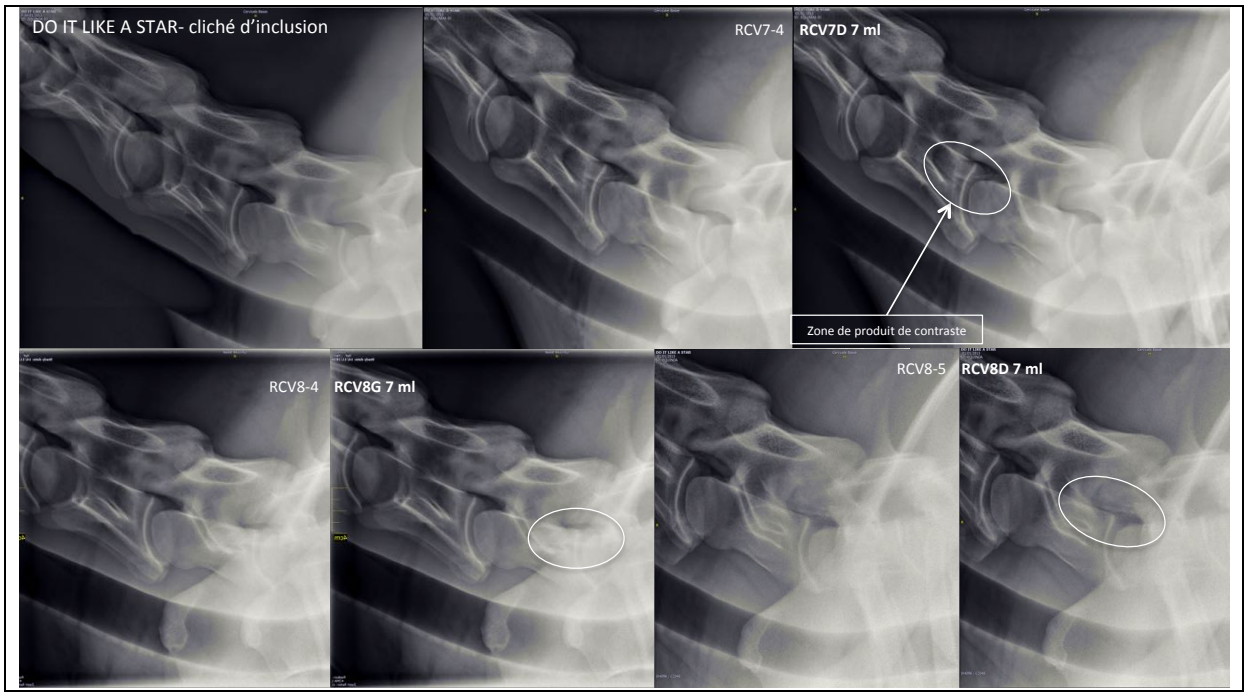


Figure C-5 : Images radiographiques avec produit de contraste sur Baraka (3 injections, 1 RCV7 et 2 RCV8)

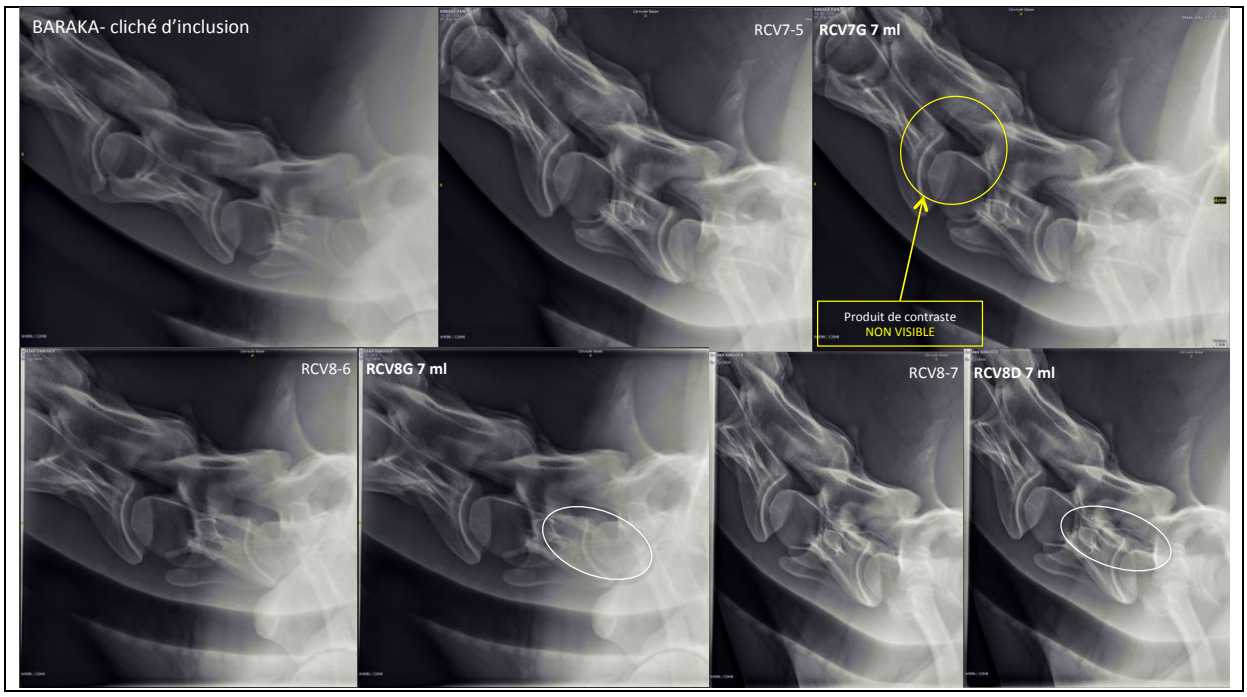
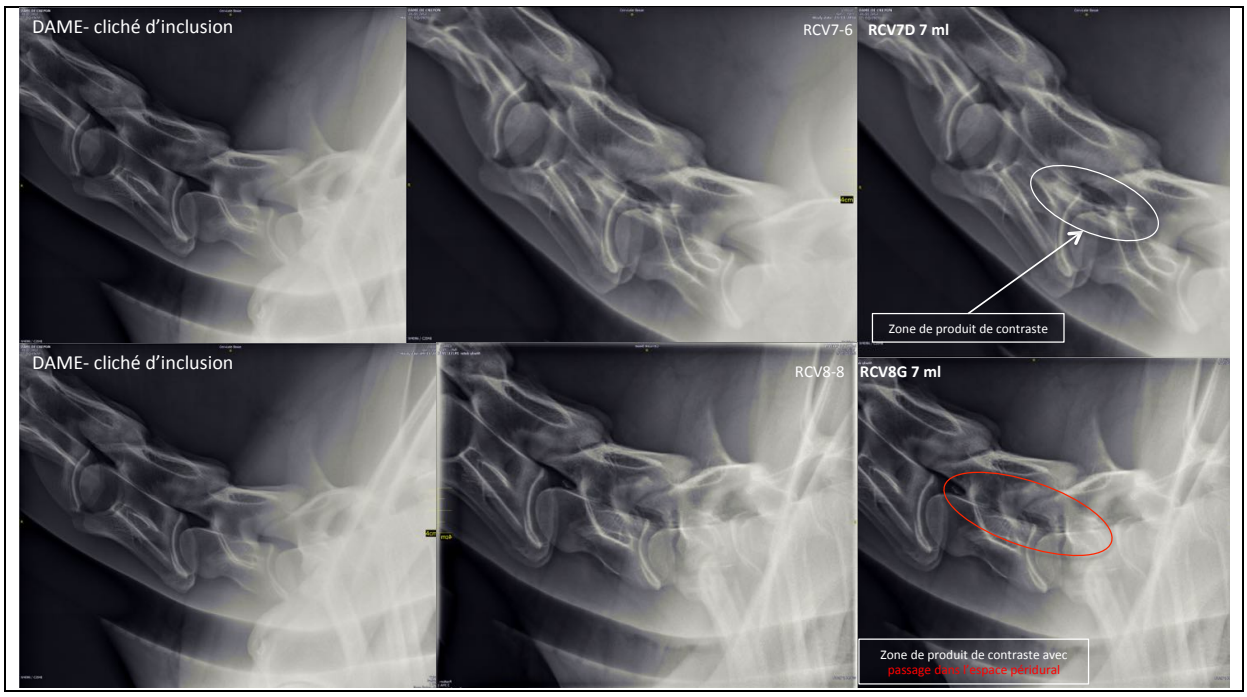


Figure C-6 : Images radiographiques avec produit de contraste sur Dame (2 injections, 1 RCV7 et 1 RCV8)



L'axe de diffusion du produit de contraste pour RCV7 et RCV8 apparaissait crânio-caudal longitudinalement à l'axe vertébral pour la majorité des injections sur le cliché radiographique d'incidence latérale. Le produit de contraste n'était pas visible pour une injection (RCV7-5) et constituait une ligne en superposition avec le canal vertébral à interpréter comme passage péridural certain pour 1 injection (RCV8-8) et possible pour une autre injection (RCV8-7). Une injection a entraîné une diffusion proximo-distale le long du RCV créant une opacité dont l'axe était transversal au corps vertébral (RCV7-3).

c) Comparaison des résultats radiographiques avec produit de contraste et des données post-mortem

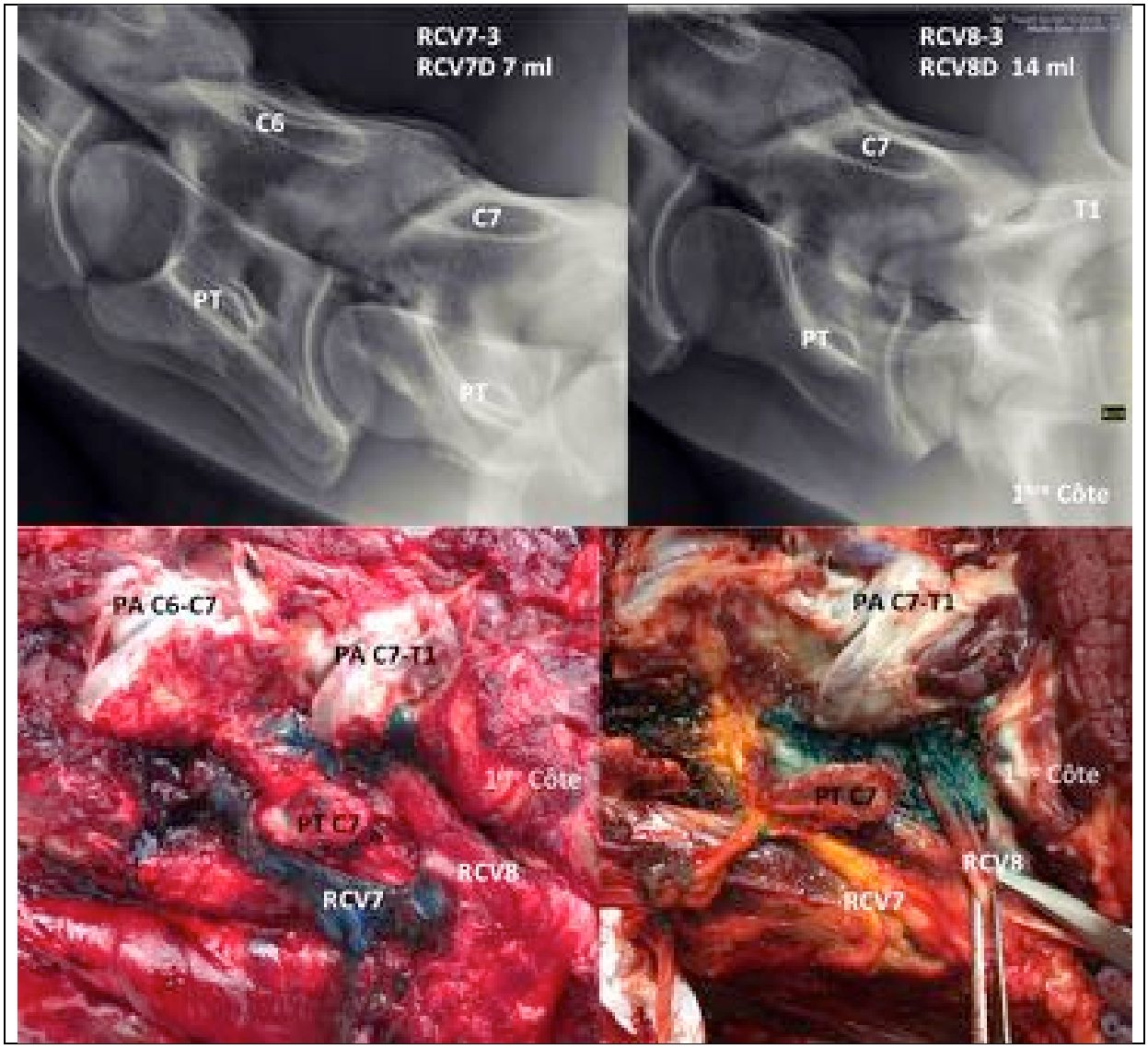
Les images radiographiques avec produit de contraste ne donnent qu'une vue en 2 dimensions de la diffusion de l'injection. Toutefois, deux axes principaux de diffusion ressortent comme dans l'étude *post-mortem* :

- un axe proximo-distal le long du tronc nerveux (figure C-7, RCV7-3, RCV7 jaune, RCV7 bleue) ;
- un axe crânio-caudal parallèle à l'axe vertébral dans la zone délimitée dorsalement par les PA, ventralement par les PT et caudalement pour C8-T1 par la première côte (figure C-7, RCV8-3, RCV8 verte, RCV8 bleue).

Sur le cliché radiographique de RCV7-3, le produit de contraste est visible en superposition avec le canal vertébral puis descend obliquement caudo-ventralement avant de contourner ventralement le PT de C7, ce qui correspond au cours de RCV7. Le produit de contraste réalise une démarcation linéaire ventrale en superposition avec le bord ventral du corps de C7 qui peut correspondre à l'arrivée de RCV7 au niveau de son passage entre les muscles scalènes ventral et moyen.

Sur le cliché radiographique de RCV8-3, le produit de contraste est visible en superposition avec le canal vertébral et s'étend crâniocaudalement entre le PT et la première côte dans l'espace délimité dorsalement par les PA, crânio-ventralement par le PT et caudalement par la 1ère côte. Le RCV8 est coloré sur son passage dans cet espace.

Figure C-7 : Comparaison des images radiographiques avec produit de contraste et des images post-mortem avec colorants



Comme pour l'étude *post-mortem*, une diffusion dans l'espace péridural a été identifiée radiographiquement pour RCV8-8 et suspectée pour RCV8-5. Il n'a pas été possible d'identifier une plage de produit de contraste sur le cliché radiographique de RCV7-5 ce qui laisserait envisager la possibilité d'une injection sous-arachnoïdienne, l'erreur technique d'omission de produit de contraste dans la solution injectée ayant été écartée. Cette hypothèse est à confronter avec les effets cliniques observés de l'anesthésie sur ce RCV.

Les images radiographiques avec produit de contraste et les images *post-mortem* de diffusion des colorants ont des similitudes quant aux axes principaux de diffusion et au possible passage dans l'espace péridural.

d) Résultats de l'examen statique et dynamique de l'anesthésie péri-neurale du RCV7

Parmi les 6 anesthésies péri-neurales de RCV7, une **parésie supra-scapulaire** a été observée dans 4 cas. Les signes locomoteurs étaient présents pendant 2 à 3h sauf pour RCV7-2 qui a reçu 14 ml (et non 7 comme les autres) et pour laquelle les signes ont perduré au delà de 4h post-injection. Le volume de 14 ml n'a été utilisé qu'une seule fois car les signes observés avec 7 et 14 ml sur la première jument étaient similaires en intensité avec une durée plus longue pour le plus large volume. Il a été jugé que la durée de 2h en moyenne observée avec 7 ml était suffisante à la récolte de données cliniques.

Une régression progressive des signes a été notée sur la dernière heure (entre T2h et T3h pour les 7 ml et T3h et T4h pour les 14 ml). La description des signes est rassemblée dans le tableau C-8 et illustrée en station par la figure C-8. Lorsque la parésie était sévère, les observations ont été réalisées seulement au pas sur le 8 et en LD, parfois sur le 8 trottoir en pente. Dès que l'équilibre des juments était suffisant, un examen au trot en LD et au pas sur la butte a été rajouté. Au trot, une boiterie de l'antérieur ipsilatéral de l'injection avec une faible amplitude de la foulée était présente associée à une diminution de l'appui sur l'antérieur parétique. De plus, l'instabilité de l'épaule était moins marquée qu'au pas. En fin d'effet, la diminution de la phase antérieure de la foulée correspondait au signe prédominant aussi bien au pas qu'au trot et le décollement de l'épaule en régression était toujours plus marqué sur le 8 à main correspondante.

La première jument étant de caractère plus stressée, une période de panique avec déplacements impulsifs et mal contrôlés pendant l'installation de la parésie a compliqué l'interprétation des signes de déséquilibre. Une ataxie a été suspectée initialement mais n'était pas associée à des déficits proprioceptifs remarquables sur l'exercice du 8 trottoir en pente. Il a été finalement conclu que les mouvements et les placers des 3 autres membres étaient consécutifs à une recherche d'un nouvel équilibre, particulièrement dans les situations d'abaissement de l'encolure ou de terrain irrégulier (herbe en pente). La jument a d'ailleurs mémorisé l'épisode car lors de l'induction de la parésie sur le membre controlatéral, elle a mieux su gérer la survenue de ce nouveau déséquilibre. Les 2 autres juments ayant montré des signes de parésie supra-scapulaire ont adopté immédiatement un report d'encolure et de hanches opposé au côté de la parésie ainsi qu'un placer du membre parétique systématique ou intermittent en abduction (figure C-8).

Des **signes d'ataxie** des 4 membres étaient présents pour les 2 autres cas :

- mouvements de circumduction interne des antérieurs et des postérieurs ;
- poser des pieds en adduction proches de la ligne médiane et non à la verticale du membre ;
- légère hypermétrie des postérieurs, plus marquée sur le 8 trottoir en pente
- augmentation de l'attention des juments avec abaissement de l'encolure et participation visuelle augmentée pour le test du 8 avec marche de trottoir sur un terrain en pente et de nature différente (marche haute en herbe, surface basse en asphalte) ;
- relâchement à faiblesse musculaire notable par une allure souple et dégingandée au pas et surtout au trot avec plus de suspension (signe assez frappant du fait du manque de rebondi de la locomotion du trotteur au trot).

Il est intéressant d'évaluer en parallèle les signes locomoteurs et les caractéristiques de positionnement de l'aiguille (tableau C-9). Les injections ayant entraîné une ataxie ont été qualifiées de proximale (RCV7-1) ou d'optimale mais profonde avec contact osseux (RCV7-5) et associées à l'absence de visualisation du produit de contraste ou à une zone radiographiquement peu visible de produit de contraste, laissant supposée une injection sous-arachnoïdienne (produit de contraste dilué dans le liquide cérébro-spinal le rendant invisible) ou intravasculaire (hypothèse infirmée par la réalisation d'un test d'aspiration systématique avant l'injection, aucune aspiration de sang sur les 6 injections).

Les signes cliniques d'ataxie des 4 membres sont en faveur d'une injection centrale qui peut être péridurale ou sous-arachnoïdienne. Etant donné l'aspect bilatéral des signes avec une survenue concomitante, l'injection sous-arachnoïdienne dans le liquide cérébro-spinal paraît la plus probable. Les injections proximales ou profondes porteraient ainsi un risque supérieur d'injection sous-arachnoïdienne partielle ou complète. L'étude *post-mortem* a montré une coloration partiellement sous-arachnoïdienne pour un RCV7 suite à une injection avec positionnement très proximal de l'aiguille, juste en dessous su PA de C7.

Les **6 anesthésies péri-neurales du RCV7** ont conduit à l'observation de 2 tableaux cliniques différents :
- Un tableau d'atteinte périphérique du **nerf supra-scapulaire** dans 4 cas et
- Un tableau d'atteinte nerveuse centrale d'**ataxie des 4 membres** dans 2 cas.

Tableau C-8 : Modifications de la station et de la locomotion associées à l'anesthésie péri-neurale de RCV7

RCV7 et volume injecté	**Descriptif de l'examen statique et dynamique**
RCV7-1 **RCV7D 7 ml**	Examen initial : présence d'une discrète boiterie AG liée à un abcès de pied ayant percé 2 jours avant l'anesthésie Légère diminution de la phase antérieure de la foulée AD visible en LD au pas et au trot, plus marquée sur le 8 à main opposée de T10 à T60min Disparition de la boiterie AG de T10 à T60 **Ataxie** légère des 4 membres : circumduction (interne) des 2 antérieurs (AD>AG) au pas avec démarche serrée des antérieurs de T10 à T60 Port de tête abaissé sur le 8 trottoir en pente avec circumduction et hypermétrie des 2 postérieurs de T10 à T60 Faiblesse musculaire des 4 membres
RCV7-2 **RCV7G 14 ml**	**Parésie supra-scapulaire G** de T5min à T4h Examen au pas en LD et sur le 8 uniquement de T5min à T2h Abduction de l'épaule et du coude G et décollement du thorax à l'appui AG, circumduction AG occasionnelle Défaut de phase antérieure de la foulée AG, prolongation de la phase postérieure de la foulée AG plus marquée à main correspondante Régression des signes à partir de T2h avec signes toujours plus marqués à main correspondante et totalité des signes disparus à T5h Au trot : défaut de phase antérieure de la foulée AG en LD à T3h avec décollement de l'épaule en régression et moins visible au trot qu'au pas En station et en déplacement lent d'un ou deux pas: déséquilibres fréquents sur les 3 autres membres liés à la parésie supra-scapulaire G marquée : pas de déficit proprioceptif identifiable mais des mouvements précipités des 3 membres de rétablissement de l'équilibre, aggravés par l'abaissement de l'encolure et une surface irrégulière. Tendance à maintenir les pectoraux G contractés en permanence (photo C-8.1)

Suite du tableau C-8

RCV7-3 **RCV7D 7 ml**	**Parésie supra-scapulaire D** de T5min à T3h30 Examen au pas en LD et sur le 8 uniquement de T5min à T100min Abduction de l'épaule et du coude D et décollement du thorax à l'appui AD, circumduction AD occasionnelle Défaut de phase antérieure de la foulée AD, prolongation de la phase postérieure de la foulée AD plus marquée à main correspondante Régression des signes à partir de T2h avec signes toujours plus marqués à main correspondante Poser AD alternativement en abduction et en adduction (impression de tricotage) avec report alternatif du poids du corps Stratégie du poser AG vers la ligne médiane avec légère circumduction interne du fait du déplacement du poids du corps vers la droite à l'appui AD Au trot de T105min à T3h30 : Boiterie AD avec défaut d'amplitude de la foulée et prolongation de la phase postérieure au trot en LD avec décollement de l'épaule moins visible au trot qu'au pas
RCV7-4 **RCV7D 7 ml**	**Parésie supra-scapulaire D** de T7min à T3h En station **:** Test de rétraction AD : moins de résistance, hyperextension du coude avec dépassement vers l'arrière de la verticale du membre Augmentation du déséquilibre avec l'abaissement de l'encolure et le nez à terre pour brouter, report du poids du corps sur les postérieurs placés sous elle et écartement des antérieurs en dehors du cadre parallèle au tronc (photo C-8.2), tendance à maintenir les pectoraux D contractés, tremblement du triceps à partir de T45min Au pas : Examen au pas en LD et sur le 8 uniquement de T5min à T2h30 Abduction de l'épaule et du coude D et décollement du thorax à l'appui AD, avec report de l'encolure à G et poser AD en abduction après un mouvement de circumduction passant par la ligne médiane au soutien en LD Défaut de phase antérieure de la foulée AD, prolongation de la phase postérieure de la foulée AD Régression des signes à partir de T2h 3 mouvements de harper PG à T2h30 Au trot : Boiterie AD légère avec défaut d'amplitude de la foulée, défaut marqué de phase antérieure et prolongation de la phase postérieure au trot en LD de T2h30min à T4h avec décollement de l'épaule moins visible au trot qu'au pas
RCV7-5 **RCV7G 7 ml**	Examen initial : tendance à la circumduction interne des 2 antérieurs AD>AG **Ataxie** des 4 membres dès les premiers pas après l'injection Perte d'équilibre avec affaissement du PG et position mi-assise au premier pas après la radiographie Hypermétrie légère des postérieurs (PG>PD) au pas avec circumduction interne et poser en adduction de T5 à T60min, en régression de T60 à T90, légèrement plus marquée sur le 8 trottoir en pente Circumduction interne majorée des antérieurs AG>AD au pas de T5 à T60min Test de traction sur la queue, montée et descente de la butte : pas d'anomalie Allure dégingandée plus marquée au pas qu'au trot Evolution : Locomotion normale à T2h

Suite du tableau C-8

RCV7-6 **RCV7D 7 ml**	**Parésie supra-scapulaire D** modérée de T7min à T3h Au pas : Abduction modérée de l'épaule et du coude D et décollement du thorax à l'appui AD plus marqués sur le 8 et à main correspondante qu'en LD, circumduction interne AD avec poser en adduction et croisée des antérieurs, report de l'encolure à G voire des hanches à G Défaut de phase antérieure de la foulée AD, prolongation de la phase postérieure de la foulée AD moins marquée que sur les autres juments, tendance à lever le carpe plus haut au soutien, plus fréquente sur le 8 trottoir en pente Au trot : Défaut d'amplitude de la foulée dans son ensemble et de la phase antérieure AD au trot avec boiterie AD légère intermittente, décollement de l'épaule discret, report de l'encolure et des hanches à G Evolution **:** Régression des signes à partir de T2h30 avec persistance du défaut de phase antérieure de la foulée AD au pas et au trot

