

Université de Montréal

**La gaine carpienne chez le cheval : comment améliorer les
techniques diagnostiques de base actuelles ?**

Par

Ludovic Miagkoff

Département de sciences cliniques

Faculté de médecine vétérinaire

Mémoire présenté à la Faculté de médecine vétérinaire
en vue de l'obtention du grade de Maîtrise ès sciences (M. Sc.)
en sciences vétérinaires option sciences cliniques

Avril 2020

© Ludovic Miagkoff, 2020

Ce mémoire intitulé

**La gaine carpienne chez le cheval :
comment améliorer les techniques diagnostiques de base actuelles ?**

Présenté par
Ludovic Miagkoff

A été évalué par un jury composé des personnes suivantes

Yves Rossier

Président-rapporteur

Alvaro G. Bonilla

Directeur de recherche

Daniel Pang

Membre du jury

Résumé

Objectifs : (1) Évaluer l'effet de l'anesthésie intrathécale de la gaine carpienne sur la désensibilisation du membre distal et identifier les emplacements potentiels de désensibilisation des nerfs palmaires. (2) Investiguer l'utilisation de l'arthroscope aiguille pour la ténoscopie diagnostique de la gaine carpienne chez le cheval debout.

Design : Études expérimentales *ex vivo* et *in vivo*.

Animaux : Membres cadavériques (n=20+6) et chevaux (n=8+6).

Matériel et méthodes : (1) Le seuil de sensibilité cutané a été mesuré sur le membre distal de 8 chevaux entre t_0 et t_{180mn} après anesthésie (mépivacaïne) intrathécale. Puis, 20 membres thoraciques ont été préparés et disséqués transversalement ou longitudinalement. (2) Les ténoscopies de la gaine carpienne avec arthroscopes aiguille et standard ont été comparées sur 6 cadavres avant de réaliser la ténoscopie avec un arthroscope aiguille chez 6 chevaux sous sédation.

Résultats : (1) 6/8 chevaux ont été désensibilisés au niveau des glomes. Les nerfs palmaires sont en relation étroite avec la gaine à 2 sites de diffusion probables identifiés. (2) L'arthroscope aiguille a permis une exploration complète des structures proximales dans les modèles cadavérique et *in vivo* (6/6), la tension résiduelle des tendons fléchisseurs a toutefois limité la visualisation