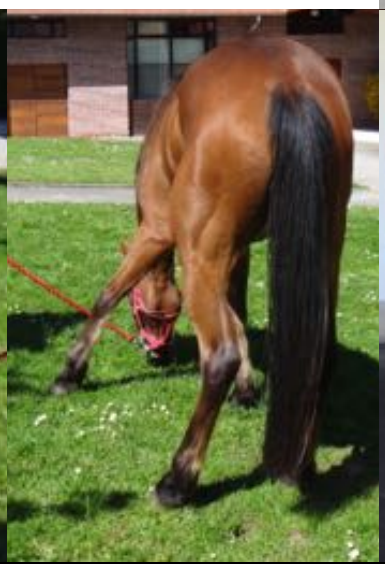
Tableau C-9: Association des résultats par RCV7 en terme de positionnement de l'aiguille, diffusion du produit de contraste et signes locomoteurs

RCV7 **Injection**	**Examen radiographique avec produit de contraste**	**Examen locomoteur**
RCV7-1 **RCV7D 7 ml** **Proximale**	**Produit de contraste peu visible** Suspicion d'injection péridurale/sous-arachnoïdienne	**Ataxie des 4 membres** avec circumduction des antérieurs au pas en LD, circumduction et hypermétrie des postérieurs sur le 8 trottoir en pente.
RCV7-2 **RCV7G 14 ml** Optimale	**Large plage de produit de contraste** de C6 caudal à l'espace intervertébral C7-T1 parallèlement au plancher vertébral	**Parésie supra-scapulaire G** Déséquilibres fréquents majorés par l'abaissement de l'encolure et la tête et les terrains irréguliers, réaction de panique de la jument. Pas de déficit proprioceptif objectivé
RCV7-3 **RCV7D 7 ml** Optimale	**Large zone de produit de contraste** le long du RCV7 du foramen intervertébral au plexus brachial	**Parésie supra-scapulaire D** Pas d'ataxie Adaptation de la locomotion et du polygone de sustentation pour se rééquilibrer
RCV7-4 **RCV7D 7 ml** Caudale	**Lignes d'opacité visible** de l'aspect caudal du PT de C6 au foramen intervertébral C6-C7	**Parésie supra-scapulaire D**, pas d'ataxie Adaptation de la locomotion et du polygone de sustentation pour se rééquilibrer
RCV7-5 **RCV7G 7 ml** Optimale mais **profonde**	**Produit de contraste invisible** Suspicion d'injection sous-arachnoïdienne	**Ataxie des 4 membres** Membres postérieurs > antérieurs
RCV7-6 **RCV7D 7 ml** Caudale	**Large zone de produit de contraste** sur le foramen et entre les PT	**Parésie supra-scapulaire D** modérée Pas d'ataxie Adaptation de la locomotion et du polygone de sustentation pour se rééquilibrer

Figure C-8 : Juments en station pendant la phase de parésie supra-scapulaire

Photo C-8.1

RCV7-2 **RCV7G 14 ml Parésie supra-scapulaire G**
Membre AG tenu en rétraction et abduction avec report du poids sur l'AD
Muscles pectoraux descendant et transverse G contractés en station lors d'un appui AG



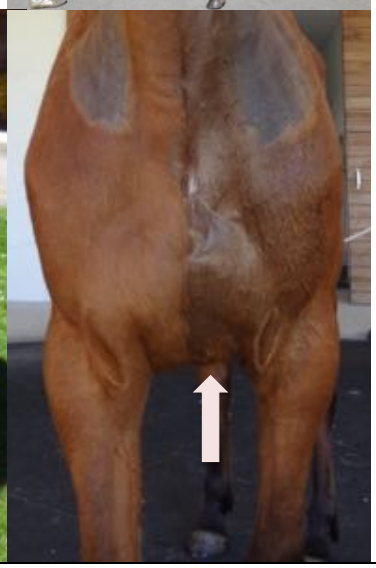


Photo C-8.2

RCV7-4 **RCV7D 7 ml Parésie supra-scapulaire D**

Membre AD tenu en rétraction et abduction avec report du poids sur l'AG
Station avec antérieurs écartés lors de l'abaissement de l'encolure et de la tête pour brouter, appui sur les 2 antérieurs, AD positionné en rétraction ou protraction (légère protraction sur la photo)

e) Résultats de l'examen statique et dynamique de l'anesthésie péri-neurale du RCV8

La réalisation technique de l'anesthésie du RCV8 a globalement été plus difficile que pour RCV7 en raison d'une profondeur d'injection supérieure, de la présence de l'épaule qui gênait le placement optimal de l'aiguille dans le champ de sonde échographique et d'une conformation de la base de l'encolure très enchâssée entre les épaules pour une jument (Do it like a star). La résultante était une majoration du temps de manipulation et une possible impatience des juments qui ont bougé plus souvent pendant l'injection.

Deux anesthésies ont été réalisées avec un positionnement optimal ou caudal de l'aiguille et sans réaction des juments ce qui a permis une injection d'un seul trait de 14 ml (RCV8-3) et de 7 ml (RCV8-8). L'anesthésie a provoqué une **parésie radiale** qui s'est développée progressivement sur les 10 premières minutes post-injection et a maintenu un effet pic jusqu'à T2h pendant lequel seul l'examen au pas était possible. Dès T3h, les signes étaient en régression ce qui a permis d'ajouter un examen au trot. Des signes plus légers (boiterie, modification de phase de foulée) ont perduré jusqu'à T5h avec les 7ml et T8h avec les 14ml.

Pendant la phase d'installation de la parésie, le signe dominant a été le recul du coude et de la pointe de l'épaule lors de la phase d'appui lors du dépassement de la verticale et était associé à une diminution de la phase postérieure de la foulée. Ensuite, le défaut d'extension du membre à l'appui avec flexion du carpe et du boulet s'est développé jusqu'à une impossibilité d'appui complet sur le membre et un déplacement par saut sur l'antérieur controlatéral. Le membre était alors maintenu en semi-flexion et en protraction (photos C-9.1, 3 et 5). La protraction et la proprioception du sabot (poser en face solaire) étaient maintenues.

En phase de régression, l'appui sur le membre à la verticale sans défaut d'extension est revenu d'abord en station puis en mouvement (photo C-9.4). La phase postérieure de la foulée est revenue progressivement dès que l'appui n'entraînait plus de trébuchement par défaut d'extension et flexion consécutive du carpe et du boulet.

Au trot, la foulée était restreinte globalement et plus particulièrement la phase postérieure, un défaut d'appui ipsilatéral provoquait une boiterie et des trébuchements (défauts d'extension du carpe et du boulet) étaient présents et fréquents. Les détails des signes cliniques sont présentés dans le tableau C-10.

Les injections RCV8-1, 2, 5 et 6 avaient un positionnement de l'aiguille proximal, optimal ou distal, n'ont pas pu être réalisées sans mouvement des juments et ont donné des plages de produit de contraste sur le contrôle radiographique bien à plus difficilement visibles (tableau C-11). Le tableau clinique prépondérant rassemblait les signes suivants au pas sur le membre ipsilatéral de l'anesthésie:

- Diminution de la phase antérieure de la foulée,
- Prolongation de la phase postérieure de la foulée,
- Circumduction interne,
- Foulée plus rasante,
- Rotation externe de la pointe du coude en LD et majorée sur le cercle serré à main correspondante pour RCV8-6 et 7 (Baraka).

Au trot, la **diminution de la phase antérieure de la foulée ipsilatérale** était dominante. Pour RCV8-1, une boiterie AG était présente à l'examen initial du fait d'un abcès de pied ayant percé quelques jours auparavant. L'anesthésie de RCV8 ipsilatéral a entrainé une disparition des

signes de boiterie jusqu'à T50 min. Pour RCV8-7, une prolongation de la phase postérieure de la foulée AD avec défaut d'appui et boiterie ipsilatérale est aussi présente.

L'anesthésie de RCV8-4 (Do it like a star) a changé la locomotion raide de la jument au pas et au trot pour des **allures beaucoup plus souples et dégingandées** avec plus de suspension au trot dès l'examen de T10 min. A T25min, un mouvement avec sursaut des postérieurs a été suivi de **mouvements hypermétriques des 2 postérieurs avec hyperflexion et spasticité** plus marqués sur le PG que le PD (photo C-9.7). Les mouvements anormaux étaient fortement présents au démarrage puis se stabilisaient sur les foulées suivantes avec plus de symétrie G/D. Lors des hyperflexions initiales, la jument était peu encline à partie au trot. Plus tard, l'hypermétrie était au trot présente et symétrique avec moins d'hyperflexion et pas de spasticité objectivable. L'hypermétrie était encore présente à T5h. En raison de l'installation progressive et durable des signes centraux, une diffusion péridurale lente a été fortement suspectée mais n'a pas été objectivée sur le cliché radiographique pris 5 minutes après l'injection. La plage de produit de contraste était peu visible en regard du foramen intervertébral suite à l'injection qui a été qualifiée de proximale.

Tableau C-10 : Modifications de la station et de la locomotion associées à l'anesthésie péri-neurale de RCV8

RCV8 et volume injecté	**Descriptif de l'examen statique et dynamique**
RCV8-1 **RCV8G 7 ml**	Examen initial : légère boiterie AG (reste d'abcès de pied) au trot En station : Tendance à positionner l'AG en rétraction (photo C-9.6) Au pas : **Diminution de la phase antérieure de la foulée** AG de T10 à T90 min (défaut d'extension du carpe au soutien) Prolongation de la phase postérieure de la foulée AG plus marquée à main correspondante Circumduction interne AG, trébuchement AG à plusieurs occasions (atterrissage précoce du sabot et défaut d'extension du carpe et du boulet), attentive avec participation plus importante du regard pour monter les marches Au trot : disparition de la boiterie AG de T10 à T50min et légère diminution de la phase antérieure de la foulée AG
RCV8-2 **RCV8D 14 ml**	Au pas : de T10 à T60min, Légère prolongation de la phase postérieure de la foulée AD et légère diminution de la phase antérieure de la foulée AD avec trajectoire plus rasante de l'AD et circumduction interne juste avant le poser du pied Poser du pied AD plus claquant sur le 8 à main opposée Une foulée sur la butte en montée avec défaut d'extension du boulet AD Au trot : légère diminution de la phase antérieure de la foulée AD de T40 à T90min

Suite du tableau C-10

RCV8-3 **RCV8D 14 ml**	**Parésie radiale D** de T10min à T3h : examen en station et au pas Installation : Dès T5min, circumduction AD et trajectoire élevée du carpe AD pendant la phase de protraction, recul du coude puis du coude et de la pointe de l'épaule à l'appui pendant la phase postérieure de la foulée et diminution de la phase postérieure de la foulée AD (prolongation de la phase postérieure de la foulée AG) Phase stable : Dès T10min, descente du coude et défaut d'appui AD maintenu en semi-flexion en station, défaut d'appui et d'extension AD avec génuflexion et absence de phase postérieure de la foulée lors de l'appui (photo C-9.3) Protraction et proprioception AD maintenues avec poser du sabot en sole Maintien de la flexion du coude (biceps brachial actif) Muscles infra/supra-épineux et trapèze ayant tendance à rester contractés en station et élargissement du polygone de sustentation avec report du poids sur les postérieurs en station et en mouvement (photos C-9.1, 2 et 3) 2 tactiques pour se déplacer : avancée séquentielle des postérieurs puis saut sur l'AG sans appui AD ou avancée AD en protraction en même temps qu'avancée du postérieur diagonal (G) avec poser AD en adduction proche du plan sagittal puis avancée du bipède diagonal AG/PD en écourtant le temps d'appui AD Evolution : Dès T3h, retour de suffisamment de tonus musculaire pour permettre l'appui AD vertical en station sans génuflexion (photo C-9.4) Au pas à T3h30-T4h, défaut de phase antérieure de la foulée AD (avec trajectoire basse du carpe par défaut d'extension) et prolongation de la phase postérieure avec instabilité du coude et de l'épaule en direction crânio-caudale, défaut d'extension du carpe, tremblement du triceps Légère circumduction interne AD à T4h Locomotion au pas normale à partir de T5h Au trot de T3h30 à T8h, boiterie AD avec défaut de phase antérieure de la foulée ; au fur et à mesure des foulées, défaut d'extension du carpe avec diminution de l'amplitude de la foulée jusqu'à une absence de phase postérieure et génuflexion à l'appui (fatigabilité)
RCV8-4 **RCV8G 7 ml**	Examen initial : locomotion raide avec fort engagement des postérieurs au pas et glissement crânial des sabots postérieurs à l'atterrissage au sol, allure rasante raide et peu suspendue au trot Au pas : locomotion plus souple, plus dégindandée dès T10min, **Hypermétrie et hyperflexion (harper) des postérieurs** (PG>PD) de T25min à T2h (en station et au pas, photo C-9.7), hyperflexion encore présente au démarrage sur les premières foulées à T2-3h (PG>>>>PD) et seulement sur PG à T5h, hypermétrie symétrique encore visible sur toutes les foulées jusqu'à T5h Au trot : allure souple et suspendue de T10 àT20min puis refus du démarrage au trot suivi de mouvements hypermétriques symétriques des postérieurs (trajectoire plus haute des jarrets, horizontalisation du canon) sur toutes les foulées jusqu'à T5h Fatiguée entre T3h et T4h, en décubitus sternal, défaut de motivation à se lever, relever facile et bien coordonné

Suite du tableau C-10

RCV8-5 **RCV8D 7 ml**	De T10 à T45min Au pas : diminution de la phase antérieure de la foulée AD avec prolongation de la phase postérieure et circumduction interne AD de façon inconstante Au trot : tendance à se lancer dans le trot par un grand mouvement d'encolure, diminution de la phase antérieure de la foulée AD
RCV8-6 **RCV8G 7 ml**	Au pas : de T10 min à T2h, diminution de la phase antérieure et prolongation de la phase postérieure de la foulée AG, circumduction interne de l'ensemble du membre AG avec adduction du membre en LD Rotation externe de la pointe du coude en LD et majorée sur le cercle serré à main correspondante Au trot : de T10min à T2h, diminution de la phase antérieure et prolongation de la phase postérieure de la foulée AG avec boiterie AG de T30min à T2h
RCV8-7 **RCV8D 7 ml**	Au pas : de T10 min à T2h, circumduction interne de l'ensemble du membre AD avec adduction du membre, diminution de la phase antérieure et prolongation de la phase postérieure de la foulée AD, mouvement AD chaloupé Rotation externe de la pointe du coude en LD et majorée sur le cercle serré à main correspondante Une foulée hypermétrique AD pour la montée du trottoir Croisement AD devant AG à 2 reprises suite à un relever de l'encolure pour regarder au loin Au trot : de T10 à T60min, diminution de la phase antérieure de la foulée AD
RCV8-8 **RCV8G 7 ml**	Examen initial : tendance à billarder AG (aplomb cagneux) et léger soulagement PG **Parésie radiale G** de T4min à T3h : examen en station et au pas Installation : Dès T5min, circumduction interne AG et trajectoire élevée du carpe AG pendant la phase de protraction et poser du sabot en adduction, puis recul du coude et de l'épaule à l'appui pendant la phase postérieure de la foulée diminuée avec rotation externe de la pointe du coude. Tendance à poser le membre largement en adduction. Puis apparition d'une flexion du boulet qui entraine un trébuchement en fin de phase d'appui Phase stable : Dès T10min jusqu'à T90min, descente du coude et défaut d'appui AG maintenu en semi-flexion en station (photo C-9.5), Défaut d'appui et d'extension AG avec flexion du boulet et du carpe et absence de phase postérieure de la foulée lors de l'appui (AG restant en permanence en protraction) Protraction et proprioception AD maintenues avec poser du sabot en sole Flexion thoraco-lombaire et lombo-sacrée avec report de poids sur les postérieurs

Suite du Tableau C-10	Evolution (RCV8-8) : Au pas : dès T2h, retour de suffisamment de tonus musculaire pour permettre un appui AG partiel avec stratégie d'augmentation de la protraction pour réaliser un grand pas et mettre le membre en extension incluant un mouvement de circumduction interne AG avec poser AG en adduction. Puis dès T3h, membre restant en extension à l'appui avec réapparition d'une petite phase postérieure de la foulée en LD et sur le demi-tour serré à main correspondante avec quelques trébuchements intermittents, tremblements du triceps Au trot : à T3h, boiterie AG, foulée AG étriquée, défaut de phase antérieure de la foulée AG et trébuchements AG, disparition des trébuchements et de la boiterie à T4h. Persistance d'une légère diminution de la phase antérieure de la foulée AG à T5h

Tableau C-11 : Association des résultats par RCV8 en terme de positionnement de l'aiguille, mouvements de la jument pendant l'injection, diffusion du produit de contraste et signes locomoteurs

RCV8 Injection Réaction	Examen radiographique avec produit de contraste	Examen locomoteur
RCV8-1 **RCV8G 7 ml** **Optimale** **Réaction ++**	**Large plage de produit de contraste** du PT de C7, jusqu'à l'aspect dorso-crânial de l'articulation entre T1 et la première côte.	Diminution de la phase antérieure et prolongation de la phase postérieure de la foulée AD avec circumduction interne de façon inconstante
RCV8-2 **RCV8D 14 ml** **Optimale** **Réaction +**	**Large plage de produit de contraste** du PT de C7 jusqu'à l'aspect dorso-crânial de l'articulation entre T1 et la première côte	Prolongation de la phase postérieure et diminution de la phase antérieure de la foulée AD avec circumduction interne
RCV8-3 **RCV8D 14 ml** **Caudale** **Réaction 0**	**Plage de produit de contraste** du PT de C7 jusqu'à l'aspect dorso-crânial de l'articulation entre T1 et la première côte avec extension ventrale sous la ligne verticale du PT	**Parésie radiale D**
RCV8-4 **RCV8G 7 ml** **Proximale** **Réaction +**	**Produit de contraste peu visible** avec opacification du foramen intervertébral C7-T1	**Signes centraux** **Hypermétrie et hyperflexion des postérieurs**
RCV8-5 **RCV8D 7 ml** **Proximale** **Réaction ++**	**Produit de contraste peu visible** avec opacification en superposition avec le canal vertébral	Diminution de la phase antérieure de la foulée AD avec prolongation de la phase postérieure et circumduction interne de façon inconstante
RCV8-6 **RCV8G 7 ml** **Distale** **Réaction +**	**Plage ventrale de produit de contraste peu visible** de PT de C7 à la première côte (en superposition avec la moitié dorsale des corps vertébraux)	Diminution de la phase antérieure et prolongation de la phase postérieure de la foulée AG avec circumduction interne de l'ensemble du membre AG
RCV8-7 **RCV8D 7 ml** **Optimale** **Réaction +**	**Plage de produit de contraste** du PT de C7 jusqu'à l'aspect dorso-crânial de l'articulation entre T1 et la première côte (bord dorsal des corps vertébraux et canal vertébral)	Diminution de la phase antérieure et prolongation de la phase postérieure de la foulée AG avec circumduction interne de l'ensemble du membre AG
RCV8-8 **RCV8G 7 ml** **Optimale** **Réaction 0**	Ligne d'opacité en regard du canal vertébral ventral compatible avec à une image d'épidurogramme	**Parésie radiale G**

Figure C-9 : Juments en station pendant la phase de parésie radiale et signes d'ataxie

Photo C-9.1

Photo C-9.2

Photo C-9.3

RCV8-3 **RCV8D 14 ml T2h Parésie radiale D**

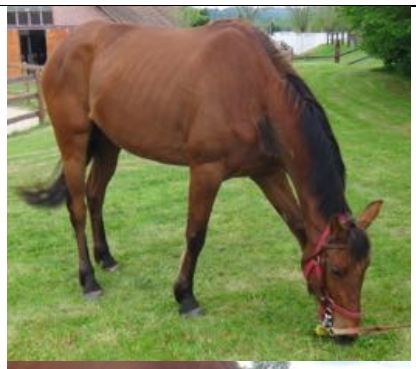
Augmentation du polygone de sustentation avec abduction des postérieurs majorée lorsque l'encolure est abaissée pour brouter
Flexion thoraco-lombaire et lombosacrée avec report du poids du corps sur les postérieurs maintenus en abduction

Photo C-9.4

RCV8-3 **RCV8D 14 ml T3h Parésie radiale D**

Retour progressif du tonus musculaire
Appui AD retrouvé en station avec encolure haute

Position AD en protraction ou en rétraction et appui AD diminué avec encolure basse
Défaut d'extension du carpe et du boulet en protraction



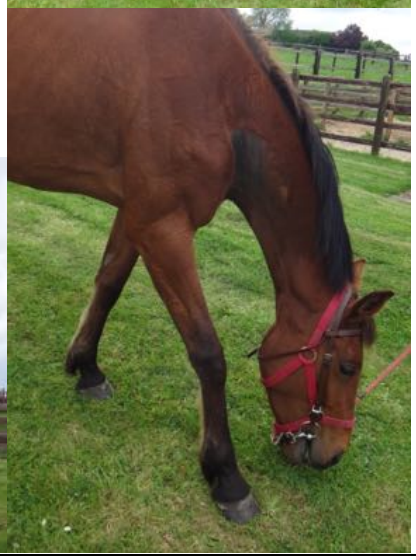


Photo C-9.5

RCV8-8 **RCV8G 7 ml Parésie radiale G: Défaut d'extension du membre (coude, carpe, boulet), coude abaissé, membre maintenu en protraction, report du poids sur les postérieurs**

Photo C-9.6

RCV8-1 **RCV8G 7 ml**
Défaut de phase antérieure G au pas et au trot
Tendance au maintien AG en rétraction en station

Photo C-9.7

RCV8-4 **RCV8G 7 ml Hypermétrie et hyperflexion des postérieurs PG > PD**
Pas de zone de sudation

Les **8 anesthésies péri-neurales du RCV8** ont conduit à l'observation de 3 tableaux cliniques différents :

- Un tableau clinique d'atteinte périphérique du **nerf radial** dans 2 cas,
- Un tableau clinique d'atteinte nerveuse périphérique moins bien définie avec diminution de la phase antérieure de la foulée, prolongation de la phase postérieure et foulée rasante dans 5 cas et
- Un tableau clinique d'atteinte nerveuse centrale dans un cas caractérisé par une **locomotion plus souple et suspendue des 4 membres** et des signes partiellement asymétriques plus marqués ispilatéralement d'**hypermétrie**, d'**hyperflexion** et de **spasticité des membres postérieurs**.

f) Zones cutanées de sudation

Le détail de la présence ou de l'absence de sudation cutanée est présenté dans le tableau C-11 pour RCV7 et C-12 pour RCV8. Les anesthésies provoquant une parésie supra-scapulaire ou radiale ont entraîné l'apparition d'une zone de sudation alors que les anesthésies ayant provoqué des signes d'ataxie ont été associées à une absence de sudation.

La **parésie supra-scapulaire** consécutive à l'anesthésie de RCV7 (4 injections sur 6) était associée au développement d'une zone de sudation de l'encolure ayant un bord caudal en regard de l'aspect crânial de l'épaule. En raison du ruissèlement de la sueur sur les poils par gravité et/ou du fait de l'orientation des poils, la détermination exacte de la zone en sudation par rapport à l'étendue des poils humides n'a pas été évidente. La ligne dorsale de production de sueur était la plus facilement identifiable et correspondait à la racine des crins (figure photos C-10.1, 3 et 4. Elle s'étendait sur la moitié caudale ou les 2/3 caudaux de l'encolure et s'arrêtait crânialement au cartilage scapulaire. Pour RCV7-2 et 3, l'origine crâniale le long des crins remontait en région cervicale crâniale. Ventralement une ligne de sueur était visible sur le plan sagittal longeant la trachée et passant entre les pectoraux. Le ruissèlement contournait la pointe de l'épaule latéralement et descendait dans le sillon entre le bord caudo-distal du deltoïde et l'aspect crânial du chef latéral du triceps et contournait le creux du coude vers l'interars. Les pectoraux descendant et transverse, la face dorsale et médiale de l'avant-bras en regard de l'extenseur radial du carpe étaient aussi mouillés.

De plus, les conditions de température extérieure ont influencé l'intensité de la production de sueur et l'humidification des poils. Les anesthésies réalisées en avril, mai et juin sous une température douce à chaude pour la saison ont entraîné une plage de sudation étendue alors que l'anesthésie de RCV7-6 a été réalisée fin novembre avec une température extérieure basse et a provoqué une zone de sudation limitée, une bande transversale sur l'encolure en avant de la ligne crâniale de l'épaule (figure photo C-10.5).

Lors de la régression des effets, les pages de sudation ont diminué en taille au fur et à mesure du séchage des poils (figure photo C-10.2) sur l'encolure en une zone longitudinale crâniale à l'épaule, d'aspect similaire à la zone de sudation restreinte de RCV7-6 obtenue en novembre (figure photo C-10.5).

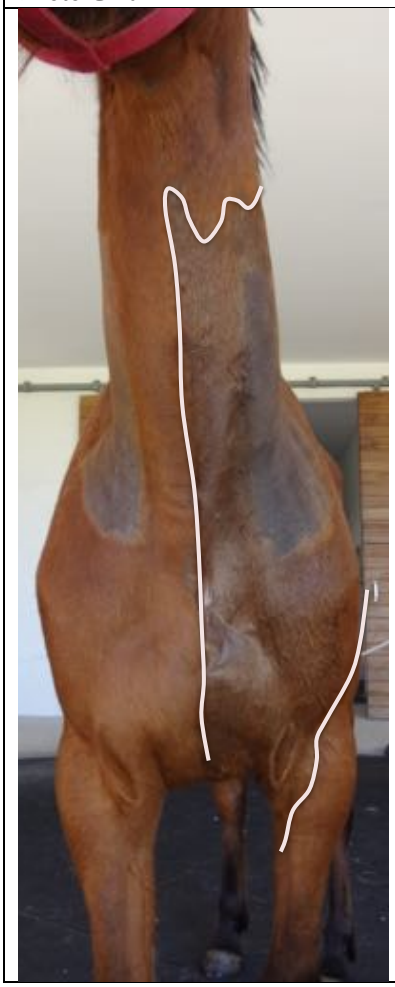
Tableau C-12 : Description des zones de sudation cutanée pour RCV7

RCV7 Température extérieure/Poils	**Tableau locomoteur dominant** **Descriptif de la zone cutanée de sudation**
RCV7-1 **RCV7D 7 ml** Douce/courts	**Ataxie** légère des 4 membres **Absence** de zone cutanée de sudation
RCV7-2 **RCV7G 14 ml** Douce /courts	**Parésie supra-scapulaire G** de T5min à T4h Large zone de sudation de la nuque sur toute la longueur de la base de la crinière avec pour limite ventrale le plan sagittal et pour limite caudale le bord crânial de l'épaule à partir de T20 et en régression dès T80min jusqu'à T3h Ruissèlement au niveau de l'interars et des pectoraux (photos C-10.1 et 2)
RCV7-3 **RCV7D 7 ml** Chaud/courts	**Parésie supra-scapulaire D** de T5min à T3h30 Large zone de sudation de la moitié caudale de l'encolure de la base de la crinière avec pour limite ventrale le plan sagittal et pour limite caudale le bord crânial de l'épaule à partir de T10 et en régression dès T2h30, poils secs à T3h Ruissèlement sur l'avant bras (extenseurs, interars) jusque sur le sabot et au niveau des muscles pectoraux Vaisseaux cutanés dilatés (photo C-10.3)

Suite tableau C-13	
RCV7-4 **RCV7D 7 ml** Frais/Longs	**Parésie supra-scapulaire D** de T7min à T3h Large zone de sudation de 2/3 distaux de l'encolure de la base de la crinière avec pour limite ventrale le plan sagittal et pour limite caudale le bord crânial de l'épaule à partir de T10 et en régression dès T2h30, poils longs d'hiver longs à sécher, pas de sudation active à T4h (photo C-10.4) Ruissèlement sur l'avant bras (extenseurs, interars) jusque sur le sabot et au niveau des muscles pectoraux
RCV7-5 **RCV7G 7 ml** Froid/Longs	**Ataxie** des 4 membres **Absence** de zone cutanée de sudation
RCV7-6 **RCV7D 7 ml** Froid/Longs	**Parésie supra-scapulaire D** modérée de T7min à T3h Zone cutanée circonscrite de sudation de la pointe de l'épaule et en regard de la partie distale du brachiocéphalique à partir de T20, remontant le long du bord crânial de l'épaule jusqu'à la naissance des crins entre T60 et T90, Poils secs à T2h30 (photo C-10.5)

Figure C-10 : Photographies des zones de sudation associées à la parésie supra-scapulaire

Photo C-10.1



RCV7-2
RCV7G 14 ml
Parésie supra-scapulaire G

Zone de sudation

commençant en haut de la nuque, le long de la racine de la crinière jusqu'au bord crânial de l'épaule, englobant la pointe de l'épaule

Délimitation ventrale sur le plan sagittal

Ruissèlement sur les pectoraux, l'interars et l'avant-bras

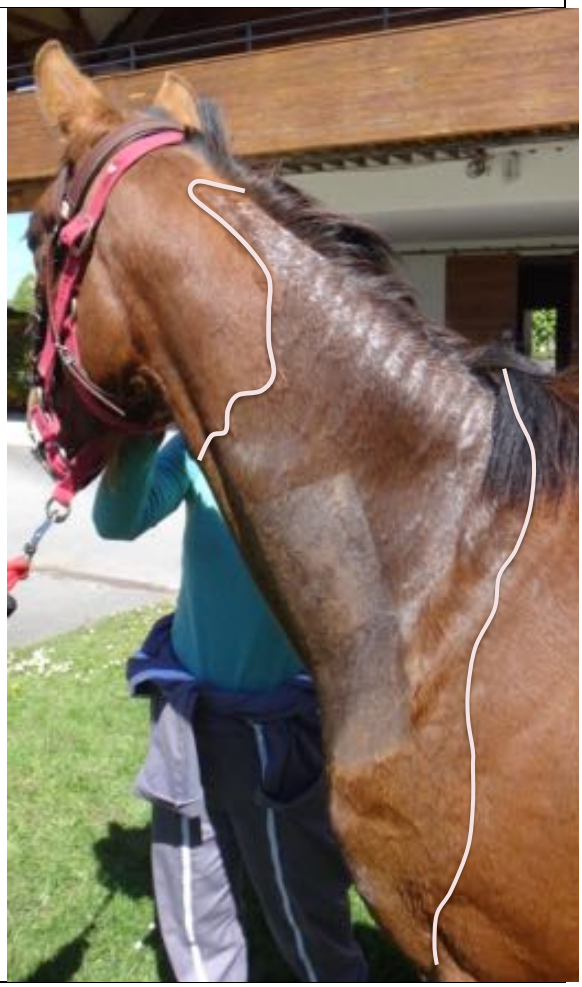
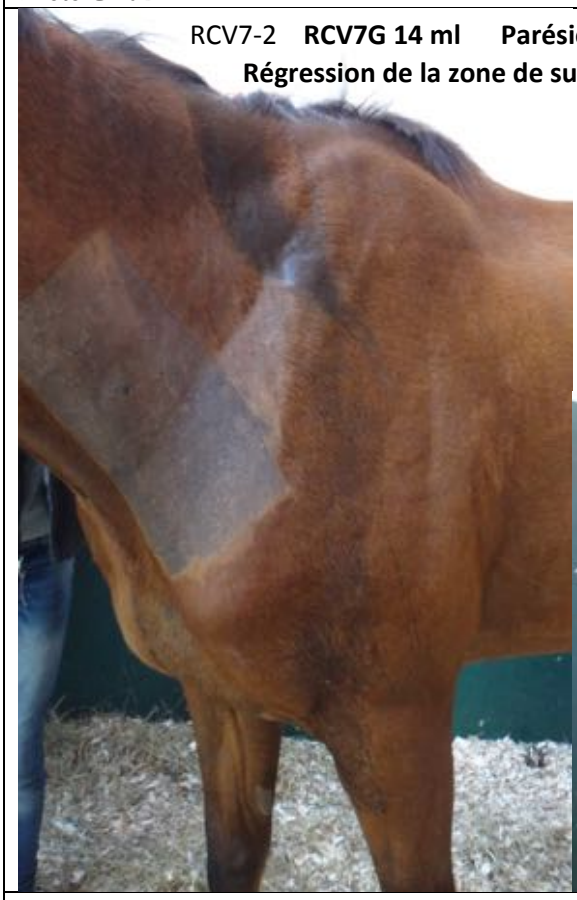
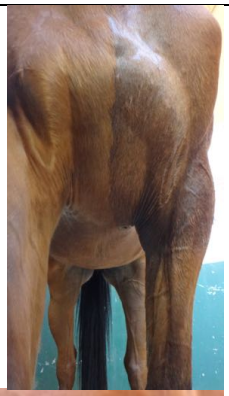


Photo C-10.2



RCV7-2 **RCV7G 14 ml** **Parésie supra-scapulaire G**

Régression de la zone de sudation avec persistance d'une zone sur l'encolure caudale, une bande sur le bord crânial de l'épaule et une zone sur les pectoraux; Ruissèlemet entre pointe de l'épaule et deltoïde vers l'interars



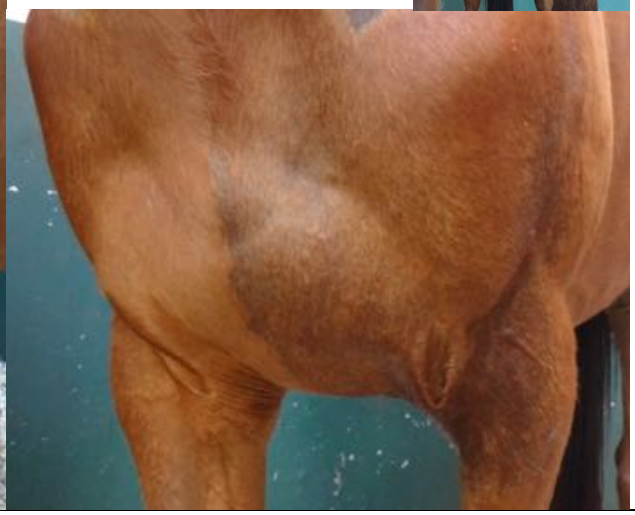
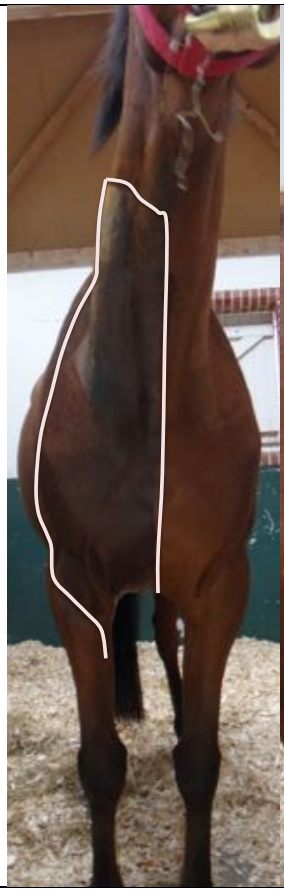


Photo C-10.3



RCV7-3 **RCV7D 7 ml** **Parésie supra-scapulaire D**

Zone de sudation: Moitié caudale de l'encolure de la base des crins au bord crânial de l'épaule, ligne ventrale sur le plan sagittal

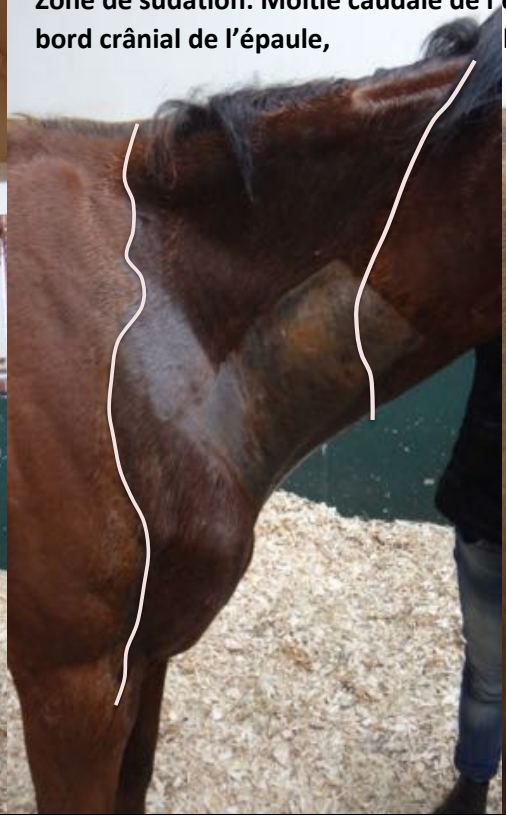


Photo C-10.4

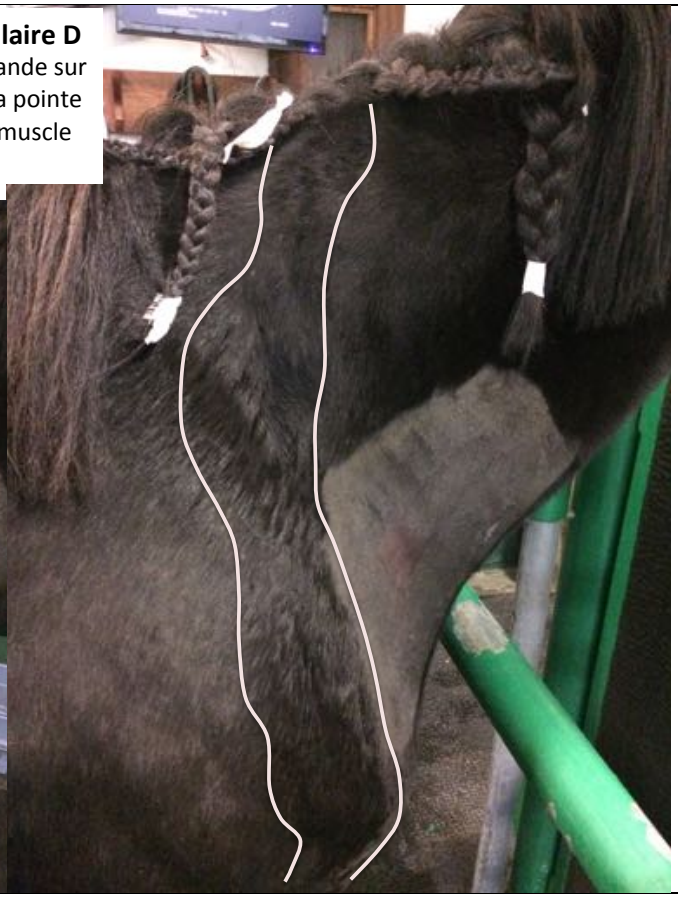
RCV7-4 **RCV7D 7 ml Parésie supra-scapulaire D**

Large zone de sudation des 2/3 caudaux de l'encolure de la racine des crins à la ligne ventral sagittale, délimitation caudale sur le bord crânial de l'épaule

Vasodilatation cutanée visible sur la portion tondue de l'encolure

Photo C-10.5

RCV7-6 **RCV7D 7 ml Parésie supra-scapulaire D**
Zone de sudation limitée (temps froid) à une bande sur le bord crânial de l'épaule incluant la zone de la pointe de l'épaule et en regard de la partie distale du muscle brachiocéphalique



La parésie radiale consécutive à l'anesthésie de RCV8 (2 injections sur 8) était associée au développement d'une zone de sudation de l'épaule et l'avant-bras. Une bande de sudation était identifiable sur la face latérale de l'épaule commençant environ à mi-hauteur des muscles infra et supra-épineux et descendant le long du triceps sans englober ni la pointe de l'épaule ni la pointe du coude (photo C-11.1). L'avant-bras était en sueur de sa face médiale à latérale en passant par sa face crâniale (en regard des extenseurs). Un croissant mince de sueur était visible pour RCV8-8 sur l'encolure caudo-dorsale en avant du garrot et de la scapula (photo C-10.2).

Comme pour RCV7, les anesthésies responsables de signes d'ataxie n'ont pas été associées au développement de sudation.

Tableau C-13 : Description des zones de sudation cutanée pour RCV8

RCV8 Température extérieure/Poils	**Tableau locomoteur dominant** **Descriptif de la zone cutanée de sudation**
RCV8-1 **RCV8G 7 ml** Douce/courts	Diminution de la phase antérieure de la foulée AG **Absence** de zone cutanée de sudation
RCV8-2 **RCV8D 14 ml** Chaud/courts	Diminution de la phase antérieure de la foulée AG **Absence** de zone cutanée de sudation
RCV8-3 **RCV8D 14 ml** Chaud/courts	**Parésie radiale D** **Large zone de sudation** visible un fois la suée globale initiale passée (réaction de panique initialement lors de la survenue de la parésie) englobant la face latérale de l'épaule sans la pointe du coude, la face latérale, dorsale et médiale de l'avant-bras en régression à partir de T60min, poils secs à T2h30 (photo C-10.1)
RCV8-4 **RCV8G 7 ml** Frais/Longs	**Hypermétrie et hyperflexion des postérieurs** **Absence** de zone cutanée de sudation
RCV8-5 **RCV8D 7 ml** Frais/Longs	Diminution de la phase antérieure de la foulée AG **Absence** de zone cutanée de sudation
RCV8-6 **RCV8G 7 ml** Froid/Longs	Diminution de la phase antérieure de la foulée AG, rotation externe du coude (instabilité) **Absence de sudation** sur la zone tondue de l'encolure, **sudation tardive** à T2h en regard des muscles brachiocéphalique (partie distale), pectoral descendant, et extenseur radial du carpe, encore humides à T4h
RCV8-7 **RCV8D 7 ml** Froid/Longs	Diminution de la phase antérieure de la foulée AG **Absence** de zone cutanée de sudation
RCV8-8 **RCV8G 7 ml** Froid/Longs	**Parésie radiale G** Une **zone de sudation limitée** à l'avant-bras sur les extenseurs à partir de T60min, une fine bande transversale de sudation de la naissance des crins à la pointe de l'épaule avec une extension en regard du triceps, descendant sur les extenseurs et l'interars à partir de T3h suite à la rentrée au box, poils secs à T4h (photo C-10.2)

Figure C-11 : Photographies des zones de sudation associées à la parésie radiale

Photo C-11.1

RCV8-3

RCV8D 14 ml

Parésie radiale D

Zone de sudation

Face crânio-latérale de l'épaule sans inclure la pointe du coude

Faces latérale, dorsale et médiale de l'avant bras

Photo C-11.2

g) Tests de sensibilité cutanée à l'algomètre de pression

La réalisation des tests de sensibilité cutanée s'est avérée difficile sur les 4 juments qui ont rapidement développé une intolérance au test, rendant ininterprétable la réaction à la pression cutanée, et ce même avec l'application d'une serviette sur la tête pour cacher leur vue. L'essai de plusieurs tailles de tête n'a pas amélioré la faisabilité du test. La tête de 3 mm a été sélectionnée pour l'ensemble des tests réalisés.

La première jument a été testée au printemps, période des mouches et d'une réactivité consécutive importante des muscles cutanés de l'encolure et du tronc. La répétition des points de pression entraînait une activation des muscles cutanés immédiate et des taper du pied avec déplacements intempestifs de la jument pour se soustraire du stimulus et agacement certain. Aussi, seule la sensibilité non douloureuse semblable à l'effleurage a été testée car il n'a pas été possible d'appliquer progressivement la pression jusqu'à un seuil potentiellement nociceptif et ce malgré l'aspect mousse de la sonde de l'algomètre.

Pour les anesthésies suivantes, le test n'a été entrepris que si les juments étaient calmes et toléraient le test sans s'énerver à un ou 2 temps d'examen et non à chaque temps d'examen comme prévu initialement. Le tableau C-13 rassemble les résultats obtenus. Le test commençait par l'application de la sonde sur la zone cutanée de l'encolure ayant reçu l'anesthésie sous-cutanée pré-injection péri-neurale puis le témoin positif sur la face latérale du thorax. Les dermatomes étaient ensuite testés en 6 points (dermatomes axillaire, radial, musculo-cutané, médian, ulnaire) comme illustré sur la figure C-1 dans le matériel et méthodes. Le test a été entrepris sur 11 des 14 injections dont 3 abandons. Les dermatomes distaux (ulnaire et médian) n'ont pas toujours été réalisés.

Les résultats sont rassembles dans le tableau C-14 pour RCV7 et C-15 pour RCV8.

Tableau C-14 : Résultats des tests de sensibilité cutanée à l'algomètre de pression suite à l'anesthésie péri-neurale de RCV7

RCV 7	Tests de sensibilité cutanée
RCV7-1 **RCV7D 7 ml**	Test + (face latérale du thorax) : + Test – (zone cutanée de l'anesthésie SC au point d'injection) : - Test des dermatomes : + à T20 et T50 minutes
RCV7-2 **RCV7G 14 ml**	Tests ininterprétables car jument trop agitée Abandon
RCV7-3 **RCV7D 7 ml**	Abandon car réaction d'intolérance de la jument Activation du muscle cutané de l'encolure et de l'épaule suite à la sensation de gouttes de sueur ruisselant sur la face latérale de l'épaule
RCV7-4 **RCV7D 7 ml**	Test + (face latérale du thorax) : + Test des dermatomes : + (activation des muscles cutanés similaire à une réaction contre les mouches)
RCV7-5 **RCV7G 7 ml**	Non réalisé
RCV7-6 **RCV7D 7 ml**	Non réalisé

Tableau C-15 : Résultats des tests de sensibilité cutanée à l'algomètre de pression suite à l'anesthésie péri-neurale de RCV8

RCV8	Tests de sensibilité cutanée
RCV8-1 **RCV8G 7 ml**	Test + (face latérale du thorax) : + Test – (zone cutanée de l'anesthésie SC au point d'injection) : - Test des dermatomes : + à T30 et T60 minutes Activation des muscles cutanés par les mouches se posant sur l'épaule et le triceps
RCV8-2 **RCV8D 14 ml**	Test + (face latérale du thorax) : + Test – (zone cutanée de l'anesthésie SC au point d'injection) : - Test des dermatomes : + à T30 et T60 minutes
RCV8-3 **RCV8D 14 ml**	Ininterprétable à T30 et T45 minutes Activation des muscles cutanés par les mouches se posant sur le triceps
RCV8-4 **RCV8G 7 ml**	Test + (face latérale du thorax) : + Test – (zone cutanée de l'anesthésie SC au point d'injection) : - Test des dermatomes : test uniquement sur le dermatome radial au dessus du triceps avec comparaison gauche-droite à T90 minutes (tolérance de 15N bilatérale)
RCV8-5 **RCV8D 7 ml**	Non réalisé
RCV8-6 **RCV8G 7 ml**	Test + (face latérale du thorax) : + Test des dermatomes : + à T90 (+ sur les zones en sueur)
RCV8-7 **RCV8D 7 ml**	Test + (face latérale du thorax) : + Test des dermatomes : + à T20 minutes
RCV8-8 **RCV8G 7 ml**	Test + (face latérale du thorax) : + Test des dermatomes : + à T60 minutes

Aucune anesthésie de dermatomes n'a été mise en évidence. Les difficultés rencontrées à la réalisation du test ont montré qu'il n'était pas adapté à l'évaluation de la nociception dans les conditions expérimentales présentes. La sensibilité cutanée fine (patte de mouche, goutte de sueur) était présente sur l'ensemble des dermatomes du membre antérieur.

3. Analyses des résultats et discussion

Résumé des résultats :

Les **6 anesthésies péri-neurales du RCV7** ont conduit à l'observation de 2 tableaux cliniques différents :
- Un tableau d'atteinte périphérique du **nerf supra-scapulaire** dans 4 cas et
- Un tableau d'atteinte nerveuse centrale d'**ataxie des 4 membres** dans 2 cas.

Les **8 anesthésies péri-neurales du RCV8** ont conduit à l'observation de 3 tableaux cliniques différents :
- Un tableau clinique d'atteinte périphérique du **nerf radial** dans 2 cas,
- Un tableau clinique d'atteinte nerveuse périphérique moins bien définie avec diminution de la phase antérieure de la foulée, prolongation de la phase postérieure et foulée rasante dans 5 cas et
- Un tableau clinique d'atteinte nerveuse centrale dans un cas caractérisé par une **locomotion plus souple et suspendue des 4 membres** et des signes partiellement asymétriques plus marqués ispilatéralement d'**hypermétrie**, d'**hyperflexion** et de **spasticité des membres postérieurs**.

a) Effet de l'anesthésie de RCV7 sur la station et la locomotion : parésie supra-scapulaire

Analyse de la station et de la locomotion au pas lors de parésie supra-scapulaire :

L'anesthésie des fibres motrices du nerf supra-scapulaire provoque une paralysie des muscles supra et infra-épineux. Le muscle supra-épineux (SE) est le principal extenseur du bras (de l'épaule) alors que le muscle infra-épineux (IE) est abducteur du bras avec rotation externe et contribue à la flexion du bras. Les deux muscles ont un rôle de contention de l'articulation scapulo-humérale en limitant la projection crâniale de la tête humérale pour le SE et en limitant les déplacements transversaux de la tête humérale pour le IE. L'altération de la station et de la locomotion lors de parésie supra-scapulaire est la résultante de l'absence de tonus et contraction des 2 muscles associée à de l'adaptation des autres muscles du membre à ce déficit ainsi que de la proprioception globale du cheval pour rechercher un équilibre optimisé en station et en mouvement.

En station, les juments portaient plus de poids sur l'antérieur controlatéral et soulageait l'antérieur atteint qui était souvent positionné en rétraction ou protraction et en abduction, en particulier lors de l'abaissement de l'encolure, laquelle augmente le poids sur les antérieurs. En station au carré, les muscles pectoraux restaient contractés pour augmenter l'adduction du membre et compenser le défaut de contention latérale de l'épaule.

L'analyse des vidéos en évaluant l'impact de la paralysie sur les phases de la foulée a mené à l'interprétation suivante :

- Pendant la **phase d'amortissement de la phase d'appui**, le défaut de contention crâniale de l'épaule et d'extension (SE) peut contribuer à un défaut d'ouverture de l'angle scapulo-huméral et à une possible horizontalisation de l'humérus mais n'est pas facile à objectiver à l'œil nu en raison du raccourcissement de cette phase suite à une battue précoce (défaut de phase antérieure de la foulée avec poser anticipé du pied au sol);
- Pendant la **phase de support de la phase d'appui**, le défaut de contention latérale de l'épaule (IE) entraîne un décollement (déplacement latéral) de l'épaule par rapport au thorax visible particulièrement au niveau de la pointe de l'épaule et toujours plus marqué sur le cercle serré à main correspondante (appui sur l'antérieur intérieur majoré) ;
- Pendant la **phase de propulsion de la phase d'appui**, le défaut de contraction du SE qui pourrait limiter l'ouverture de l'angle scapulohuméral n'apparaît pas dominant, la propulsion et la détente du membre sont maintenues (action des muscles pectotal ascendant, grand dorsal, subclavier….) et la phase postérieure de la foulée est prolongée probablement par défaut de résistance (SE) contre les muscles propulseurs ;
- Pendant la **phase de soutien**, le **ramener** et la **phase de suspension** apparaissent d'amplitude normale même si l'IE ne contribue pas à la flexion du bras sur l'épaule, l'action des pectoraux non contrecarrée par l'IE (et sans doute plus actifs pour stabiliser l'épaule) imposent une mouvement d'adduction et de rotation interne du bras ce qui donne un mouvement de circumduction interne particulièrement visible au niveau du sabot et un poser du pied médialement à la ligne para-sagittale du membre ;
- Pendant la **protraction** de la **phase de soutien**, l'action des muscles mobilisant la scapula et le reste du membre antérieur vers l'avant apparaît normale mais la phase antérieure de la foulée est réduite. Il s'agit soit d'une adaptation du cheval à son handicap soit une répercussion de la prolongation de la phase postérieure de la foulée afin que le temps de foulée reste symétrique pour les 2 antérieurs.

Les juments ont très vite développé sur le temps d'observation une stratégie d'adaptation à leur déficit. Les modifications adaptatives du polygone de sustentation en mouvement semblent viser à diminuer le poids sur le membre antérieur atteint, compenser le déficit moteur par des actions musculaires modifiées et comprennent :

- un report d'encolure sur le côté opposé,
- une incurvation axiale avec déplacement des hanches du côté opposé,
- en réponse au déséquilibre lors de l'appui sur le membre atteint, des essais inconstants de poser de l'antérieur atteint en abduction latéralement au plan para-sagittal de déplacement du membre ce qui a pour effet de compenser en partie le mouvement d'adduction du membre secondaire à la parésie et de limiter l'effondrement de l'épaule lors de l'appui (rayon moins sous le poids du corps).

Analyse de la locomotion au trot lors de parésie supra-scapulaire :

L'examen au trot n'a été possible que dans la phase de régression de la paralysie à partir de 2-3h après l'injection péri-nerveuse. L'aspect dominant est la diminution de la phase antérieure de la foulée accompagnée d'une prolongation de la phase postérieure plus ou moins marquée et d'une boiterie inconstante par défaut d'appui sur le membre atteint. Le décollement de l'épaule est moins marqué et moins visible du fait du temps d'appui réduit au trot par rapport au pas. Les mouvements d'abduction et de circumduction interne en régression à ce stade de l'examen au pas ne sont pas retrouvés au trot.

Comparaison avec les données de la littérature et discussion :

Devine et al. (2006) ont réalisé une anesthésie du nerf supra-scapulaire sur 3 chevaux avec 1 ml de mépivacaïne 2% après pose chirurgicale d'un cathéter péri-nerveux en regard du passage du nerf sur le bord crânial de la scapula. La description des signes cliniques au pas après analyse des vidéos est sommaire et se limite au terme d'instabilité de l'épaule. Les auteurs concluent que les signes cliniques observés sont en adéquation avec l'affection « sweeney » dont l'origine est attribuée à un traumatisme du nerf supra-scapulaire. Les signes décrits du « sweeney » sont une amyotrophie des muscles supra et infra-épineux le plus souvent associée à une instabilité de l'épaule.

Henry (1976) a développé une approche chirurgicale de névrectomie au niveau du plexus brachial chez le poney. La névrectomie du nerf supra-scapulaire au niveau du plexus a entraîné une instabilité et une abduction légères de l'épaule au pas, un raccourcissement de la foulée au trot et des trébuchements occasionnels 1 semaine après l'intervention. A 3 mois, le poney ne présentait plus de modification d'allure mais avait une amyotrophie marquée des muscles SE et IE. L'évolution des signes cliniques sur le poney de Henry est similaire à celle rapportée par Dunton et al. (1999) qui ont réalisé une étude rétrospective sur 8 cas de traumatisme du nerf supra-scapulaire géré médicalement par du confinement et du repos. Tous les chevaux ont montré une boiterie modérée à sévère initialement avec excursion latérale de l'épaule pendant la phase d'appui de la foulée qui est apparue dans les 24 heures après le trauma et s'est résolue en 3 à 12 mois. L'atrophie des muscles SE et IE était apparente dans les 10 à 14 jours post-trauma, était permanente ou disparaissait partiellement entre 6 et 12 mois voire complètement en 15 à 18 mois.

Ces trouvailles confirment la description de Schneider & Bramlage (1990) qui mentionnent une instabilité de l'épaule, un mouvement latéral de la tête humérale lors de l'appui sur le membre affecté plus facilement objectivable par observation de face et une amyotrophie des muscles SE et IE. Les évolutions ne sont pas décrites en détail mais certains chevaux retrouvent leur niveau d'activité antérieur au trauma. La description des cas collectés par Emond et al. (2016) est la plus précise. Les 11 cas présentaient une instabilité de l'épaule avec déviation latérale au pas, une boiterie et une diminution de la phase antérieure de la foulée inconstantes au trot. En station, une instabilité de l'épaule, un maintien du membre en rétraction et abduction et

une résistance diminuée au test de rétraction du membre sont mentionnés. L'amyotrophie musculaire concerne l'IE, le SE ou les deux.

La synthèse de ces descriptions cliniques, même si peu détaillées et non standardisées, confirme la similitude des signes cliniques de l'anesthésie de RCV7 avec ceux de l'atteinte du nerf supra-scapulaire par traumatisme « naturel » ou par induction en son site de contournement de la scapula (anesthésie) ou juste distalement au plexus brachial (névrectomie). Les racines cervicales du nerf supra-scapulaire chez le cheval sont constituées principalement de RCV6 et RCV7 avec une participation faible de RCV8 mentionnée par Barone mais non retrouvée dans les dissections de Magilton. L'anesthésie de RCV7 a interrompu la conduction de suffisamment de fibres nerveuses motrices du nerf supra-scapulaire pour entraîner un déficit moteur des 2 muscles qu'il innerve (SE et IE). Il est possible que la contribution de RCV7 au nerf soit prépondérante chez nos 4 juments.

RCV7 participe aussi aux fibres des nerfs subscapulaires, subclavier, pectoraux, thoracique long et musculo-cutané. Une anesthésie des fibres motrices de ces nerfs entraînerait une paralysie des muscles suivants :

- nerfs subscapulaires : muscle subscapulaire (adduction et rotation interne du bras, contention médiale de l'épaule)
- nerf subclavier : muscle subclavier (protraction du membre et soutènement du thorax)
- nerfs pectoraux : muscles pectoraux descendant, transverse et ascendant (adduction et rotation interne du membre, protraction pour le descendant, propulsion et détente du membre pour l'ascendant)
- nerf thoracique long : muscle dentelé ventral du thorax et muscle dentelé du cou (protaction du membre, suspension du thorax et de l'encolure)
- nerf musculo-cutané : muscles brachial, biceps brachial et coracobrachial (flexion et rotation externe de l'avant-bras pour le biceps brachial).

Une anesthésie de ces nerfs n'a pas été mise en évidence cliniquement : la protraction et la propulsion du membre étaient présentes même si les phases étaient altérées (diminution de la phase antérieure et prolongation de la phase postérieure de la foulée). Le thorax et l'encolure avaient une suspension dans la norme, la flexion du coude est apparue adéquate. Les pectoraux semblaient avoir une activité accrue (adduction et rotation interne du membre) même en station pendant laquelle ils se maintenaient contractés. Plusieurs hypothèses peuvent être émises sur l'anesthésie « spécifique » des fibres du nerf supra-scapulaire au niveau du RCV7 :

- Position dorsale superficielle des fibres motrices du nerf supra-scapulaire au sein du RCV7 avec majorité des fibres du nerf issues de RCV7,
- Appréciation clinique pas assez sensible pour faire état d'une faiblesse musculaire des autres muscles innervés par RCV7,
- Position plus profonde dans le RCV7 ou nombres de fibres anesthésiées insuffisantes pour obtenir des symptômes cliniques de parésie pour les nerfs subscapulaires, subclavier, pectoraux, thoracique long et musculo-cutané.

L'anesthésie du RCV7 semble bien reproduire les signes cliniques décrits de parésie à paralysie supra-scapulaire chez le cheval.

b) Effet de l'anesthésie de RCV8 sur la station et la locomotion : parésie radiale et assimilé

Analyse de la station et de la locomotion au pas lors de parésie supra-scapulaire :

Les principaux muscles innervés par le nerf radial (triceps brachial, extenseur radial du carpe, extenseurs dorsal et latéral du doigt) ont un rôle d'extension du coude et de la main du cheval (Barone 1980). De plus, lors de l'appui sur le membre en station comme en mouvement, le muscle triceps brachial maintient l'ouverture de l'angle scapulo-huméral avec les m. pectoraux, SE et biceps brachial en assurant l'extension de l'avant-bras (coude).

L'altération de la station et de la locomotion lors de parésie radiale est la résultante de l'absence de tonus et contraction des muscles cités associée à l'adaptation des autres muscles du membre à ce déficit et de la proprioception globale du cheval pour rechercher un équilibre optimisé en station et en mouvement. La proprioception au niveau du sabot (nerf médian et ulnaire) est apparue intacte.

Pendant le cours de l'installation de la parésie radiale, les juments en station pouvaient initialement porter appui sur l'antérieur atteint puis avec la relaxation du triceps brachial, l'appui avec le coude en extension n'était plus possible. La pointe du coude avait une position basse avec le coude en semi-flexion et le rebondi habituel du muscle triceps brachial visible en station était absent, remplacé par un muscle plat et allongé. Le défaut d'extension du carpe et du doigt se matérialisait par un maintien du membre en légère protraction et en semi-flexion avec un poser du sabot en sole mais parfois en face dorsale du sabot lorsque le membre était maintenu en légère rétraction. De plus, le membre était souvent maintenu en adduction.

L'analyse des vidéos en évaluant l'impact de la paralysie sur les phases de la foulée a mené à l'interprétation suivante :

- Pendant la **phase d'amortissement et de support de la phase d'appui**, le défaut de contrôle de la fermeture (verrouillage) des angles articulaires destinés à absorber la réaction entre le sol et l'énergie cinétique de la masse du cheval (extension du coude et de la main) entraîne l'absence d'amortissement et l'effondrement de la colonne osseuse suivie du cheval entier ou encore l'adaptation du cheval à diminuer le poids porté sur son membre pour ne pas s'effondrer (appui partiel à nul sur le membre juste posé au sol) ; l'appui entraînait une flexion du boulet et du carpe ;
- La **phase de propulsion de la phase d'appui** est absente (pas de phase postérieure de la foulée) car le défaut d'extension du membre empêche la restitution de l'énergie normalement emmagasinée pendant l'amortissement et le soutènement ;
- Pendant la phase d'installation ou de disparition de la paralysie ou lors de degré moindre, le support du membre et du poids du corps est possible malgré une faiblesse musculaire et donc une fermeture des angles articulaires moins fortes, le membre reste en extension pendant la phase d'appui mais le bras de la pointe de l'épaule à la pointe du coude a un mouvement de recul associé à une ouverture de l'angle scapulo-huméral lorsque le membre entre dans la phase de propulsion, sans doute suite à l'action des muscles de la propulsion (pectoral ascendant et grand dorsal) agissant sur un rayon osseux instable ;
- Pendant la **phase de soutien**, le **ramener** et la **phase de suspension** sont courtes à inexistantes en raison de la diminution à l'absence de phase postérieure de la foulée ;
- Pendant la **protraction** de la **phase de soutien**, les actions d'horizontalisation de la scapula (muscles trapèze thoracique, dentelé ventral du thorax), de protraction du membre (muscles brachiocéphalique, omotransversaire et pectoral descendant) et de flexion du coude (biceps brachial) paraissent plus marquées tout comme l'extension scapulo-humérale (rôle du muscle SE avec défaut de contention de l'angle caudal de

l'épaule par le triceps) ; par contre, en fin de protraction puis sur la battue, l'extension du coude et de la main est diminuée, essentiellement réalisée par l'effet conjoint de l'énergie cinétique du déplacement de la scapula et de l'extension scapulo-humérale transmise au membre passivement et du poids des rayons distaux. Suivant la prépondérance de la participation des muscles abducteurs et/ou rotateurs externes du membre (deltoïde, IE, trapèze, biceps brachial) ou adducteurs/rotateurs internes (grand rond, subscapulaire, coraco-brachial, pectoral descendant), le membre est posé en adduction ou abduction.

Les adaptations visibles lorsque la parésie est faible et l'appui possible comprenaient une augmentation du mouvement de protraction du membre avec une trajectoire surélevée du sabot pour lancer le membre en avant et favoriser son extension par gravité et une réduction de la longueur de la foulée dans son ensemble pour diminuer le temps d'appui et le recul du bras. De façon intermittente, le membre atteint était placé en abduction à la battue pour limiter le transfert du poids du corps sur le membre (participation accrue des muscles deltoïde, infra-épineux et trapèze en station et en mouvement). Il est toutefois possible d'interpréter cette abduction comme une adaptation proprioceptive.

Analyse de la locomotion au trot lors de parésie radiale:

L'examen au trot n'a été possible que dans la phase de régression de la paralysie à partir de 3h post-injection. L'aspect dominant est la diminution de la phase antérieure de la foulée accompagnée d'une prolongation de la phase postérieure plus ou moins marquée et d'une boiterie inconstante par défaut d'appui sur le membre atteint. Une certaine fatigabilité/faiblesse musculaire a été notée avec l'apparition de trébuchements (défaut d'extension du membre avec génuflexion en fin d'appui) et d'une réduction de l'amplitude de la foulée voire une disparition de la phase postérieure de la foulée suite à la génuflexion. Les signes se sont estompés progressivement, le défaut de phase antérieure et les trébuchements étant les derniers signes persistants.

Analyse de la locomotion pour les 5 anesthésies de RCV8 qui n'ont pas entraîné une parésie radiale franche

Le contexte de l'injection n'était pas aussi optimal que pour les 2 parésies radiales et a été désigné responsable de la symptomatologie clinique plus vague en raison d'un dépôt moins ciblé de l'anesthésique. Toutefois, les 5 injections se sont traduites par un tableau clinique assez répétable :

- une diminution de la phase antérieure de la foulée systématique au pas et au trot avec une augmentation de la phase postérieure discrète à franche ;
- un mouvement de circumduction interne de l'antérieur atteint au pas systématique ;
- des mouvements anormaux plus isolés tels que des trébuchements sur surface plane dure, un poser moins bien maîtrisé du pied entraînant un claquer anormalement bruyant, un défaut d'extension du carpe ou du boulet (semi-flexion temporaire en fin d'appui) sur un terrain variable (herbe du 8 trottoir ou de la butte), une augmentation de l'utilisation du balancier cervico-céphalique pour le départ au trot, une instabilité du coude avec légère rotation externe de la pointe en fin d'appui et aggravé sur le cercle serré à main correspondante.

Ces signes ont des similitudes avec ceux de la parésie radiale en début d'installation ou en forte régression en particulier le défaut de phase antérieure et la prolongation de la phase postérieure en plus de la circumduction.

Comparaison avec les données de la littérature et discussion :

Rooney décrit en 1963 les formes cliniques de la paralysie radiale chez le cheval sous la classification d'atteinte plus ou moins distale du nerf : perte de fonction des muscles extenseurs du coude, perte de fonction des muscles extenseurs du carpe et du doigt ou perte de fonction de l'ensemble des muscles extenseurs du coude, du carpe et du doigt. Les signes cliniques associés sont :

- l'avancement normal du pied suivi d'un défaut d'extension du coude par perte de fonction du muscle triceps brachial et d'une incapacité à étendre le membre dans une position normale pour supporter le poids du corps, le muscle triceps est relâché et peut s'atrophier ;
- Si le cheval bouge lentement sur une surface régulière, aucun signe n'est détectable mais lorsqu'un obstacle est présent, le défaut d'extension du membre ne permet pas l'évitement de l'obstacle et le pied entre en collision avec l'obstacle, le cheval trébuche ;
- Lors de paralysie complète du nerf radial, le cheval en station maintient son épaule et son coude en extension alors que le carpe et le doigt restent fléchit, le sabot reposant au sol en partie seulement (pince).

Sur les cadavres autopsiés par Rooney, des lésions histologiques du nerf radial en regard et distalement à la scapula sont présentes. Des lésions du nerf radial plus proximales au niveau du plexus brachial ou au niveau de ces racines spinales sont aussi rapportées. Lopez et al. (1990) rapporte un cas de paralysie radiale comme présentation clinique d'une fracture des vertèbres C7 et T1, même si un défaut de flexion du coude était aussi présent laissant suspecté une lésion plus large incluant aussi le nerf musculo-cutané. Emond et al. (2016) rapporte des cas de traumatisme nerveux avec des signes de paralysie radiale prédominants. Les signes rapportés sont beaucoup plus variés selon l'intensité de l'atteinte nerveuse et comprennent une descente de la pointe du coude, une boiterie avec suppression d'appui, un défaut d'extension distale du membre affecté, une boiterie antérieure intermittente avec des trébuchements, une instabilité de l'épaule et du coude en mouvement, un défaut de protraction dans le saut. Sur 2 chevaux, une arthropathie des ASIVE C7-T1 était présente et considérée possiblement responsable de la compression de la racine du nerf radial.

Henry (1976) a réalisé une névrectomie du nerf radial juste à sa sortie du plexus sur un poney et rapporte une incapacité à l'extension du membre, une descente de la pointe du coude, un maintien de la main semi-fléchie avec appui sur la face dorsale du sabot et une difficulté à se coucher et à se lever ce qui a motivé l'euthanasie précoce du poney. Le poney était capable de s'appuyer sur son membre après un positionnement à la verticale par un opérateur. La symptomatologie observée lors de neuropathie radiale post-anesthésique ou post-décubitus prolongée chez le cheval comme chez la vache se retrouve dans les descriptions ci dessus.

La somme des symptômes décrits dans la littérature est en adéquation avec ceux observés lors de l'induction réussie d'une parésie radiale par l'anesthésie de RCV8 mais aussi aux signes plus discrets qui ont été associés à une atteinte plus légère de la transmission nerveuse. Il est apparu que l'anesthésie entrainait essentiellement une atteinte motrice avec une propriception dans son ensemble normale mais les observations et tests réalisés n'ont pas permis d'explorer finement une possible anesthésie des fibres sensitives de RCV8.

RCV8 participe aussi aux fibres des nerfs thoracodorsal, pectoraux caudaux, musculo-cutané et médian ainsi que, de façon inconstante, aux fibres des nerfs subclavier, pectoraux crâniaux, thoracique long et thoracique latéral. La flexion du coude (muscle biceps brachial, nerf musculo-cutané), de la main et du doigt (nerfs médian et ulnaire) a été jugée maintenue normale. Les actions musculaires des muscles dentelés, du grand dorsal et des pectoraux ont aussi été jugées normales même si leur évaluation était limitées par la diminution à l'absence de phase propulsive de la foulée.

Comme pour RCV7, plusieurs hypothèses peuvent être émises sur l'anesthésie « spécifique » des fibres du nerf radial au niveau du RCV8 :

- Position dorsale superficielle des fibres motrices du nerf radial au sein du RCV8 avec majorité des fibres du nerf issues de RCV8,
- Appréciation clinique pas assez sensible pour faire état d'une faiblesse musculaire des autres muscles innervés par RCV8,
- Position plus profonde dans le RCV8 ou nombres de fibres anesthésiées insuffisantes pour obtenir des symptômes cliniques de parésie des nerfs thoracodorsal, pectoraux caudaux, musculo-cutané et médian voire subclavier, pectoraux crâniaux, thoracique long et thoracique latéral.

L'anesthésie du RCV8 semble bien reproduire les signes cliniques décrits de parésie légère voire intermittente à une paralysie radiale avec suppression d'appui chez le cheval.

c) Origine(s) radiculaire(s) des fibres motrices du nerf supra-scapulaire et du nerf radial

Sharp et al. (1990, 1991) ont réalisé une étude électrophysiologique (potentiels évoqués moteurs) pour évaluer la participation des différentes racines du plexus brachial (rameaux spinaux ventraux) pour le nerf radial, les différents nerfs innervant les muscles de l'épaule et les rameaux musculaires des nerfs musculo-cutané, médian et ulnaire sur 6 chiens anesthésiés. Ils ont mis en évidence peu de variation dans l'origine radiculaire spécifique de chaque rameau musculaire, information nouvelle par rapport aux études anatomiques qui montrent des variations individuelles fréquente de l'origine radiculaire des troncs nerveux :

- Signaux pour le nerf radial provenant de C6 à T2 avec contribution pour presque 50% de C8 et contribution majoritaire (>50%) de C8 pour les 4 chefs du triceps brachial (C7>T1 en plus pour chef latéral et accessoire, T1>C7 pour chefs long et médial) ;
- Contribution majoritaire de C7 pour le rameau profond du nerf radial mais contribution assez équivalente de C7, C8 et T1 pour l'extenseur radial du carpe avec petite contribution de C6 (<20%), contribution majoritaire de C8 pour l'extenseur commun des doigt, de T1 pour l'extenseur latéral des doigts et C8-T1 pour l'ulnaire latéral ;
- Signaux en C6-C7 pour le nerf supra-scapulaire et >60% en C6 (rameau IE et SE) ;
- Signaux en C6-C7, C6 majoritaire pour les nerfs subscapulaires ;
- Signaux C6-C8 et 90% en C7 pour le nerf axillaire ; C6-C7 pour le muscle subclavier, 90% de C7 pour les muscles grand et petit rond, 80 à 100% en C7 pour les rameau proximal et distal du muscle deltoïde ;
- Signaux majoritaires en C7 et C8 pour le nerf thoracodorsal ;
- Signaux en C8-T1, > 80% en C8 pour les nerfs pectoraux caudaux ;
- Signaux en C6-T1 avec C7 en majorité pour le nerf musculo-cutané, C6-C8 pour les muscles brachial et biceps brachial, et C7-C8 pour le coracobrachial.

La répartition des fibres entre les racines ventrales pour chaque rameau musculaire apparaît ainsi séquentielle selon la position crâniocaudale et proximodistale du muscle sur le membre. Certains rameaux musculaires ont une racine prédominante (C8 pour le triceps brachial) alors que d'autres ont une répartition des fibres plus équilibrées entre plusieurs racines (C6-C7 majoritaires, C8 accessoire pour le muscle biceps brachial).

Si l'on extrapole ces données au cheval en les modifiant légèrement et en les interprétant à la lumière de nos résultats, on pourrait concevoir que la majorité des fibres du nerf supra-

scapulaire soient issues de C7 (C6-C7 chez le chien avec C6>60%) et de C8 pour le nerf radial. Si la distribution entre les chefs du nerf radial est identique au chien, la parésie du triceps qui a constitué le signe prépondérant et d'apparition précoce suite à l'anesthésie du RCV8 peut se comprendre. Le maintien de la flexion du coude dans la phase de soutien par les muscles brachial et biceps brachial peut s'expliquer par la répartition plus homogène des fibres entre 3 RCV dont 2 à proportion quasi-égale.

L'étude *post-mortem* de la diffusion des colorants a montré que l'aspect dorsal superficiel du RCV se colorait soit uniformément soit son bord crânial selon l'endroit de dépôt du colorant. Pendant les dissections, le colorant n'a pas été retrouvé sur le bord ventral profond en contact avec le corps vertébral. La diffusion du colorant ne représente pas l'action pharmacologique de l'anesthésique local qui traverse les membranes nerveuses mais il est quand même possible d'énoncer que les fibres les plus superficielles sont les plus susceptibles d'être anesthésiées. La connaissance des différents diamètres de fibres nerveuses motrices sensitives et sympathiques, de leur myélinisation et de leur sensibilité à avoir une conduction bloquée par un anesthésique local en fonction de sa concentration constitue une information intéressante lorsqu'il s'agit d'une fibre isolée mais n'apporte pas d'explication à la séquence de développement d'une anesthésie d'une racine nerveuse cervicale. L'information manquante pour laquelle une recherche bibliographique a été infructueuse est la description de l'ultrastructure du RCV avec l'arrangement des fibres nerveuses dans l'espace en fonction des rameaux musculaires distaux et aussi de l'arrangement entre fibres sensitives et fibres motrices. Des études d'histo-anatomie ont été entreprises pour décrire les diamètres et le nombres de fibres nerveuses constituant les racines nerveuses spinales de C1 à S5 chez l'homme avec pour but d'avoir une meilleure connaissance de l'anatomie utile au traitement des paraplégies par micro-anastomose nerveuse chirurgicale (Liu et al. 2015). Une corrélation entre le diamètre de la racine et le nombre de fibres a été trouvée mais aucune analyse fonctionnelle n'a été faite.

d) Effet central de l'anesthésie de RCV7 et RCV8 : Ataxie

Deux injections de RCV7 et une injection de RCV8 ont entraîné des signes nerveux centraux bilatéraux avec des signes plus marqués du côté ipsilatéral de l'anesthésie. Pour RCV7, une injection sous-arachnoïdienne complète ou partielle a été suspectée en raison de l'apparition quasi-instantanée des signes dès la fin de l'injection, de la non-visualisation du produit de contraste à la présence d'une plage faiblement opaque sur le cliché radiographique de contrôle 5 minutes après l'injection et de la disparition des signes cliniques en moins d'une heure. Pour RCV8, les signes centraux se sont développés progressivement sur la première heure avec une forte asymétrie gauche-droite, d'où une suspicion de diffusion péridurale.

Les signes centraux de l'anesthésie de RCV7 comprenaient une circumduction interne des 2 antérieurs voire une démarche serrée du devant, une faiblesse musculaire des postérieurs avec hypermétrie, circumduction interne et adduction, une locomotion au trot beaucoup plus souple et suspendue. Pour l'anesthésie de RCV8, une locomotion souple et suspendue au trot a été initialement notée puis des mouvements hypermétriques et spastiques des membres postérieurs (de type harper) sont apparus 20 minutes plus tard et ont persisté pendant plusieurs heures.

L'ataxie correspond à une incoordination des mouvements (De Lahunta 2009). Trois sortes d'ataxie sont répertoriées selon leur origine : l'ataxie proprioceptive générale (principalement d'origine spinale), l'ataxie vestibulaire et l'ataxie cérébelleuse. L'ataxie due à une atteinte du système proprioceptif général est le résultat d'un défaut de kinesthésie, de perception du sens du mouvement et d'un manque d'information concernant le placement ou la posture dans l'espace de l'encolure, du tronc et des membres.

En raison de la disposition proche des faisceaux proprioceptifs et des motoneurones supérieurs au niveau de la moelle épinière, les 2 systèmes sont souvent affectés de façon concomitante et il est ainsi souvent difficile de faire la part dans les signes cliniques d'ataxie et de parésie par atteinte du système motoneurone supérieur. De plus, l'examen neurologique ayant pour but de localiser le segment spinal atteint, la distinction entre les 2 classes de symptômes n'est pas recherchée (De Lahunta 2009).

Une atteinte de la moelle épinière entre C6 et T2 provoque les signes cliniques suivants (De Lahunta 2009) :

- une ataxie et une parésie des 4 membres (ataxie et tétraparésie à tétraplégie),
- une spasticité des membres postérieurs et une flaccidité des membres antérieurs,
- un tonus musculaire normal à augmenté au niveau des membres postérieurs et diminué à absent au niveau des membres antérieurs (idem pour les réflexes qui sont toutefois peu utilisables dans l'examen neurologique du cheval par rapport aux espèces plus petites comme le chien),
- une amyotrophie des membres antérieurs,
- une hypo-algie à analgésie caudalement au bord crânial de la lésion, possiblement plus prononcée sur les membres antérieurs,
- un syndrome de Horner avec sudation possiblement d'un côté entier du cheval.

En ce qui concerne les signes observés sur les 3 juments, l'examen au pas sur le cercle en pente avec un terrain souple en herbe sur la marche et un terrain dur en bas de la marche avait pour but de tester la proprioception des 4 membres et la coordination des mouvements. L'élément dominant qui est apparu lors de l'examen dynamique a été la concentration des juments et une évaluation visuelle accrue de la difficulté du terrain (abaissement de la tête et de l'encolure) ce qui a abouti à peu de fautes de placement des membres antérieurs et postérieurs, tout au plus un mouvement légèrement hypermétrique interprété comme « pour être sûr de ne pas rater la marche ». L'examen neurologique chez le cheval utilisant les placers proprioceptifs et les tests de tonicité musculaire par résistance à un mouvement forcé porte un caractère très subjectif dans son évaluation avec une variation de réponse du cheval selon son état de concentration, de distraction ou sa volonté à participer. Il est ainsi peu informatif et peu sensible lors de signes discrets comme ceux rencontrés dans notre étude. Il a été testé initialement sur la première jument mais n'a pas été maintenu par la suite du fait de la lourdeur de sa réalisation face à la paucité d'informations récoltées.

Aussi, il n'a pas été pas possible d'objectiver si l'allure dégingandée assouplie, la circumduction et l'adduction des membres ou encore les mouvements d'hypermétrie étaient à relier avec une anesthésie des fibres sensitives ou des fibres motrices des racines spinales et de la section de moelle épinière en regard. Si les informations de diffusion *post-mortem* sont croisées avec les signes cliniques, il est possible d'émettre le postulat que la diffusion péridurale et sous-arachnoïdienne du colorant étant plus dorsale que ventrale, la fonction de proprioception soit la plus impactée. Toutefois, une faiblesse musculaire, en particulier au niveau des postérieurs, expliquerait l'affaissement postérieur au démarrage en sortant de la salle d'injection pour une jument et l'allure dégingandée au trot avec compensation de cette faiblesse musculaire par une impulsion augmentée sur 2 juments. L'hypermétrie des 4 membres sur 2 juments peut être due à un déficit de proprioception ou être compensatoire d'une faiblesse musculaire comme le souligne de Lahunta qui précise qu'il s'agit d'un signe fiable d'atteinte de la substance blanche de la moelle épinière cervicale. Les mouvements de harper avec spasticité pendant la flexion sur la 3ème jument peuvent être interprétés en prenant en compte les éléments suivants :

- Défaut proprioceptif et de rétrocontrôle sensitif sur l'amplitude du mouvement,
- Déséquilibre du tonus musculaire entre fléchisseurs et extenseurs, les faisceaux nerveux

des extenseurs étant dans la substance blanche latérale alors que ceux des fléchisseurs sont beaucoup plus profonds dans la substance blanche ventro-médiale et donc plus difficile à atteindre (Figure C-12),

- Désinhibition de système motoneurone supérieur et perturbation à interruption de l'arc réflexe responsable du tonus musculaire (Hahn 2008).

Les signes étaient plutôt symétriques pour les injections suspectées sous-arachnoïdiennes et plus marqués sur le postérieur ipsilatéral (harper) pour la probable diffusion péridurale.

Figure C-12 : Diagramme des voies du motoneurone supérieur, du système proprioceptif général et des voies afférentes sensitives générales (voies de la nociception) issu de De Lahunta 2009

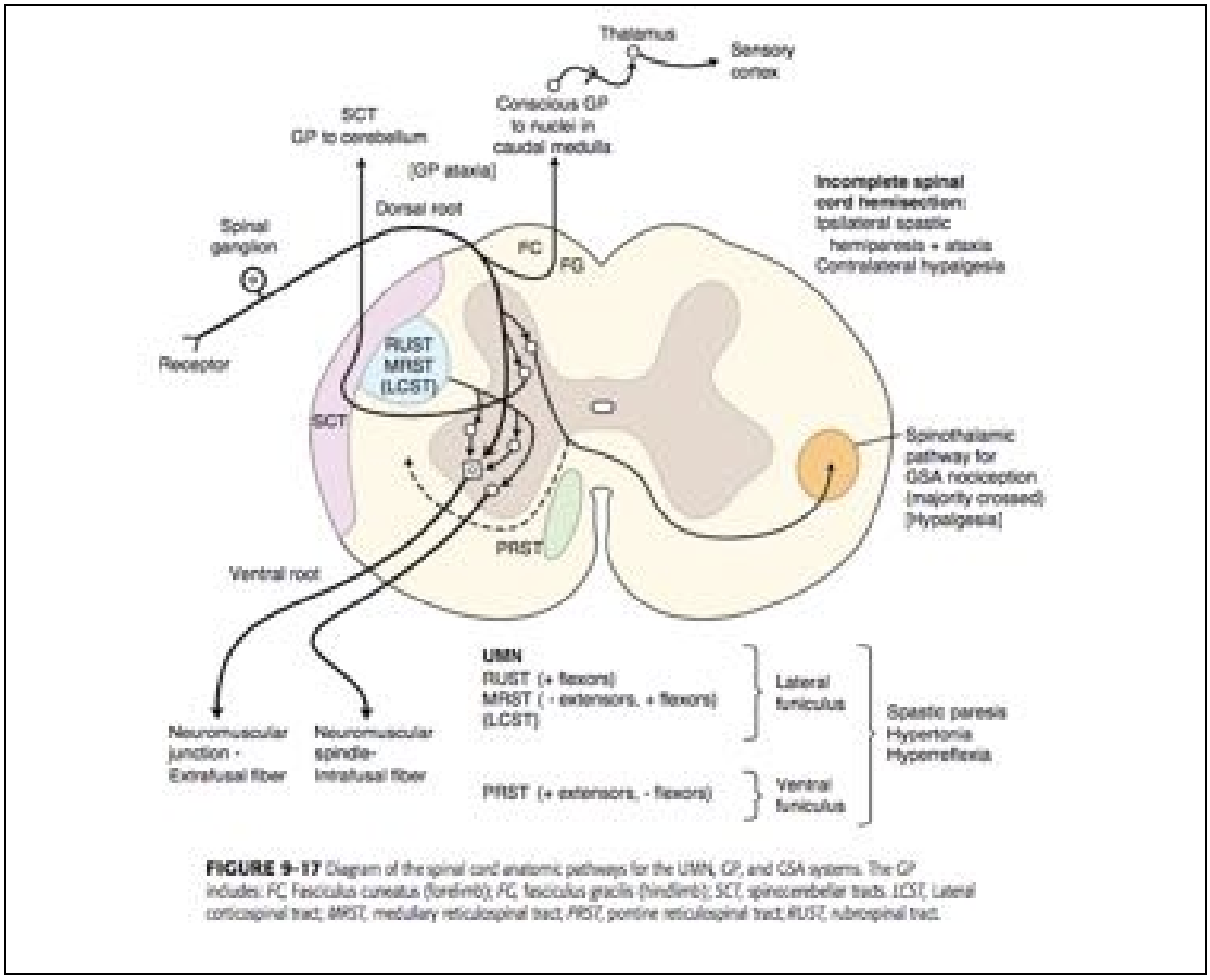


FIGURE 9-17 Diagram of the spinal cord anatomic pathways for the UMN, GP, and GSA systems. The GP includes: FC, Fasciculus cuneatus (forelimb); FG, fasciculus gracilis (hindlimb); SCT, spinocerebellar tracts. LCST, Lateral corticospinal tract; MRST, medullary reticulospinal tract; PRST, pontine reticulospinal tract; RUST, rubrospinal tract.

L'anesthésie de RCV7 ou RCV8 peut entraîner des signes nerveux centraux. Ces signes sont précoces, bilatéraux relativement symétriques et fugaces lors d'une injection sous-arachnoïdienne et plus progressifs, bilatéraux mais plus marqués ipsilatéralement et prolongés lors de diffusion péridurale. Les signes prédominants sont de l'ataxie, une hypotonie musculaire à un mélange entre hypotonie et spasticité et sont plus marqués sur les membres postérieurs que sur les membres antérieurs. Comme dans les affections compressives de la moelle épinière, il est difficile de faire la différence entre signes d'altération des voies proprioceptives et des voies motrices.

e) *Effet de l'anesthésie sur la sudation cutanée*

Les anesthésies des RCV 7 et 8 ayant entrainé respectivement une parésie supra-scapulaire et radiale ont été associées avec le développement de zones de sudation distinctes sur l'encolure et le membre antérieur ispsilatéraux de l'anesthésie. La délimitation de la zone de sudation a été compliquée par plusieurs facteurs :

- Température extérieure et longueur de poils différentes, les expérimentations s'étant déroulées du mois d'avril au mois de décembre : l'apparition de la sueur était plus facilement détectable avec une température clémente à chaude et un poil court qui se mouille plus rapidement qu'un poil long ; avec le poil long et la température froide, les zones de sueur étaient plus restreintes et ne sont apparues parfois que lorsque la jument était mise au box entre deux examens seulement à la suite des 2 premières heures d'examen qui étaient réalisées à l'extérieur en continu ;
- Etat d'excitation de la jument : pour RCV8-3, le température de la journée était très chaude et la jument a eu une phase de stress avec suée globale pendant les 20 premières minutes de développement de la parésie radiale ; une fois la suée globale passée et séchée, une zone de sudation localisée a pu être mise en évidence ;
- Etant donnée la déclivité des zones cutanées de l'encolure et du membre antérieur, il était difficile de différencier particulièrement en région ventrale et distale entre production locale de sueur ou peau et poils mouillés par ruissèlement et accumulation de sueur.

Rappels de l'innervation sympathique cervico-thoracique (Barone 2010) :

Le ganglion cervico-thoracique reçoit ses fibres pré-ganglionnaires par de forts rameaux communicants blancs des 3 à 6 premiers nerfs thoraciques. Ses fibres post-ganglionnaires se répartissent en plusieurs groupes dont un rameau communicant gris destiné au nerf spinal C8 et d'autres rameaux gris rassemblés dans le nerf vertébral qui rejoint l'artère et la veine vertébrales dans leur cours le long des corps vertébraux cervicaux et au travers des foramen transversaires. Il s'épuise en chemin en donnant un rameau communicant aux nerfs cervicaux 7, 6 5, 4 voire 3 (les rameaux communicants des premiers nerfs cervicaux provenant du ganglion cervical crânial situé dans la poche gutturale). Les fibres post-ganglionnaires rejoignent ensuite le nerf spinal et sont destinées aux vaisseaux, aux muscles érecteurs des poils et aux glandes de la peau. Elles sont distribuées par les nerfs cutanés. Pour les parties intéressant notre étude, Barone décrit l'innervation cutanée dans les termes suivants :

- Tiers dorsal de l'encolure : innervation par les rameaux cutanés issus de C2 et C3 pour la moitié crâniale de l'encolure, innervation par les rameaux dorsaux (sous-rameaux médiaux) de C5 à C7 pour la moitié caudale de l'encolure, pas de participation de C8, innervation de la base de l'encolure en continuité avec la zone du garrot par les rameaux dorsaux (sous-rameaux latéraux) de T1 à T7, le clivage entre C7 et T1 se faisant en regard du bord crânial de l'épaule (relief du muscle subclavier) ;
- Tiers moyen et ventral de l'encolure : rameaux ventraux (sous-rameaux médiaux) issus de C2 à C5 ;
- Portion crâniale du plat de l'épaule descendant jusqu'à la pointe de l'épaule et poitrail : rameau ventral de C6 (nerfs supra-claviculaires) ;
- Plat du triceps brachial : innervation par le nerf intercostobrachial (racines T2 et T3)
- Plages d'innervation croisée importante mais n'atteignant pas le plan sagittal aussi bien au niveau de la ligne dorsale que de la ligne ventrale.
- Un effacement de la disposition segmentaire de l'innervation sympathique avec un tronc sympathique cervico-thoracique regroupant ces neurocytes en 2 gros ganglions (ganglion cervical crânial et ganglion cervico-thoracique ou étoilé ou stellaire (ganglion caudal et moyen).

Les plages cutanées des nerfs axillaire, radial, musculo-cutanés, médian et ulnaire sont décrites dans le matériel et méthodes et sur la figure C-1. Un recouvrement important (innervation croisée) des zones cutanées de ces nerfs a été mis en évidence chez le cheval par Blythe et Kitchell (1982) à l'aide d'une étude sensitive électro-physiologique sur des chevaux anesthésiés.

La décentralisation sympathique par sympathectomie préganglionique (section chirurgicale du tronc vagosympathique) ou anesthésie du ganglion cervico-thoracique provoque l'apparition d'une sudation cutanée de l'aire sans innervation sympathique (Robertshaw 1969, Skarda et al. 1986). L'anesthésie du ganglion cervico-thoracique entraîne une production abondante de sueur sur la tête, l'encolure et le membre thoracique du côté anesthésié et est similaire à la sudation présente dans le syndrome de Horner lors d'atteinte centrale (dans la moelle épinière) ou périphérique, sur son trajet dans le thorax, du système sympathique cervico-thoracique (De Lahunta 2009). Skarda décrit une ligne caudale de la sudation passant par l'épine scapulaire et descendant sur le coude avec un arrêt net sur le plan sagittal dorsal et ventral de l'encolure.

Analyse et discussion des plages de sudation obtenue:

Des plages de sudation ont été observées uniquement pour les anesthésies qui ont entraîné des signes cliniques francs de parésie supra-scapulaire pour RCV7 et radiale pour RCV8. Comme pour les symptômes moteurs, il est possible d'interpréter l'absence de sudation lors des anesthésies ayant entraîné des signes cliniques discrets sans parésie objectivable comme le résultat d'un dépôt d'anesthésique local pas assez ciblé et focal ce qui a pour conséquence une éventuelle anesthésie de fibres par diffusion ou résorption vasculaire mais avec un effet beaucoup moins puissant du fait d'une concentration faible de l'anesthésique local autour des fibres. Toutefois, une anesthésie de RCV8 réalisée en hiver n'ayant pas entraîné une parésie radiale franche mais une instabilité du coude avec rotation externe de la pointe a été associée à l'apparition d'une légère sudation une fois que la jument a été rentrée au box entre deux examens consécutifs au niveau des pectoraux et des extenseurs. Il est donc probable que les zones de sudation aient été sous-estimées en raison des conditions climatiques associées à un processus moins producteur lors d'anesthésie plus légère du RCV8. Une analyse par thermographie aurait été intéressante pour déceler des variations de température de peau et les imager plus précisément que par les zones visibles d'humidité.

Le développement d'une sudation qui a été abondante lorsque la température extérieure était tempérée à chaude et le poil court suite aux anesthésies du RCV est interprété comme une interruption de l'innervation sympathique des territoires cutanés innervés par les fibres du RCV. La sudation était concomitante d'une vasodilatation cutanée, particulièrement visible sur la zone tondue pour l'échographie et l'injection ainsi que de la présence d'une augmentation de la chaleur cutanée évaluée à la palpation ou observée par la présence d'une évaporation visible à l'œil nu les jours de temps froid.

Si l'on croise les plages de sueur obtenues avec la parésie supra-scapulaire avec les plages anatomique d'innervation cutanée sympathique, il est possible d'énoncer les remarques suivantes :

- La sudation a toujours été ispilatérale de l'anesthésie,
- L'origine de la sudation à la base des crins sur la moitié caudale de l'encolure est sans équivoque (formation des gouttes visible),
- Cette zone de sudation dorsale de l'encolure se superpose avec la zone cutanée innervée par les rameaux dorsaux de C5-C7, une possible confirmation d'une distribution métamérique effacée comme le souligne Barone (2010),
- La présence de sueur à la base de la crinière est parfois remontée jusque derrière l'oreille sur une ligne très fine parallèle à la naissance des crins, d'où les hypothèses d'une migration crâniale de la sueur lors d'un port d'encolure bas pour brouter (présence d'épis

avec changement de sens du poil pouvant favoriser cette migration) ou d'une innervation de C5-C7 s'étendant plus crânialement que décrit proche du plan sagittal dorsal,
- Une délimitation caudale assez nette sur le bord crânial de l'épaule, sans atteinte du garrot
- L'humidification de l'encolure ventrale s'arrêtant sur la ligne sagittale ventrale (effet des poils et des épis pennés) ; la présence de sueur au niveau des pectoraux, de la pointe de l'épaule et de l'interars peuvent être le résultat du ruissèlement par gravité de la sueur mais peuvent aussi correspondre à une zone de sudation (observation d'une vasodilatation cutanée sur la zone tondue) et être mis en liaison avec l'absence de cette distribution métamérique (rameaux ventraux de C5-C6) ou encore d'une diffusion plus profonde de l'anesthésique local avec anesthésie du nerf vertébral,
- Une zone de sudation beaucoup plus circonscrite pour RCV7-6 (figure C-10.5) réalisée en hiver avec poils long et RCV7-2 (Figure C-10.2) lors de la régression des effets de l'anesthésie qui pourrait correspondre au dermatome de C7: un triangle à la base de l'encolure dorsale avec ruissèlement le long du bord crânial de l'épaule puis dans le sillon entre la pointe de l'épaule et le bord crânial du triceps brachial avant de descendre dans le pli du coude.

Si l'on croise les plages de sueur obtenues avec la parésie radiale avec les plages anatomiques d'innervation cutanée sympathique, il est possible d'énoncer les remarques suivantes :
- Une zone de sudation beaucoup plus limitée que pour RCV7 ;
- Une plage de sudation centrée sur la peau recouvrant les portions distales des muscles supra-et infra-épineux, le muscle deltoïde et le bord crânial du triceps ; la peau du garrot, de la partie dorsale de la scapula, de la pointe de l'épaule et de la pointe du coude étant sèches ;
- La plage de sudation se poursuit en regard des extenseurs et de l'ulnaire latéral sur la peau de l'avant bras qui est mouillée de sa face latérale à sa face médiale crâniale (interars) en passant par sa face dorsale ;
- Cette plage correspond assez bien au territoire cutané du nerf radial décrit par Barone comprend une petite surface en regard du triceps brachial (nerf cutané latéral caudal du bras), une bande dorso-latérale de l'avant-bras (de la moitié latérale de l'extenseur radial du carpe à l'ulnaire latéral) descendant jusqu'au carpe ou métacarpe dorsal ;
- Une fine bande de sudation au niveau de l'encolure caudale juste en avant de l'épaule sur la moitié dorsale de l'encolure et en avant du garrot sur RCV8-8 qui pourrait correspondre à la présence d'un territoire cutanée de C8 mais Barone mentionne qu'il est normalement inexistant ou alors à une anesthésie des fibres sympathique de T1 par diffusion, le ganglion cervico-thoracique étant placé sous les premières côtes, le fibres sympathiques sont proches de RCV8.

L'analyse des plages de sudation tend à confirmer la sélectivité de l'anesthésie du nerf radial pour RCV8 et l'effacement de la distribution métamérique du système orthosympathique cervical pour RCV7 ou le manque de spécificité de l'anesthésie de RCV7 pour les fibres sympathiques. Une disposition métamérique est quand même partiellement suspectée lorsque les conditions réunies entraînent une sudation plus légère et mieux délimitée.

f) Effet de l'anesthésie sur la sensibilité cutanée – Anesthésie sensitive versus motrice

L'évaluation de la sensibilité cutanée à l'aide d'un algomètre de pression a été un échec quasi-complet et la méthode s'est montrée non adaptée à la nécessité de répéter un stimulus de nombreuses fois sur plusieurs parties de l'encolure et du membre antérieur sur le cheval. Pour

enlever de la subjectivité à l'évaluation de la réponse à la stimulation (biais de réaction de la jument liée à une cause annexe plus biais d'interprétation par l'opérateur), il est conseillé de répéter le stimuli 3 fois par zone testée. Toutefois, le phénomène d'habituation se développant au fur et à mesure du test, lorsque plusieurs points sont à tester, un seul test par point est parfois plus informatif dans l'ensemble que sa répétition 3 fois.

L'application d'un bandeau sur les yeux pour éviter une réaction de la jument à l'approche de l'algomètre n'a pas permis d'éviter l'apprentissage rapide des juments au test. Elles ont développé un agacement et une intolérance au test dès la première anesthésie. Pour la première jument sur laquelle l'objectif était de calibrer le test, choisir la taille de la sonde d'application cutanée et d'optimiser la fréquence et le nombre de points de stimulation, le facteur saison printanière avec pelage fin et présence de mouche a aggravé l'intolérance de la jument au test. Dès la prise de contact de la sonde sur les poils, le muscle cutané du tronc et de l'encolure était mis en action. L'application d'une quelconque pression à la suite entraînait un déplacement immédiat de la jument et des taper du pied. Aussi seule la sensibilité non douloureuse fine a pu être testée. Le test des voies de la nociception n'a pu être réalisé qu'au niveau du point contrôle négatif qui correspondait à la zone d'anesthésie sous-cutanée pré-injection du RCV.

De part le focus de l'étude sur l'effet de l'anesthésie des RCV sur le fonctionnement du membre antérieur, les points choisis correspondaient à la distribution cutanée des différents nerfs du plexus brachial sur le membre antérieur. Etant donné les zones de sudation obtenues, il aurait été intéressant de tester la sensibilité de la partie dorso-caudale de l'encolure et du plat de l'épaule.

Aucune zone de diminution de la sensibilité cutanée n'a été ainsi détectée sur les zones testées et l'observation des juments en dehors des moments de test a mis en évidence une sensibilité présente puisque les juments étaient capables de détecter les mouches atterrissant sur l'ensemble du membre antérieur, de l'épaule et de l'encolure (réaction des muscles cutanés, ébrouement, déplacement du membre) mais aussi les gouttes de sueur ruisselant et qui étaient éliminées par action des muscles cutanés pour hâter leur descente. Par ailleurs, les zones autonomiques d'innervation cutanée (sans innervation croisée) chez le cheval sont très restreintes sur le membre antérieur comme l'a démontré Blythe & Kitchell (1982) qui ont isolé une zone réduite au niveau de l'avant-bras pour le nerf ulnaire (nerf cutané caudal de l'avant-bras) et au niveau du cape et de la main pour les branches cutanées des nerfs médian, ulnaire et musculo-cutané mais n'ont pas trouvé de zone autonomique cutanée pour les nerfs radial et axillaire. La description des zones cutanées en fonction des racines est souvent présentée chez le chien dans certains livres de neurologie même si elle est en partie issue de l'interprétation de données expérimentales et cliniques (Figure C-13). Elle est partiellement décrite par Barone chez le cheval pour l'encolure et le tronc. Elle aurait constituée une information intéressante dans notre étude.

Les méthodes d'évaluation répétée de la nociception utilisent un stimulus mécanique (algomètre de pression), électrique ou thermique. Il aurait été intéressant de tester les autres modalités de stimulation. La difficulté représentée par l'intolérance des juments à l'application du stimulus aurait pu être contournée en ayant un système embarqué de stimulation avec contrôle et déclenchement à distance. L'équipement embraqué peut être lourd à mettre en place et doit rester bien positionné pendant toute l'étude. Un tel outil aurait sans doute nécessité la réalisation des anesthésie en double car l'équipement aurait probablement gêné l'évaluation de la locomotion et le déplacement des juments au pas mais surtout, au trot, aurait pu modifié le contact entre la peau et le stimulateur.

Le mode d'évaluation de la nociception par algométrie de pression s'est révélé inadapté dans le contexte de notre étude. La sensibilité cutanée évaluée avec l'algomètre mais aussi par observation est apparue non diminuée par l'anesthésie sélective de RCV7 et RCV8.

Figure C-13 : Description par origine spinale des dermatomes cutanés du chien issue du « Handbook of veterinary neurology » par Lorenz et al. (2011)

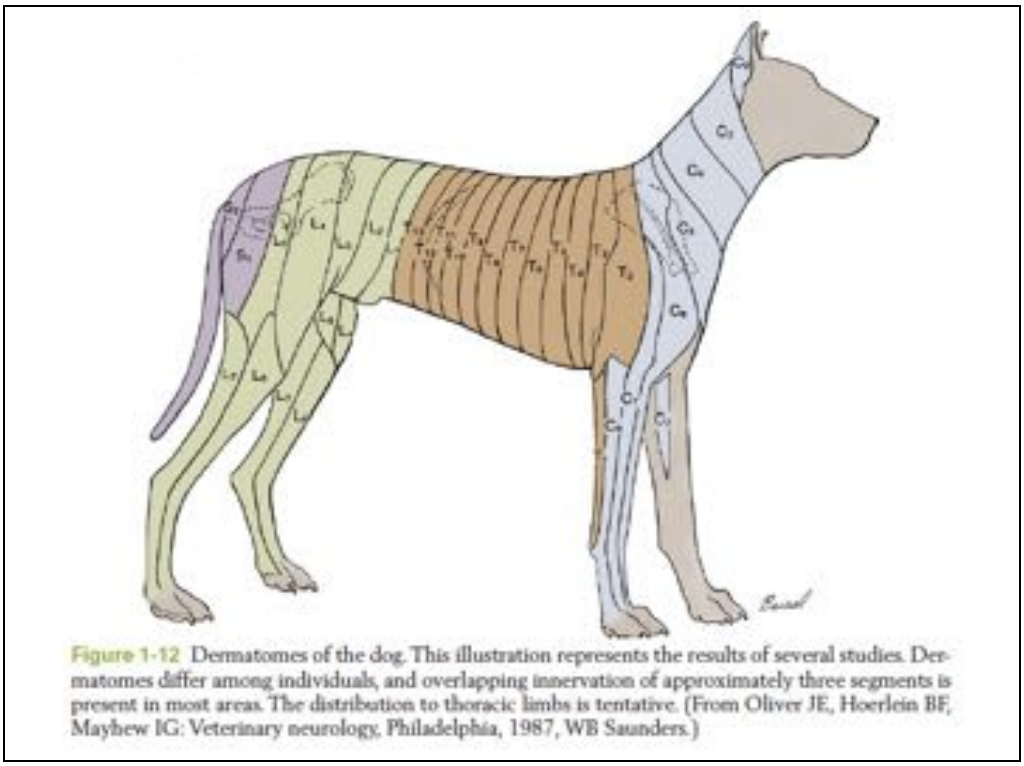


Figure 1-12 Dermatomes of the dog. This illustration represents the results of several studies. Dermatomes differ among individuals, and overlapping innervation of approximately three segments is present in most areas. The distribution to thoracic limbs is tentative. (From Oliver JE, Hoerlein BF, Mayhew IG: Veterinary neurology. Philadelphia, 1987, WB Saunders.)

g) Limites méthodologiques du protocole expérimental

Réalisation de l'injection péri-nerveuse écho-guidée : le repérage échographique a pu être standardisé facilement. La visualisation des RCV7 et RCV8 n'a pas rencontré de limitation technique. Cependant, la facilité et rapidité du placement de l'aiguille sur jument alerte sans sédation même avec une anesthésie locale sous-cutanée et intramusculaire au point d'insertion a été fonction de la coopération de la jument et du RCV. Le placement a été plus facile et donc seulement 6 injections ont été réalisées pour le RCV7 contre 8 pour le RCV8 car les muscles de l'épaule et la conformation de l'encolure plus ou moins enchâssée entre les épaules ont rendu la réalisation plus difficile et ont prolongé le temps de manipulation ce qui a entraîné une perte de patience et plus de mouvements de la part des juments sur certaines injections de RCV8. Même avec une optimisation posturale en reculant l'antérieur ipsilatéral et en incurvant l'encolure du côté opposé, seules 2 injections sur 8 du RCV8 ont pu être réalisées dans des conditions qualifiées d'optimales et ont abouti à un tableau clinique précis, répétable et spécifique. Les conditions d'injection avec une visée thérapeutique sont à envisager différemment dans la mesure où une sédanalgésie pourrait être administrée au cheval ce qui garantirait une immobilité, la possibilité d'un placement optimal et une réalisation rapide de la localisation et de l'injection. Toutefois, quelque soit la raison de l'injection péri-neurale du RCV, le potentiel d'une diffusion péridurale ou d'une injection sous-arachnoïdïenne et de leur conséquence ne doit pas être négligé tout comme dans les autres espèces (Anderberg et al. 2005 et 2006, Giambuzzi et al. 2016). Comme pour la technique chez l'homme, une injection écho-guidée extraforaminale en regard de la partie distale du RCV au niveau des processus transverses semble diminuer les risques de diffusion péridurale ou de ponction d'un récessus dural.

Volume d'injection péri-neurale du RCV : cliniquement sur la première jument, le facteur limitant à l'apparition d'une parésie a été la qualité du placement de l'aiguille et de l'injection et non le volume. Des symptômes équivalents ont été obtenus avec les 7 et 14 ml mais d'une durée plus

prolongée avec le volume supérieur (au delà des 5h). Aussi le volume de 14 ml n'a été utilisé que sur la première jument. L'ensemble des résultats sur cadavres et *in vivo* sont en accord sur la suffisance des 7 ml à partir du moment où l'injection est réalisée dans de bonnes conditions d'immobilité ce qui permet un ciblage précis. L'utilisation d'un volume supérieur pourrait être envisagée dans le cas de conditions de réalisation de l'injection moins optimales mais augmente les risques de perte de sélectivité de la racine, de diffusion péridurale et de surdosage.

Evaluation de la zone de diffusion par injection de produit de contraste : l'interprétation radiographique avec identification d'une plage d'opacité augmentée en regard du RCV injecté a demandé une lecture fine des clichés radiographiques. La proportion entre produit de contraste et anesthésique local avait été extrapolée des études chez l'homme mais aurait bénéficié d'une concentration supérieure en produit de contraste pour prendre en compte la densité osseuse de la colonne cervicale du cheval et de l'épaisseur des tissus mous. L'interprétation dans son ensemble a quand même apporté une information intéressante et l'absence d'identification de plage de produit de contraste a été associée à des signes cliniques centraux d'ataxie ce qui a permis, les 2 informations interprétées conjointement de suspecter une ponction durale et injection centrale sous-arachnoïdienne. L'évaluation sur le seul cliché latéral a constitué une limitation, une incidence dorso-ventrale aurait mieux renseigné une diffusion tubulaire le long du RCV. Finalement, le produit de contraste diffusant très rapidement associé à la logistique de ramener la jument en salle de radiologie régulièrement, le suivi au cours temps de la diffusion de l'anesthésique n'a pas été possible.

Evaluation des effets de l'anesthésie sur la station et la locomotion : l'observation clinique de la jument en station et locomotion porte un caractère subjectif lié à l'observateur. Cette subjectivité a potentiellement été diminuée par l'incorporation de l'avis de deux opérateurs (GTJ et JMD) mais aussi par le visionnage répété des vidéos avant et après anesthésie. L'examen et l'enregistrement vidéo ont été standardisés et les juments entraînées pour être répétables dans leur locomotion (même vitesse, concentration sans mouvement de tête intempestif en réaction à l'environnement). L'adjonction d'une analyse cinématique aurait alourdi l'évaluation mais aurait permis la récolte de données mesurées et chiffrées sur les trajectoires des membres. Deux vues auraient été nécessaires : une vue latérale et une vue de face. La réalisation d'un examen neurologique complet avec placer proprioceptif et test de résistance pour évaluer la faiblesse musculaire a été initialisée sur la première jument mais non poursuivie en raison de sa lourdeur et de son interprétation difficile chez le cheval (inconstance des réponses). Encore une fois, les limitations de cet examen dans l'espèce équine par rapport à l'espèce canine est soulignée. Finalement, les tests de rétraction et de protraction n'ont été réalisés que lorsque l'équilibre de la jument le permettait et ont été peu informatifs. Ce défaut de sensibilité à la détection de l'anormal avait été soulevé par plusieurs auteurs (Dyson 2011, Denoix 2013, Huault 2013) dans la situation clinique d'affections cervicales au même titre que le test de flexion latérale de l'encolure.

Evaluation de l'anesthésie cutanée : les limites de cette évaluation ont été essentiellement la méthode utilisée qui est apparue inadaptée aux conditions expérimentales et à la tolérance des juments. Un dispositif embarqué avec un contrôle à distance aurait été idéal mais aurait sans doute interféré avec l'évaluation locomotrice des effets de l'anesthésie.

Nombre d'injections réalisées et de juments utilisées : Six injections de RCV7 et 8 injections de RCV8 ont été réalisées sur 4 juments. Dans l'absolu, ces nombres sont considérés comme limite en particulier si un traitement statistique des résultats est envisagé. Chaque injection correspond à une période de manipulation et d'observation de 6 à 10h soit globalement une trentaine d'heure d'enregistrement vidéo. Les résultats obtenus ont été jugés suffisamment informatifs en prenant en compte la somme de données récoltées, le raffinement du nombre d'animaux utilisés associé au bien-être animal et du coût de l'expérimentation.

h) Synthèse, conclusion sur l'anesthésie péri-neurale des rameaux ventraux de C7 et C8 chez le cheval et perspectives

L'anesthésie péri-nerveuse par guidage échographique des RCV 7 et RCV8 a entraîné de façon répétable respectivement l'apparition d'une parésie supra-scapulaire et d'une parésie radiale. Une composante d'anesthésie sensitive n'a pas pu être mise en évidence. Toutefois, dans l'ensemble l'impression clinique a été une absence de modification de la proprioception avec un placer intentionnel des membres conservés même si la méthodologie d'évaluation comportait des limites certaines.

En phase de régression des signes de parésie ou lors d'une anesthésie moins ciblée par défaut technique, la dominante clinique avait des similarités pour les 2 RCV et avec des symptômes cliniques des boiteries antérieures « hautes ». L'élément le plus constant était un défaut de phase antérieure de la foulée. Il était accompagné d'une prolongation de la phase postérieure de la foulée pour RCV7, de possible trébuchement ipsilatéral pour RCV8, des mouvements de circumduction interne de l'antérieur ispsilatéral pour les 2 RCV. Ces signes ont été interprétés comme la combinaison d'un possible déficit moteur et d'une adaptation de la locomotion au déficit créé. Le modèle expérimental n'a pas permis d'évaluer finement un possible impact sur la portion sensitive mais il est envisageable d'affirmer que tout impact crée sur la proprioception tout comme sur la fonction motrice a entraîné une adaptation rapide de la station et de locomotion des juments et a compliqué l'évaluation pure des déficits induits.

La symptomatologie induite pour les 2 RCV se retrouve dans les descriptions cliniques liées aux affections cervicales caudales et conforte le choix du modèle expérimental. Toutefois, le modèle n'a, à priori, testé que le déficit moteur et le rôle d'une possible composante douloureuse dans la radiculopathie compressive cervicale caudale, comme identifiée chez l'homme, reste à investiguer chez le cheval.

Les outils envisageables pour l'exploration fonctionnelle des radiculopathies comprennent les tests électrodiagnostiques qui permettent de différencier entre composantes douloureuses et motrices tout en étant capables de cibler aussi la racine causale. Toutefois, leur développement chez le cheval a été limité par la complexité de leur réalisation et la nécessité d'une anesthésie générale. Des techniques moins invasives de développement récents comme l'électromyographie avec des aiguilles concentriques et la stimulation magnétique trans-crânial permettant d'évaluer la composante motrice des affections neurologiques compressives semblent être indiqués dans l'exploration de la radiculopathie. Elles ont déjà été prouvées utiles dans le diagnostic de syndrome compressif médullaire ou du plexus brachial ou encore de maladies neurodégénératives chez le cheval mais restent à incorporer dans l'examen clinique de routine des chevaux présentés pour problème cervical ou de boiterie antérieure (Cauvin et al. 1993, Wijnberg et al. 2004, Nollet et al. 2003). Par ailleurs, le développement en cours de l'imagerie fonctionnelle avec l'arrivée d'appareils d'IRM et de scanner pouvant évaluer la partie basse de l'encolure constitue aussi une potentielle voie non invasive d'exploration.

Concernant l'aspect sécuritaire des injections réalisées proches de la moelle épinière, l'utilisation à but diagnostique ou thérapeutique des injections péri-nerveuses des RCV chez le cheval doit prendre en compte, comme chez l'homme et le chien, le risque de diffusion centrale péridurale voire d'injection sous-arachnoïdienne lors de positionnement de la pointe de l'aiguille très proche des processus articulaires. Le choix des molécules et des sels de corticostéroïde ou de tout autre principe actif doit être raisonné.

Bibliographie

Anderberg L, Annertz M, Persson L, Brandt L and Säveland H (2006a) Transforaminal steroid injections for the treatment of cervical radiculopathy: a prospective and randomised study. *European Spine Journal* 16(3): 321–328.

Anderberg L, Säveland H and Annertz M (2006b) Distribution patterns of transforaminal injections in the cervical spine evaluated by multi-slice computed tomography. *European Spine Journal*. Springer-Verlag 15(10): 1465–1471.

Anderberg L, Annertz M, Rydholm U, Brandt L and Säveland H (2005) Selective diagnostic nerve root block for the evaluation of radicular pain in the multilevel degenerated cervical spine. *European Spine Journal* 15(6): 794–801.

Bagshaw HS, Larenza MP, Seiler GS (2009) A technique for ultrasound-guided paravertebral brachial plexus injections in dogs. *Vet Rad Ultrasound* 50(6): 649-654.

Barone R (2010) Anatomie comparée des mammifères domestiques Tome 7 Neurologie II. Editions Vigot, Paris France 838 pages.

Barone R (1980) Anatomie comparée des mammifères domestiques Tome 2 Arthrologie et myologie, 2ème édition, Editions Vigot, Paris France 1021 pages.

Barnsley L, Lord SM and Wallis BJ (1994) Lack of effect of intraarticular corticosteroids for chronic pain in the cervical zygapophyseal joints. *New England Journal of Medicine* 330(15): 1047-50.

Baxter GM (2011) Common conditions of the axial skeleton. In: Manual of equine lameness Ed Wiley Blackwell, Ames IO, USA p389-404.

Beaver B (1980) Comparative anatomy of domestic animals, a guide. The Iowa State University Press, USA p40-47.

Birmingham SSW, Reed SM, Mattoon JS & Saville WJ (2010) Qualitative assessment of corticosteroid cervical articular facet injection in symptomatic horses. *Equine Vet Educ* 22, 77–82.

Blythe LL & Kitchell RL (1982) Electrophysiologic studies of the thoracic limb of the horse. *Am J Vet Res*. 43(9): 1511-1524.

Budras KD, Sack WO, Rock S (2009) Anatomy of the horse. 5th edition, Schlütersche Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG, Hannover, Germany 199 pages.

Campoy L, Martin-Flores M, Looney AL, Erb HN, Ludders JW, Stewart JE, Gleed RD, Asakawa M (2008) Distribution of a lidocaine-methylene blue solution staining in the brachial plexus, lumbar plexus and sciatic nerve blocks in dogs. *Vet Anaesth Analg* 35(4): 348-354.

Campoy L, Bezuidenhout AJ, Gleed RD, Martin-Flores M, Raw RM, Santare CL, Jay AR, Wang AL (2010) Ultrasound-guided approach for axillary brachial plexus, femoral nerve, and sciatic nerve blocks in dogs. *Vet Anaesth Analg* 37(2): 144-153.

Caridi JM, Pumberger M & Hughes AP (2011) Cervical radiculopathy: a review. *HSS Journal* 7, 265–272.

Cauvin E, Munroe GA & Mitsopoulos A (1993) Peripheral neuropathy involving brachial plexus nerves in 2 horses. *Equine Vet Educ* 5(2): 90-94.

De Lahunta A (2009) Veterinary neuroanatomy and clinical neurology. 3rd edition, Saunders Elsevier, St Louis Missouri USA 540 pages

Denoix JM (2013a) Anatomy and biomechanics of the cervical spine. *Proceeding ISELP* 33 pages

Denoix JM (2013b) Diagnostic imaging of neck lesions. *Proceeding ISELP* 33 pages

Denoix JM (2014a) Equine shoulder conditions. *Proceeding ISELP* 43 pages

Denoix JM (2014b) Biomécanique et gymnastique du cheval. Editions Vigot, Paris France 189 pages.

Denoix JM (2017) Ataxia is not the only clinical manifestation of neck injuries. *ACVIM Forum Scientific Sessions*, 300-304.

Devine DV, Henry WJ & Payton ME (2006) Gait abnormalities cause by selective anesthesia of the suprascapular nerve in horses. *Am J Vet Res* 67 (5): 834-836

Dunton DM, Honnas CM & Watkins JP (1999) Non surgical treatment of suprascapular nerve injury in horses: 8 cases (1988-1998) *J Am Vet Med Assoc* 214(11): 1657-1659.

Dyce KM, Sack OS, Wensing CJG (2002) Textbook of veterinary anatomy – 3rd edition, Saunders, Philadelphia, USA p312-314

Dyson SJ (2011) Lesions of the equine neck resulting in lameness or poor performance. *Vet Clin North Am Equine Prac* 27, 417–437.

Furman MB, O'Brien EM and Zgleszewski TM (2000) Incidence of intravascular penetration in transforaminal lumbosacral epidural steroid injections. *Spine* 25(20): 2628.

Giambuzzi S, Pancotto T & Ruth J (2016) Perineural injection for treatment of root-signature signs associated with lateralized disk material in five dogs (2009–2013). F*rontiers Vet Sci* 3, 829–7.

Getty R. (1975) Sisson and Grossman's The anatomy of the domestic animals volume 1. 5th edition – WB Saunders company

Hahn C (2008) Miscellaneous movement disorders. In Equine Neurology. Ed Furr M & Reed S, Blacwell Publishing, Ames Iowa USA p365-372.

Henry RW (1976) Gait alteration in the equine pectoral limb produced by neurectomies. Thesis for the degree Master of science. The Ohio State University. 70 pages

Hodler J, Boos N & Schubert M (2013). Must we discontinue selective cervical nerve root blocks? *Eur Spine J* 22, 466–470.

Huault C (2013) Etude rétrospective des chevaux présentés à la consultation au pôle équin d'Oniris en 2010 et 2011 ayant une affection cervicale. Thèse pour le doctorat vétérinaire. Oniris-Université de Nantes. 195 pages

Ito K, Yukawa Y, Machino M, Inoue T, Ouchida J, Tomita K, & Kato F (2015) Treatment outcomes of intradiscal steroid injection/selective nerve root block for 161 patients with cervical

radiculopathy. *Nagoya Journal of Medical Science 77*(1-2): 213–219.

Jee H, Lee JH, Kim J et al. (2012) Ultrasound-guided selective nerve root block versus fluoroscopy-guided transforaminal block for the treatment of radicular pain in the lower cervical spine: A randomized, blinded, controlled study. *Skeletal Radiol* 42, 69–78.

Kikuchi S, Macnab I and Moreau P (1981) Localisation of the level of symptomatic cervical disc degeneration. *The Journal of bone and joint surgery. British volume* 63-B(2): 272–277.

Liu YT, Zhou X, Ma J, Ge YB & Cao X (2015) The diameters and number of nerve fibers in spinal nerve roots. J Spin Cord Med 38(4): 532-537.

Lopez MJ, Nordberg C, Trostle S (1997) Fracture of the 7th cervical and 1st thoracic vertebrae presenting as radial nerve paralysis in a horse. Can Vet J 38(2): 112.

Lorenz MD, Coates JR & Kent M (2011) Neurologic history, neuroanatomy and neurologic examination. In: Handbook of veterinary neurology. 5th Ed Elsevier saunders, St Louis, MI USA p2-36.

Magilton JH, Getty R and Ghoshal NG (1968) A comparative morphological study of the brachial plexus of domestic animals (Bovidae, Ovidae, Capridae, Suidae, Equidae). *Iowa State J. Sci.* 42, 245-279.

Makkar JK, Singh PM, Jain D and Goudra B (2016) Particulate vs non-particulate steroids for transforaminal epidural steroid injections: systematic review and meta-analysis of the current literature. *Pain physician* 19(6): 327–340.

Mansour M, Steiss J, Wilhite R (2013) Equine anatomy guide: the forelimb, an illustrated guide. Blurb.com/bookstore p62

Marks D (1999) Cervical nerve root impingement in a horse treated by epidural injection of corticosteroids. *J Vet Equine Sc* 19, 399-401.

Martinelli MJ, Tantanen NW, Grant BD. 2014. Clinical Commentary: Cervical arthropathy, myelopathy or just a pain in the neck? *Equine Vet Educ* 22, 88-90.

Mattoon JS, Drost WT, Grguric MR et al. (2004) Technique for equine cervical articular process joint injection. *Vet Radiol Ultrasound* 45, 238–240.

Montané L, Bourdelle E, Bressou C (1972) Anatomie régionale des animaux domestiques tome I Equidés. JBB, Paris, France

Moore BR, Holbrook TC, Stefanacci JD, Reed SM, Tate LP, Menard MC (1992) Contrast-enhanced computed tomography and myelography in six horses with cervical stenotic myelopathy. *Equine Vet J* 24, 197-202.

Nickel R, Schumer A, Seiferle E (1977) Lehrbuch der Anatomie der Haustiere IV. Parey Berlin, Germany

Nielsen JV, Berg LC, Thoefner MB & Thomsen PD (2003). Accuracy of ultrasound-guided intra-articular injection of cervical facet joints in horses: a cadaveric study. *Equine Vet J* 35, 657-661.

Nollet H, Van Ham L, Verschooten F, Vanderstraeten G, Deprez P (2003) Use of magnetic moto-evoked potenials in horses with bilateral hind limb ataxia. *Am J vet Res* 64(11):1382-1386.

Oz M, Lorke DE, Hasan M, Petroianu GA (2012) Cellular and molecular actions of methylene blue in the nervous system. *Med Res Rev* 31(1): 93-117.

Park Y, Ahn JK, Sohn Y, Jee H, Lee JH, Kim J and Park KD (2013) Treatment effects of ultrasound guide selective nerve root block for lower cervical radicular pain: a retrospective study of 1-year follow-up. *Annals of Rehabilitation Medicine* 37(5): 658–10.

Portela DA, Campoy L, Otero PE et al. (2017) Ultrasound-guided thoracic paravertebral injection in dogs: a cadaveric study. *Vet Anaesth Analg* 40, 205-211.

Reed S, Grant B & Nout Y (2008) Cervical vertebral stenotic myelopathy. In Equine Neurology. Ed Furr M & Reed S, Blacwell Publishing, Ames Iowa USA p283-298.

Robertshaw D & Taylor CR (1969) Sweat gland function of the donkey (equus asinus). *J Physiol* 205, 79-89

Ricardi G & Dyson SJ (1993) Forelimb lameness associated with radiographic abnormalities of the cervical vertebrae. *Equine Vet J* 25, 422-426.

Rioja E, Sinclair M, Chalmers H, Foster RA, Monteith G (2012) Comparison of three techniques for paravertebral brachial plexus blockade in dogs. *Vet Anaesth Analg* 39(2): 190-200.

Rooney JR (1963) Radial paralysis in the horse. *Cornell vet* 63: 328.

Rydevik B, Brown MD and Lundborg G (1984) Pathoanatomy and pathophysiology of nerve root compression. *Spine* 9(1): 7.

Säveland H, Anderberg L, Annertz M and Brandt L (2004) Selective diagnostic cervical nerve root block ? correlation with clinical symptoms and MRI-pathology. *Acta Neurochirurgica*. Springer-Verlag 146(6): 559–565.

Skarda RT, Muir WW, Swanson CR & Hubbell JAE (1986) Cervicothoracic (stellate) ganglion block in conscious horses. *Am J Vet Res* 47(1): 21-26.

Seif C, Martinez Protillo FJ, Osmonov DK, Bölher G, Van der Horst C, Leissner J, Hohenfellner R, Juenemann KP & Braun PM (2004) Methylene staining for nerve sparing operative procedures: an animal model. *Urology* 63(6): 1205-1208.

Shanthanna H (2014) Ultrasound guided selective cervical nerve root block and superficial cervical plexus block for surgeries on the clavicle. *Indian Journal of Anaesthesia* 58(3): 327–6.

Sharp JW, Bailey CS, Johnson RD & Kitchell RJ (1991) Spinal root origin of the radial nerve and nerves innervating shoulder muscles in the dog. *Anat Histol Embryol* 20(3): 205-214.

Sharp JW, Bailey CS, Johnson RD & Kitchell RJ (1990) Spinal nerve root origin of the median, ulnar and musculocutaneous nerve and their muscle nerve branches to the canine forelimb. *Anat Histol Embryol* 19(4): 359-368.

Sleutjens J, Cooley AJ, Sampson SN et al. (2014) The equine cervical spine: comparing MRI and contrast-enhanced CT images with anatomic slices in the sagittal, dorsal, and transverse plane. *Vet Quarterly* 34, 74–84.

Slipman CW, Lipetz JS, Jackson HB, Plastaras CT and Vresilovic EJ (2001) Outcomes of therapeutic selective nerve root blocks for whiplash induced cervical radicular pain. *Pain physician* 4(2): 167–174.

Slipman CW, Lipetz JS, Jackson HB, Rogers DP and Vresilovic EJ (2000) Therapeutic selective nerve root block in the nonsurgical treatment of atraumatic cervical spondylotic radicular pain: A retrospective analysis with independent clinical review. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 81(6): 741–746.

Smallwood JE (2010) A guided tour of veterinary anatomy. Millenium Print Group, North Carolina, USA p295-299.

Schneider RK & Bramlage LR (1990) Suprascapular nerve injury in horses. *The Compendium Equine* 12(12):1783-1789.

Takeuchi M, Kamiya M, Wakao N, Osuka K, Yasuda M, Terasawa T, Yamada T and Takayasu M (2014) A Simple, 10-minute Procedure for Transforaminal Injection under Ultrasonic Guidance to Effect Cervical Selective Nerve Root Block. *Neurologia medico-chirurgica* 54(9): 746–751.

Tanaka N, Fujimoto Y, An HS, Ikuta Y and Yasuda M (2000) The Anatomic Relation Among the Nerve Roots, Intervertebral Foramina, and Intervertebral Discs of the Cervical Spine. *Spine* 25(3): 286.

Wijnberg ID, Back W, De Jong M, Zudihof MC, Van Den Belt AJM, Van Der Kolk JH (2004) The role of electromyography in clinical diagnosis of neuromuscular locomotor problems in the horse. *Equine Vet J* 36(18): 718-722.

Yabuki S, Kawaguchi Y, Nordborg C, Kikuchi S, RYDEVIK B and Olmarker K (1998) Effects of Lidocaine on Nucleus Pulposus-Induced Nerve Root Injury: A Neurophysiologic and Histologic Study of the Pig Cauda Equina. *Spine* 23(22): 2383.

Yamauchi M, Suzuki D, Niiya T, Honma H, Tachibana N, Watanabe A, Fujimiya M and Yamakage M (2011) Ultrasound-guided cervical nerve root block: spread of solution and clinical effect. *Pain medicine (Malden, Mass.)*. Blackwell Publishing Inc 12(8): 1190–1195.

Annexes

Index des vidéos
Manuscrit version 1 et 2 pour Veterinary Anaesthesia and Analgesia

Tableau : Index des vidéos des examens cliniques dynamiques pour les anesthésies de RCV7

RCV7 Injection	Examen locomoteur	Vidéos
RCV7-1 **RCV7D 7 ml**	**Ataxie des 4 membres** avec circumduction interne des antérieurs au pas en LD, circumduction et hypermétrie des postérieurs sur le 8 trottoir en pente.	RCV7-1-AD-1-Pas-Trot-LocoN : examen initial RCV7-1-AD-2-Pas-CircumductionAnt RCV7-1-AD-3-Pas8-LocoN : examen initial RCV7-1-AD-4-Pas8-AtaxiePost RCV7-1-AD-5-Pas8trottoir-LocoN : examen initial RCV7-1-AD-6-Pas8trottoir-Ataxie-FaiblessePost
RCV7-2 **RCV7G 14 ml**	**Parésie supra-scapulaire G** Déséquilibres fréquents majorés par l'abaissement de l'encolure et la tête et les terrains irréguliers, réaction de panique de la jument. Pas de déficit proprioceptif	RCV7-2-AG-1-ParesieSupraSc RCV7-2-AG-2-Trotà3h-DefautPhaseAntAG
RCV7-3 **RCV7D 7 ml**	**Parésie supra-scapulaire D** Pas d'ataxie Adaptation de la locomotion et du polygone de sustentation pour se rééquilibrer	RCV7-3-AD-1-ParesieSuprasSc-Pas-Face RCV7-3-AD-2-ParesieSuprasSc-Pas-Coté RCV7-3-AD-3-Trotà2H30-BoiterieAD-DefautPhaseAnt
RCV7-4 **RCV7D 7 ml**	**Parésie supra-scapulaire D**, pas d'ataxie Adaptation de la locomotion et du polygone de sustentation pour se rééquilibrer	RCV7-4-AD-1-ParesieSuprasSc-Pas-Face RCV7-4-AD-2-ParesieSuprasSc-Pas-Coté-
RCV7-5 **RCV7G 7 ml**	**Ataxie des 4 membres** Membres postérieurs > antérieurs	RCV7-5-AG-1-Pas-LocoN-Face : examen initial RCV7-5-AG-2-Pas-LocoN-Coté : examen initial RCV7-5-AG-3-SortieRx-Ataxie RCV7-5-AG-4-RegressionAtaxie-LégèreHypermetriePost
RCV7-6 **RCV7D 7 ml**	**Parésie supra-scapulaire D** modérée Pas d'ataxie Adaptation de la locomotion et du polygone de sustentation pour se rééquilibrer	RCV7-6-AD-1-Pas-ParesieSupraScModérée-Face RCV7-6-AD-2-Pas-ParesieSupraScModérée-8 RCV7-6-AD-3-Trot-DefautPhaseAntAD

Tableau : Index des vidéos des examens cliniques dynamiques pour les anesthésies de RCV8

RCV8 Injection	Examen locomoteur	Vidéos
RCV8-1 **RCV8G 7 ml**	Diminution de la phase antérieure et prolongation de la phase postérieure de la foulée AD avec circumduction interne de façon insconstante	RCV8-1-AG-1-Pas-LocoN : examen initial RCV8-1-AG-2-Pas-DéfautPhaseAnt-ProlongPhasePost RCV8-1-AG-3-Pas-DéfautPhaseAnt-ProlongPhasePost2
RCV8-2 **RCV8D 14 ml**	Prolongation de la phase postérieure et diminution de la phase antérieure de la foulée AD avec circumduction interne	RCV8-2-AD-1-Pas-Trot-Face-LocoN : examen initial RCV8-2-AD-2-Pas-Trot-Face-CircumdiuctionAD-auPas
RCV8-3 **RCV8D 14 ml**	**Parésie radiale D**	RCV8-3-AD-1-Pas-InstallationParesieRadiale RCV8-3-AD-2-PasTrot-3H30
RCV8-4 **RCV8G 7 ml**	**Signes centraux** **Hypermétrie et hyperflexion des postérieurs**	RCV8-4-AG-1-Trot-LocoN : examen initial RCV8-4-AG-2-Trot-LocoSouple-Suspension RCV8-4-AG-3-Pas-Harper RCV8-4-AG-4-Trot-HypermetriePost-Coté RCV8-4-AG-5-Trot-HypermetriePost-Face
RCV8-5 **RCV8D 7 ml** **Proximale**	Diminution de la phase antérieure de la foulée AD avec prolongation de la phase postérieure et circumduction interne de façon insconstante	RCV8-5-AD-1-Pas-LocoN : examen initial RCV8-5-AD-2-Pas-DéfautPhaseAntAD RCV8-5-AD-3-Trot-LocoN : examen initial RCV8-5-AD-4-Trot-DéfautPhasAntAD
RCV8-6 **RCV8G 7 ml**	Diminution de la phase antérieure et prolongation de la phase postérieure de la foulée AG avec circumduction interne de l'ensemble du membre AG	RCV8-6-AG-1-Pas-DefautPhaseAnt-ProlongPhasePost RCV8-6-AG-2-Trot-DefautPhaseAnt-ProlongPhasePost-BoiterieAG
RCV8-7 **RCV8D 7 ml**	Diminution de la phase antérieure et prolongation de la phase postérieure de la foulée AG avec circumduction interne de l'ensemble du membre AG	RCV8-7-AD-1-Pas-LocoN : examen initial RCV8-7-AD-2-Pas-CircumductionInterneAD
RCV8-8 **RCV8G 7 ml**	**Parésie radiale G**	RCV8-8-AG-1-ParésieRadiale-Installation RCV8-8-AG-2-ParésieRadiale-DefautAppuiAG RCV8-8-AG-3-Trotà3H-AllureEtriquée-Trébuche

VERSION 1

Accuracy of ultrasound-guided perineural injection of the 7th and 8th ventral cervical nerve roots in horses: a cadaveric study.

Gwenola Touzot-Jourde[1], Olivier Geffroy[1], Amélie Tallaj[2], Olivier Gauthier[1], Jean-Marie Denoix[2]

[1] Department of Veterinary Clinical Sciences, INSERM U1229-RMeS/Oniris-Lunam University, Nantes France

[2] Centre for Imaging and Research in Equine Locomotor Disorders (CIRALE), Biomechanics and Equine Locomotor Pathology Research Unit, National Veterinary School of Alfort, Goustranville France

VETERINARY ANAESTHESIA AND ANALGESIA

Accuracy of ultrasound-guided perineural injection of the 7th and 8th ventral cervical nerve roots in horses: a cadaveric study

Journal:	*Veterinary Anaesthesia and Analgesia*
Manuscript ID	Draft
Article Type:	Short Communication
Keywords:	Horse, cervical, nerve roots, ultrasound

SCHOLARONE™ Manuscripts

For Peer Review

Accuracy of ultrasound-guided perineural injection of the 7th and 8th ventral cervical nerve roots in horses: a cadaveric study.

Abstract

Objective

To evaluate the accuracy of selective perineural injection of the 7th and 8th ventral cervical nerve roots (C7 and C8) under ultrasound guidance in horses.

Study design

Prospective experimental cadaver study

Animals

Four equine cadavers

Methods

Perineural C7 and C8 injections were performed under ultrasound guidance. Five C7 and 5 C8 nerve roots were randomly injected with a high or low volume (7 or 14mL) of a dye solution. Anatomic dissection including opening of the vertebral canal were conducted to determine the accuracy of the guided injection and the pattern of dye nerve staining.

Results

The ventral *ramus* of the spinal nerves was visualized easily in all horses. One wrong location resulted in a C6 injection. All the injections were successful in staining a portion of the ventral *ramus* (root). Six roots had a limited stained area distally to the articular processes (AP), of which 3 had dye extending proximally into the epidural space. Two roots were stained all along from the AP to their junction in the brachial plexus and two from the

For Peer Review

epidural space to the plexus. Volume had no appreciable effect on the extent of nerve staining. A greater proportion of epidural diffusion was found with proximal injections closed to the AP. All injections were considered as selective for the targeted nerve root.

Conclusion and clinical relevance

Ultrasound guided perineural injection of C7 and C8 ventral nerve roots is a potentially reliable technique that may have multiple applications in multimodal analgesia. Further clinical study will be necessary to determine the appropriate drug, dosage and volume to inject and confirm its usefulness.

Keywords: horse, ultrasound, cervical, nerve roots

Introduction

Arthropathy of the caudal cervical articular process joints (APJ) in the horse has been associated with neck pain and stiffness as well as forelimb lameness (Dyson 2011, Denoix 2017). Enlarged APJ with periarticular bony proliferation and associated capsule effusion has been documented to reduce intraforaminal space resulting in possible nerve root impingement (Sleutjens et al. 2014). Compressive neuropathy of the 7th cervical nerve root has been evidenced histologically on post-mortem specimen in horses (Dyson 2011, Denoix 2017).

Cervical radiculopathy is considered as a debilitating disease in humans with variable clinical signs that range from pain, numbness and/or tingling in the upper extremity to electric shock type pain and muscle weakness (Caridi et al. 2011). In dogs, the pathognomonic clinical presentation is the nerve root-signature sign. Dogs adopt a nonbearing posture on the affected

For Peer Review

side holding their frontleg in a semi-flexed position and may also show some signs of neck pain (Giambuzzi et al. 2016).

Magnetic resonance imaging (MRI) and contrast-enhanced computed tomography (CT) are the imaging techniques of choice to identify articular process (AP) enlargement, intervertebral foramen size reduction and nerve root impingement (Caridi et al. 2011; Sleutjens et al. 2014). In horses, despite recently improving technology, they are still of limited clinical applicability to the equine caudal cervical region due to technical constraint imposed by the relative size of the equine neck/chest /shoulders compared to the instrument bore.

Selective cervical nerve root injections have been used in humans and dogs mainly for therapeutic purposes but also to confirm the site of pain (Anderberg et al. 2006; Yamauchi et al. 2011; Giambuzzi et al. 2016). Periradicular injection techniques have been developed under fluoroscopic guidance but more recently ultrasound-guided injections have been shown to be as effective and possibly safer in humans (Yamauchi et al. 2011).

Ultrasonography (US) is commonly used in horses for perineural/periarticular/intraarticular blocks and therapeutic infiltrations (Nielsen et al. 2003; Mattoon et al. 2004; Denoix & Jacquet 2008). Periarticular and intraarticular corticosteroid injections of the APJ have been reported to possibly improve clinical signs related to APJ arthropathy (Birmingham et al. 2010). Due to its clinical availability and applicability, US constitutes the guidance of choice to perform a selective caudal cervical nerve root injection in horses.

The ventral *rami* of the 7th and 8th cervical nerve roots (C7, C8) with the 1st thoracic provide the largest roots to the equine brachial plexus. The aim of the study was to evaluate the accuracy of selective perineural injection of C7 and C8 ventral nerve roots under US guidance in horses.

For Peer Review

Materials and Methods

The experimental protocol was approved by the Ethical Committee for Animal Research of the ******** University (authorization number *******). Four cadavers of recently euthanized adult horses for reasons unrelated to the study were used. No abnormality was found on the lateral radiographic view of their caudal cervical region (5th cervical to 1st thoracic vertebras, C5-T1).

US technique

The cadavers were positioned in lateral recumbency, the side to be injected up with the uppermost forelimb retracted caudally. C6 and C7 vertebras were located using manual palpation of C1 transverse process (TP) and counting segments of a hand width in a caudal direction as described by Mattoon et al.. After adequate skin preparation, a small curvilinear 5-8 MHz US probe (C11x, SonoSite Edge portable ultrasound machine, FUJIFILM SonoSite France SARL) was applied to the most caudal segment to identify C7-T1 APJ. The probe was oriented perpendicular to the vertebral axis to obtain a reference image of the 2 AP and the joint space (Nielsen et al. 2003). It was thereafter oriented in a slightly craniodorsal-caudoventral direction and glided ventrocaudally to visualize a longitudinal section of C8 nerve root (ventral *ramus* of the corresponding spinal nerve). A 88 mm 20G spinal needle (Spinocan, BBraun France SA) was inserted approximately 2 cm caudoventrally to the transducer in a parallel direction to the US beam until the needle tip was less than 5 mm next to the nerve root surface. The injection of the syringe content was monitored on the US screen. The same technique was repeated one segment cranially on C7 root. The site of injection identified by the needle tip on the US image was qualified as proximal or distal if the distance was respectively less than 1 cm or within 1 to 2 cm from the AP ventral border.

For Peer Review

92 Dye injections and dissection

93 A 0.12% Methylene blue (MB) solution (Bleu de méthylène, RAL Diagnostics, France) was
94 used in three horses that received a unilateral perineural injection of the C7 and C8 ventral
95 nerve roots. On the fourth horse, bilateral injections were performed with permanent marking
96 tissue dyes (TD) (Davison Marking System; Bradley Products, Inc., MN, USA) of 4 different
97 colors after a 1 mL dye dilution in 50 ml of stock solution (Portela et al. 2017). Injectate dye
98 solutions consisted of 5 or 10 mL of lidocaine 2% (Lidocaïne sans conservateur 20 mg/mL,
99 Laboratoire Aguettant, France) and 2 or 4 mL of iohexol (Omnipaque 300 mg/mL, GE
100 Healthcare SAS, France) for the low and high volumes (LV/HV) respectively. Volumes and
101 agent proportions were extrapolated from similar studies using an allometric scaling and to
102 replicate an *in vivo* situation (Anderberg et al. 2006; Yamauchi et al. 2011). Left and right
103 injections, LV and HV injectates were randomly assigned using a closed envelope technique.

104 The cadavers were dissected within one to three hours after the injections. After removing the
105 ipsilateral forelimb, the nerve roots were isolated from the surrounding muscles along their
106 course from the AP to the brachial plexus. The vertebral canal was opened *in situ* on the TD
107 and 2 MB horses. On the third MB horse, the vertebras C5 to T2 were isolated as one block
108 for frozen transverse sections.

109

110

111 **Results**

112 The C7 and C8 ventral nerve roots could be identified by US in all horses. A total of 10
113 injections were performed. Five out of 6 MB injections were successful with one wrong
114 location on C6. Five injections were qualified as proximal and 5 as distal (Table 1). All

For Peer Review

ventral roots had a stained portion and only 3 injections lead to coloration of the dorsal *ramus* proximal portion (2 C8-MB, 1 C7-TD). Limited staining of the nerve distally to the AP (pattern 1, table 1) was encountered on 2 C8-TD and 1 C7-TD roots. A similar staining with a proximal extension to the epidural space (pattern 2) was found for 1 C8-MB and 2 C7-MB roots, of which one reached the subarachnoid space. Two roots (C6-MB and C7-MB) had a distal staining from the AP toward the plexus (pattern 3) and the last two roots (C8-MB and C7-TD) had a larger staining from the epidural space to the plexus (pattern 4). Four proximal injections out of 5 resulted in epidural spreads and one mixed epidural/subarachnoid diffusion compared to only one distal injection out of 5. Overall extent of nerve staining appeared more limited with TD than with MB. The effect of volume was not clearly recognizable. All the injections were considered as nerve root selective although a C8-TD coloration extended cranially along the dorsal aspect of C7 TP and nearly reached the caudal border of C7 nerve root and 2 MB colorations (1 C8, 1 C7) reached the limit of the brachial plexus. After 5 days of freezing, transverse sections of the third C7-MB and C8-MB roots showed a extensive MB diffusion into the vertebral canal reaching proximal and distal vertebral segments (C6-T1) and crossing midline. The meninges, the venous sinuses and the surrounding vertebral bone were deeply stained. The extensive diffusion was attributed to the storage time and the evaluation technique was therefore not pursued.

Discussion

US visualization of caudal cervical nerve ventral *ramus* was easily achieved with a curvilinear 5-8 Mz US probe and allowed for adequate needle positioning. Some degree of *rigor mortis* may have precluded from ideal neck/foreleg positioning in horse 1 and, associated with the cervical segment identification method, resulted in injections of C6-C7 instead of C7-C8

For Peer Review

ventral nerve roots. More precise methods have been described as the use of external radio-opaque markers for cervical radiographs before US (Mattoon et al. 2004) or US identification of the deep cervical artery passing caudodorsally to C7-T1 APJ (Denoix 2017). These methods were not applicable to the experiment settings but would be easily undertaken on standing horses in a clinical setting.

Needle tip positioning over the nerve trunk was close to AP in 5 of 10 injections and 4 of 5 C7 injections. The anatomic conformation of C6 vertebral TP with a marked dorsal tubercle hindered C7 root distal portion visualization and may have contributed to the proximal injections. Due to its large size and width, C8 root was the easiest to identify in longitudinal section for an in plane US-guided injection. It resulted predominantly in distal injections.

All nerves had a stained area easily identified at the AP ventral border and extending in 3 axes: proximally into the epidural space toward the vertebral canal, craniocaudally in the deep paravertebral muscles along the vertebral bodies and dorsally to the TP, or distally along the nerve toward the brachial plexus. Half of the 10 injections and 4 of 5 C7 injections resulted in a transforaminal diffusion. One reached the subarachnoid space and happened to be the injection done the closest from the AP (less than 5 mm from the AP ventral border). The safety of transforaminal injections in humans has been questioned following recognition of major complications after accidental intradural or intra-arterial injections (Anderberg et al. 2006). The study was undertaken on equine cadavers so the risk of intravascular injection and arterial wall damage could not be fully tested. Recommendations to limit the risk of complications encompass injections along the nerve root distally to the AP with a dorsal approach to the nerve, the use of US allowing for vulnerable vessel identification and the use of non-particulate steroids. The absence of epidural spread in US-guided perineural corticosteroid injections have not been linked to decrease efficacy compared to transforaminal injections in human radicular pain (Yamauchi et al. 2011).

For Peer Review

164 The extent of diffusion could not be linked to a volume effect probably due to the small
165 sample size. The injections were considered as root selective. However 2 HV and 1 LV
166 injections nearly reached the cranial or caudal adjacent root via a cranial diffusion over the TP
167 or a distal migration to the limit of the brachial plexus. Even though the dye carrier solution
168 used aimed at reproducing a clinical setting, it cannot be certain that drugs would not reach
169 the contiguous root. More cadaveric injections need to be done to confirm the adequate
170 volume but both volumes stained consistently the ventral ramus over its course on the
171 vertebral body from the AP ventral border to the TP level.

172 MB has proven its interest in nerve staining to document perineural injection techniques in
173 animal cadaveric studies. But the concern it may provide a large diffusion along and around
174 the target nervous structure due to its solubility in aqueous solution has been raised by Portela
175 et al.. It was witnessed during the dissection that MB continued to diffuse and the extended
176 diffusion in the vertebral canal of the delayed frozen sections seems to confirm it. The TD
177 showed limited diffusion patterns in 3 injections out of 4 and no further expansion during the
178 dissection could be seen. It is possible that MB overestimates and TD underestimates the
179 extent of drug diffusion and do not account for a drug concentration gradient.

180 In conclusion, the perineural injection of C7 and C8 ventral nerve root using US guidance
181 may potentially represent a reliable and accurate technique for local perineural drug delivery.
182 The present results suggest that a proximal injection along the nerve may favor a
183 transforaminal diffusion reaching the epidural space when a more distal injection may target
184 the nerve on its course over the vertebral body. The volumes (7-14mL) appear adequate.
185 Clinical applicability and efficacy still have to be investigated and such studies are now in
186 progress.

187

For Peer Review

188

189 **References**

190 Anderberg L, Säveland H & Annertz M (2006) Distribution patterns of transforaminal
191 injections in the cervical spine evaluated by multi-slice computed tomography. Eur Spine J
192 15, 1465–1471.

193 Birmingham SSW, Reed SM, Mattoon JS & Saville WJ (2010) Qualitative assessment of
194 corticosteroid cervical articular facet injection in symptomatic horses. Equine Vet Educ 22,
195 77–82.

196 Caridi JM, Pumberger M & Hughes AP (2011) Cervical Radiculopathy: A Review. HSS
197 Journal 7, 265–272.

198 Denoix JM, Jacquet S (2008) Ultrasound-guided injections of the sacroiliac area in horses.
199 Equine vet. Educ. 20, 203-207.

200 Denoix JM (2017) Ataxia is not the only clinical manifestation of neck injuries. ACVIM
201 Forum Scientific Sessions, 300-304.

202 Dyson SJ (2011) Lesions of the Equine Neck Resulting in Lameness or Poor Performance.
203 Vet Clin North Am Equine Prac 27, 417–437.

204 Giambuzzi S, Pancotto T & Ruth J (2016) Perineural Injection for Treatment of Root-
205 Signature Signs Associated with Lateralized Disk Material in Five Dogs (2009–2013).
206 Frontiers Vet Sci 3, 829–7.

207 Mattoon JS, Drost WT, Grguric MR et al. (2004) Technique for equine cervical articular
208 process joint injection. Vet Radiol Ultrasound 45, 238–240.

For Peer Review

209 Nielsen JV, Berg LC, Thoefner MB & Thomsen PD (2003). Accuracy of ultrasound-guided
210 intra-articular injection of cervical facet joints in horses: a cadaveric study. Equine Vet J 35,
211 657-661.

212 Portela DA, Campoy L, Otero PE et al. (2017) Ultrasound-guided thoracic paravertebral
213 injection in dogs: a cadaveric study. Vet Anesth Analg 40, 205-211.

214 Sleutjens J, Cooley AJ, Sampson SN et al. (2014) The equine cervical spine: comparing MRI
215 and contrast-enhanced CT images with anatomic slices in the sagittal, dorsal, and transverse
216 plane. Vet Quarterly 34, 74–84.

217 Yamauchi M, Suzuki D, Niiya T et al. (2011) Ultrasound-guided cervical nerve root block:
218 spread of solution and clinical effect. Pain Med 12, 1190–1195.

219

220

For Peer Review

Table 1 : Pattern of dye diffusion, injections randomisation and location

Pattern of dye diffusion	Horse, nerve root, dye and injected volume	Injection site on nerve root
Pattern 1: Local proximal nerve staining Dye covering the proximal aspect of the ventral *ramus* of the spinal nerve on its course over the vertebral body between the AP ventral border and the TP with variable craniocaudally extension reaching between the vertebral body and the deep paravertebral muscles above the TP	H4- C8-L-TD-14mL H4-C8-R-TD-7mL H4-C7-L-TD-14mL	Distal Distal Proximal
Pattern 2: Proximal nerve staining extending to the epidural space Same diffusion as pattern 1 with a proximal extension to the epidural space staining the *dura mater* mostly over the dorsal rootlets and the dorsal ganglion	H1- C7-L-MB-14mL* H2-C8-L-MB-7mL H3-C7-R-MB-7mL	Proximal Proximal Proximal
Pattern 3: distal diffusion along the nerve Coloration of the nerve trunk ventrally to the AP with a distal diffusion toward the limit of the brachial plexus	H1-C6-L-MB-7mL H2-C7-L-MB-7mL	Distal Distal
Pattern 4: Complete nerve root staining Nerve staining from the epidural space to the limit of the brachial plexus	H3-C8-R-MB-14mL H4-C7-R-TD-7ml.	Distal Proximal

H: Horse 1 to 4, MB: methylene blue, TD: Permanent marking tissue dye, C: ventral cervical nerve root 7 & 8, L: left, R: right, AP: articular process, TP: transverse process
* epidural and subarachnoid diffusion

For Peer Review

VERSION 2

Ultrasound-guided perineural injection of the *ramus ventralis* of the 7th and 8th cervical nerves in horses: a cadaveric descriptive study

Gwenola Touzot-Jourde[1], Olivier Geffroy[1], Amélie Tallaj[2], Olivier Gauthier[1], Jean-Marie Denoix[2]

[1] Department of Veterinary Clinical Sciences, INSERM U1229-RMeS/Oniris-Lunam University, Nantes France

[2] Centre for Imaging and Research in Equine Locomotor Disorders (CIRALE), Biomechanics and Equine Locomotor Pathology Research Unit, National Veterinary School of Alfort, Goustranville France

VETERINARY ANAESTHESIA AND ANALGESIA

Ultrasonography-guided perineural injection of the ramus ventralis of the 7th and 8th cervical nerves in horses: a cadaveric descriptive study

Journal:	*Veterinary Anaesthesia and Analgesia*
Manuscript ID	VAA-17-0203.R1
Article Type:	Short Communication
Keywords:	Horse, cervical, nerve roots, ultrasonography, Anaesthesia

SCHOLARONE™
Manuscripts

For Review

Ultrasonography-guided perineural injection of the *ramus ventralis* of the 7th and 8th cervical nerves in horses: a cadaveric descriptive study

Abstract

Objective

To describe the feasibility and the dye diffusion of selective perineural injection of the 7th and 8th cervical nerve (C7 and C8) *ramus ventralis* (*RV*) under ultrasonographic guidance in horses.

Study design

Prospective experimental cadaver study

Animals

Four equine cadavers of similar body weight and neck conformation

Methods

Perineural C7 and C8 *RV* injections were performed under ultrasonographic guidance. Five C7 and five C8 *RV* were randomly injected with a low or high volume (7 or 14mL) of a dye solution. Anatomic dissection including vertebral canal opening were conducted to confirm nerve dye staining and describe the extent of color diffusion.

Results

The *RV* of the spinal cervical nerves was visualized in all cadavers. Cervical segment identification was erroneous on one cadaver leading to C6 and C7 *RV* injections instead of C7 and C8. All the injections were successful in staining a portion of the nerve trunk. Eight *RV* had a uniform transversal staining of the nerve trunk that covered longitudinally a distance

For Peer Review

greater than 2 cm. One C7 and one C8 *RV* showed incomplete transversal staining with a more concentrated color on its half cranial aspect and a longitudinal coverage of less than 2 cm. Five injections resulted in dye extending proximally and medially into the epidural space. Volume had no appreciable effect on the extent of nerve staining. A greater proportion of epidural diffusion was found with injections done within less than one cm distally to the articular processes. All injections were considered as selective for the targeted nerve.

Conclusion and clinical relevance

Ultrasonography-guided perineural injection of C7 and C8 *RV* is a potentially reliable technique that may have multiple applications in multimodal analgesia. Further clinical study will be necessary to determine the appropriate drug, dosage and volume to inject and confirm its usefulness.

Keywords: horse, ultrasonography, cervical, nerve roots, anaesthesia

Introduction

Arthropathy of the articular process joints (APJ) of the caudal cervical spine in the horse has been associated with neck pain and stiffness as well as forelimb lameness (Dyson 2011, Denoix 2017). Enlarged APJ with periarticular bony proliferation and associated capsule effusion has been documented to reduce intraforaminal space resulting in possible nerve root impingement (Sleutjens et al. 2014). Compressive neuropathy of the 7th cervical nerve root has been evidenced histologically on post-mortem specimen in horses (Dyson 2011, Denoix 2017).

For Peer Review

Cervical radiculopathy is considered as a debilitating disease in humans with variable clinical signs that range from pain, numbness and/or tingling in the upper extremity to electric shock type pain and muscle weakness (Caridi et al. 2011). In dogs, the pathognomonic clinical presentation is the nerve root-signature sign and has some similitude with signs in horses. Dogs adopt a nonbearing posture on the affected side holding their frontleg in a semi-flexed position and may also show some signs of neck pain (Giambuzzi et al. 2016).

Magnetic resonance imaging (MRI) and contrast-enhanced computed tomography (CT) are the imaging techniques of choice to identify articular process (AP) enlargement, intervertebral foramen size reduction and nerve root impingement (Caridi et al. 2011; Sleutjens et al. 2014). In horses, despite recently improving technology, they are still of limited clinical applicability to the equine caudal cervical region due to technical constraint imposed by the relative size of the equine neck/chest /shoulders compared to the instrument bore.

Selective cervical nerve root injections have been used in humans and dogs mainly for therapeutic purposes but also to confirm the site of pain (Anderberg et al. 2006; Yamauchi et al. 2011; Giambuzzi et al. 2016). Periradicular injection techniques have been developed under fluoroscopic guidance but more recently ultrasonography-guided injections have been shown to be as effective and possibly safer in humans (Yamauchi et al. 2011). More precisely, transforaminal injections around the cervical nerve root are classically performed using the fluoroscopic techniques while ultrasonographic guidance has allowed for more distal injections around the *ramus ventralis* (*RV*) of the spinal nerve. Scientific reports on both techniques mostly use the term “nerve root” for both parts of the spinal nerve. According to the *Nomina Anatomica Veterinaria* (2012), the nerve segment considered in this paper is the *RV*.

For Peer Review

Ultrasonography (US) is commonly used in horses for perineural/periarticular/intraarticular blocks and therapeutic infiltrations (Mattoon et al. 2004; Birmingham et al. 2010; Denoix & Jacquet 2008). Periarticular and intraarticular corticosteroid injections of the APJ have been reported to possibly improve clinical signs related to APJ arthropathy (Birmingham et al. 2010). Due to its clinical availability, applicability and safety, US constitutes the guidance of choice to perform a selective caudal cervical nerve root injection in horses.

The *RV* of the 7th and 8th cervical spinal nerve (C7, C8) with the 1st thoracic provide the largest roots to the equine brachial plexus. The aim of the study was to describe the feasibility and the dye diffusion of selective perineural injection of the 7th and 8th cervical nerve (C7 and C8) *ramus ventralis* (*RV*) under US guidance in horses.

Materials and Methods

The experimental protocol was approved by the Ethical Committee for Animal Research of the ******** University (authorization number *******). Four cadavers of recently euthanized horses for reasons unrelated to the study were used (storage < 36 h at 4°C). They were 3 to 5 year old, 420 to 480 kg French Trotters with a similar lean neck conformation. No abnormality was found on the lateral radiographic view of their caudal cervical region (5th cervical to 1st thoracic vertebrae, C5-T1).

US technique

The cadavers were positioned in lateral recumbency, the side to be injected up with the uppermost forelimb retracted caudally. C6 and C7 vertebrae were located using manual palpation of C1 transverse process (TP) and counting segments of a hand width in a caudal

For Peer Review

direction as described by Mattoon et al. 2004. After hair clipping and copiously wetting the skin, a micro-convex 5-8 MHz US probe (C11x, SonoSite Edge portable ultrasound machine, FUJIFILM SonoSite France SARL) was applied to the most caudal segment to identify C7-T1 APJ. The probe was oriented perpendicular to the vertebral axis to obtain a reference image of the 2 AP and the joint space (Nielsen et al. 2003). It was thereafter oriented in a slightly craniodorsal-caudoventral direction, glided ventrocaudally to visualize a longitudinal section of C8 *RV* and adjusted over the course of the nerve to obtain the best *RV* image possible (Figure 1). A 88 mm 20G spinal needle (Spinocan, BBraun France SA) was inserted approximately 2 cm caudoventrally to the transducer and advanced "in plane" until the needle tip was less than 5 mm next to the nerve surface. The injection of the syringe content was monitored on the US screen. The same technique was repeated one segment cranially on C7 *RV*. The point of injection along the *RV* course being dependent on obtaining the best *RV* US image, the distance between the AP ventral border and the needle tip was evaluated. The injection was qualified as proximal if the distance was less than 1 cm or distal if it was within 1 to 2 cm.

Dye injections and dissection

A 0.12% Methylene blue (MB) solution (Bleu de méthylène, RAL Diagnostics, France) was used in the first three horses that received perineural injections of the C7 and C8 *RV* unilaterally to allow evaluation of a possible trans-median diffusion across the epidural space. Aiming to reproduce the envisioned following *in vivo* experiment, the dye solution carrier consisted of 5 or 10 mL of lidocaine 2% (Lidocaïne sans conservateur 20 mg/mL, Laboratoire Aguettant, France) and 2 or 4 mL of iohexol (Omnipaque 300 mg/mL, GE Healthcare SAS, France) for the low (LV) and high (HV) volumes respectively. Volumes and agent

For Peer Review

proportions were extrapolated from similar studies using an allometric scaling (Anderberg et al. 2006; Yamauchi et al. 2011). To test the impact of volume on ipsilateral nerve selectivity while considering the *RV* size difference (width of C8 1,5 to 2 times larger than C7), two conditions were tested: C7-7mL/C8-14mL on two horses and C7-7mL/C8-7mL on one horse. Left and right neck injections and condition assignment for each horse were randomly selected using a closed envelope technique.

The 3 cadavers were injected one after the other on the same day and dissected in the same order within one to three hours after the injections. After removing the ipsilateral forelimb and the cervical muscles attached to it, *RV* were isolated from the surrounding muscles along their course from the AP to the brachial plexus. The vertebral canal was opened *in situ* on 2 MB horses. On the third MB horse (C7-7mL/C8-14mL), C5 to T2 vertebral segment was isolated as one block for frozen transverse sections.

Following the results on the 3 MB cadavers and to confirm the MB findings, an additional cadaver received, within 30 minutes from euthanasia, bilateral injections with permanent marking tissue dyes (TD) (Davison Marking System; Bradley Products, Inc., MN, USA) of 4 different colors using a TD dye solution (1 mL of dye diluted in 50 ml of stock solution containing the same constituents as the MB carrier solution) (Portela et al. 2017). The conditions tested were: C7-7mL/C8-14mL on the left and C7-14mL/C8-7mL on the right. The dissection was performed thereafter and included opening the vertebral canal *in situ*.

The distribution and extent of nerve staining were evaluated craniocaudaly for partial or complete transversal coloration across the nerve trunk and longitudinally, considering a staining length greater than 2 cm to be indicative of what would be a clinically effective nerve blockade (Campoy et al. 2008).

For Peer Review

Results

The *RV* could be identified by US in all cadavers. Cervical segment identification was erroneous on one MB cadaver leading to C6 and C7 *RV* injections instead of C7 and C8. The 10 performed injections corresponded to 1 C6-7mL, 3 C7-7mL, 2 C7-14mL, 2 C8-7mL and 2 C8-14mL. Five injections were qualified as proximal and 5 as distal. All the injections were successful in staining a portion of the nerve trunk. Eight *RV* had a uniform complete transversal staining of the nerve trunk that covered longitudinally a distance greater than 2 cm, of which three RV (2 C7-7mL, 1 C8-14mL) were colored from the AP to the limit of the brachial plexus. One C7-14mL and one C8-7mL *RV* showed incomplete transversal staining with a more concentrated color on its half cranial aspect and a longitudinal coverage of less than 2 cm. The effect of volume was not clearly recognizable.

After five days of freezing, C7 and C8 *RV* transverse sections on the third MB cadaver showed an extensive MB diffusion into the vertebral canal reaching proximal and distal vertebral segments (C6-T1) and crossing midline. Meninges, venous sinuses and surrounding vertebral bone were deeply colored. The extensive diffusion was attributed to the storage time. The evaluation technique was therefore not pursued but the data was included in the epidural spread evaluation as time would be relevant clinically.

Four proximal injections out of five resulted in an epidural spread and one mixed epidural/subarachnoid diffusion compared to only one distal injection out of five that happened to be evaluated by the frozen section. Apart from trans-median epidural spread on the frozen sections, all injections were considered nerve selective.

For Peer Review

Discussion

This study evaluated the nerve coloration extent of US-guided C7 and C8 *RV* perineural injections in horses. The technique was effective in staining the entire width of the nerve trunk on a length greater than 2 cm in eight injections out of ten.

US visualization of C7 and C8 *RV* was easily achieved with a micro-convex 5-8 Mz US probe and allowed for adequate needle positioning. Some degree of *rigor mortis* may have precluded from ideal neck/foreleg positioning in horse 1 and, associated with the cervical segment identification method, resulted in injections of C6-C7 *RV* instead of C7-C8 *RV*. More precise methods have been described as the use of external radio-opaque markers for cervical radiographs before US (Mattoon et al. 2004) or US identification of the deep cervical artery passing caudodorsally to C7-T1 APJ (Denoix 2017). These methods were not applicable to the experiment settings but would be easily undertaken on standing horses in a clinical setting.

The injection site along the nerve trunk was chosen where the nerve was best visualized and was therefore not at a standardized distance from the AP, mainly due to individual neck conformation and body positioning that was partially dictated by some degree of *rigor mortis* on the first three cadavers. As a result, needle tip positioning over the nerve trunk was close to AP in five of ten injections and four of five C7 injections. The anatomic conformation of C6 vertebral TP with a marked dorsal tubercle hindered C7 *RV* distal portion visualization and may have contributed to the proximal injections. Due to its large size and width, C8 *RV* was the easiest to identify in longitudinal section for an in plane US-guided injection. It resulted predominantly in distal injections.

The length of nerve staining > 2 cm was compatible with a clinically effective blockade of nerve conduction for eight injections, of which 50% resulted in staining of the complete *RV* length (Campoy et al. 2008). The absence of identifiable volume effect has to be linked to the

For Peer Review

small sample size, main limitation of this pilot study. The injections were considered nerve selective but may not reflect exactly diffusion over time in live horses as suggested by the effect on epidural spread of the freezing storage duration. On four injections, the dye reached the limit of the brachial plexus or diffused craniocaudally over the PT nearly reaching the adjacent *RV* (2 MB and 2 TD). It can be hypothesized that, with more time between the injection and the dissection, nerve selectivity would have been lost. Even though the used dye carrier solution aimed at reproducing a clinical setting, it cannot be certain that drugs would not reach the contiguous *RV*.

MB has proven its interest in nerve staining to document perineural injection techniques in animal cadaveric studies. But the concern it may provide a large diffusion along and around the target nervous structure due to its solubility in aqueous solution has been raised by Portela et al.. It was witnessed during the dissection that MB continued to diffuse and the extended diffusion in the vertebral canal of the delayed frozen sections seems to confirm it. Contrarily, TD showed no further expansion during the dissection and may represent an underestimation of drug diffusion. TD have been developed for tumor margin marking and therefore formulated to adhere to tissue. Used for the present study scope, it is hypothesized that it more accurately tests for adequate needle placement and volume diffusion compared to MB as the stained area is the result of the needle placement, the volume/pressure of the injection and the tissue reaction. The intrinsic diffusing property of the dye is only linked to the dilution solution and not to the dye *per se*.

Half of the ten injections and four of five C7 injections resulted in a transforaminal diffusion. One reached the subarachnoid space and happened to be the injection done the closest from the AP (less than 5 mm from the AP ventral border). The safety of transforaminal injections in humans has been questioned following recognition of major complications after accidental intradural or intra-arterial injections (Anderberg et al. 2006). The study was undertaken on

For Peer Review

equine cadavers so the risk of intravascular injection and arterial wall damage could not be fully tested. Recommendations to limit the risk of complications encompass injections along the nerve root distally to the AP with a dorsal approach to the nerve, the use of US allowing for vulnerable vessel identification and the use of non-particulate steroids. Moreover, the absence of epidural spread in US-guided perineural corticosteroid injections have not been linked to decrease efficacy compared to transforaminal injections in human radicular pain (Yamauchi et al. 2011).

In conclusion, the perineural injection of C7 and C8 *RV* using US-guidance may potentially represent a reliable and accurate technique for local perineural drug delivery. The present results suggest that a proximal injection along the nerve may favor a transforaminal diffusion reaching the epidural space when a more distal injection may target the *RV* on its course over the vertebral body. The volumes (7-14mL) appear adequate but need to be confirmed in live horses. Clinical applicability and efficacy still have to be investigated and such studies are now in progress.

Figure 1: Longitudinal ultrasonographic section of C8 *ramus ventralis*. Ventrally to the T1 cranial articular process, the nerve trunk (arrows) shows echogenic longitudinal fasciculi bordered by a more echogenic sheath. 1- Cranial articular process of T1; 2- Vertebral body (margin of the fossa) of C7; 3- Intervertebral foramen; 4- *Ramus ventralis* of C8.

References

Anderberg L, Säveland H & Annertz M (2006) Distribution patterns of transforaminal injections in the cervical spine evaluated by multi-slice computed tomography. Eur Spine J 15, 1465–1471.

For Peer Review

233 Birmingham SSW, Reed SM, Mattoon JS & Saville WJ (2010) Qualitative assessment of
234 corticosteroid cervical articular facet injection in symptomatic horses. Equine Vet Educ 22,
235 77–82.

236 Campoy L, Martin-Flores M, Looney AL et al. (2008) Distribution of a lidocaine-methylene
237 blue solution staining in brachial plexus, lumbar plexus and sciatic nerve blocks in the dog.
238 Vet Anesth Analg 35, 348–354.

239 Caridi JM, Pumberger M & Hughes AP (2011) Cervical Radiculopathy: A Review. HSS
240 Journal 7, 265–272.

241 Denoix JM, Jacquet S (2008) Ultrasound-guided injections of the sacroiliac area in horses.
242 Equine vet. Educ. 20, 203-207.

243 Denoix JM (2017) Ataxia is not the only clinical manifestation of neck injuries. ACVIM
244 Forum Scientific Sessions, 300-304.

245 Dyson SJ (2011) Lesions of the Equine Neck Resulting in Lameness or Poor Performance.
246 Vet Clin North Am Equine Prac 27, 417–437.

247 Giambuzzi S, Pancotto T & Ruth J (2016) Perineural Injection for Treatment of Root-
248 Signature Signs Associated with Lateralized Disk Material in Five Dogs (2009–2013).
249 Frontiers Vet Sci 3, 829–7.

250 Mattoon JS, Drost WT, Grguric MR et al. (2004) Technique for equine cervical articular
251 process joint injection. Vet Radiol Ultrasound 45, 238–240.

252 Nielsen JV, Berg LC, Thoefner MB & Thomsen PD (2003). Accuracy of ultrasound-guided
253 intra-articular injection of cervical facet joints in horses: a cadaveric study. Equine Vet J 35,
254 657-661.

For Peer Review

255 Portela DA, Campoy L, Otero PE et al. (2017) Ultrasound-guided thoracic paravertebral
256 injection in dogs: a cadaveric study. Vet Anesth Analg 40, 205-211.

257 Sleutjens J, Cooley AJ, Sampson SN et al. (2014) The equine cervical spine: comparing MRI
258 and contrast-enhanced CT images with anatomic slices in the sagittal, dorsal, and transverse
259 plane. Vet Quarterly 34, 74–84.

260 Yamauchi M, Suzuki D, Niiya T et al. (2011) Ultrasound-guided cervical nerve root block:
261 spread of solution and clinical effect. Pain Med 12, 1190–1195.

262

For Peer Review

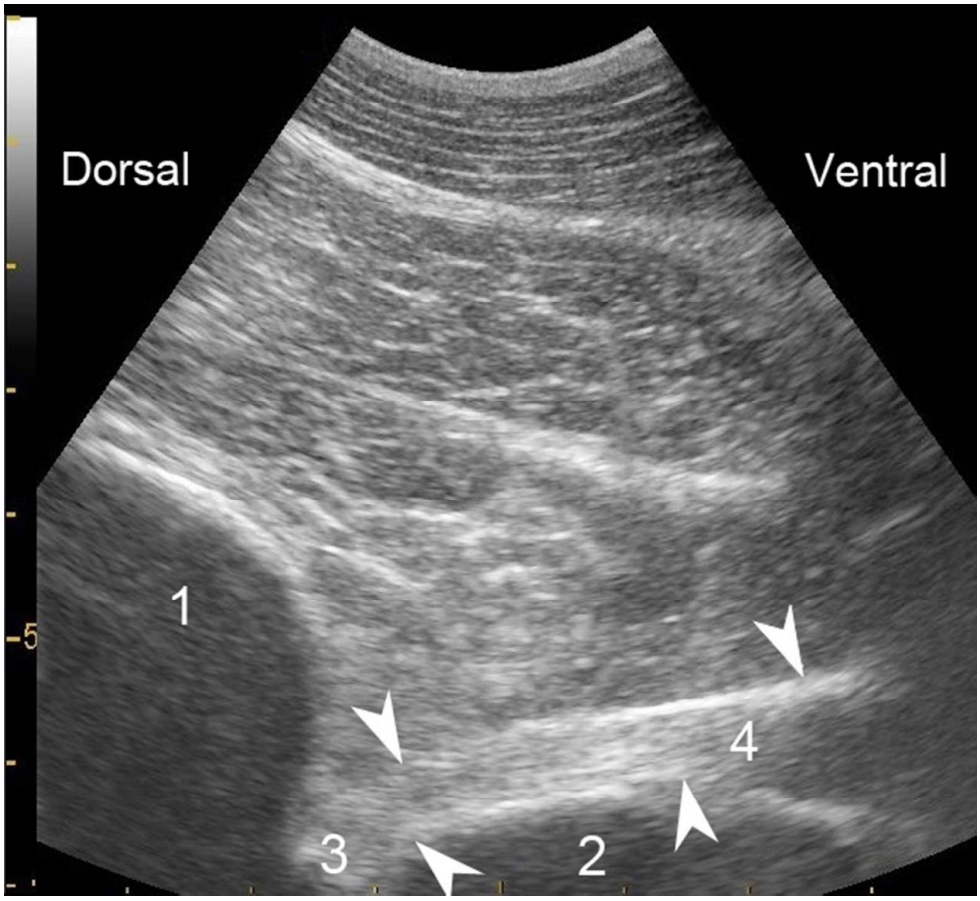


Figure 1: Longitudinal ultrasonographic section of C8 ramus ventralis. Ventrally to the T1 cranial articular process, the nerve trunk (arrows) shows echogenic longitudinal fasciculi bordered by a more echogenic sheath. 1- Cranial articular process of T1; 2- Vertebral body (margin of the fossa) of C7; 3- Intervertebral foramen; 4- R*amus ventralis* of C8.

227x208mm (72 x 72 DPI)

UNIVERSITE BRETAGNE LOIRE

Oniris
ÉCOLE NATIONALE
VÉTÉRINAIRE, AGROALIMENTAIRE ET DE L'ALIMENTATION
SANTÉ ET ALIMENTATION AU CŒUR DE LA VIE

Thèse de Doctorat

Gwenola TOUZOT-JOURDE

Injections péri-neurales écho-guidées du rameau ventral du 7ème et 8ème nerf spinal cervical chez le cheval sain: étude anatomique post-mortem et évaluation clinique de l'anesthésie tronculaire

Ultrasound-guided peri-neural injections of the 7th and 8th cervical spinal nerve *ramus ventralis* in normal horses : post-mortem anatomical study and clinical evaluation of the nerve block

Résumé

La radiculopathie cervicale caudale a été identifiée comme cause de boiterie affectant le membre antérieur chez le cheval. Les affections dégénératives des articulations intervertébrales des processus articulaires entraînent un remodelage péri-articulaire pouvant comprimer les racines du nerf spinal ou leur rameau ventral. Les objectifs de l'étude étaient de décrire la réalisation d'injections écho-guidées péri-neurales du rameau ventral des nerfs spinaux cervicaux 7 et 8 (RV7 et RV8), d'évaluer sur des cadavres de chevaux par dissection la diffusion péri-nerveuse d'une solution colorée ainsi que de décrire chez des chevaux sains les signes cliniques associés à une anesthésie péri-neurale écho-guidée du RV7 et RV8 individuellement.

Dans l'étude post-mortem, 5 RV7 et 5 RV8 ont été visualisés échographiquement et colorés par une injection de 7 ou 14 ml de solution colorée. Une portion du tronc nerveux a été trouvée coloré pour chaque injection. La coloration était uniforme transversalement sur toute la largeur du nerf et couvrait une longueur supérieure à 2 cm pour 8 RV alors qu'une coloration de la moitié crâniale du RV sur une longueur de moins de 2 cm pour un RV7 et un RV8.

L'étude sur cheval sain portait sur 4 chevaux sains sans image radiographique anormale de la colonne cervicale. Six RV7 et 8 RV8 ont été anesthésiés de la lidocaïne 2% mélangés à du iohexol. Toutes les injections ont entraînées boiterie antérieure ipsilatérale de l'injection. Les boiteries les plus sévères correspondaient à une parésie du nerf supra-scapulaire pour RV7 et à une parésie radiale pour RV8.

Cette étude a montré qu'il était possible de réaliser une injection péri-neurale des RV 7 et RV8 chez le cheval et que l'anesthésie tronculaire des deux racines provoque une atteinte motrice essentiellement de la fonction nerveuse. Ces résultats contribuent à mieux comprendre la symptomatologie des compressions nerveuses cervicales chez le cheval.

Mots clés : nerf, racine nerveuse, cervical, plexus brachial, anesthésie tronculaire, cheval, locomotion

---

Abstract

Caudal cervical radiculopathy has been identified as a cause of frontlimb lameness in horses. Degenerative conditions of the articular process joint result in peri-articular remodeling responsible for compression of spinal nerve roots or their *ramus ventralis* (RV). The objectives of the study were to describe how to perform peri-neural RV injection under ultrasonographic guidance, to evaluate on cadaver peri-neural RV staining after a dye solution injection, as well as describe clinical signs associated with a perineural ultranosonography-guided anesthesia of RV7 and RV8 respectively.

In the post-mortem study, the RV of the spinal cervical nerves was visualized in all cadavers. Eight *RV* had a uniform transversal staining of the nerve trunk that covered longitudinally a distance greater than 2 cm. One C7 and one C8 *RV* showed incomplete transversal staining with a more concentrated color on its half cranial aspect and a longitudinal coverage of less than 2 cm.

The in vivo study included 6 RV7 and 8 RV8 peri-neural injections of a local anesthetic agent, performed on 4 horses that had no abnormal finding on cervical radiographs. All anesthetic injections (lidocaine 2% and iohexol) resulted in modifications of the locomotion with variable degree of lameness on the ipsilateral frontlimb. Severe lameness was characteristic of a supra-scapular paresis for RV7 and a radial paresis for RV8. Mild to moderate lameness on the ipsilateral frontlimb included decreased anterior phase of the stride, intern circumduction of the limb and sometimes stumbling for that same frontlimb. Signs of ataxia on the hindlimbs were encountered for 3 injections.

This study showed that it is possible to perform peri-neural injections of RV7 and RV8 in horses and that peri-neural anesthesia of RV7 and RV8 results in motor dysfunction. These findings constitute a contribution to understanding clinical signs associated with cervical nerve compression in horses.

Keywords : nerve, nerve root, cervical, brachial plexus, nerve block, horse, locomotion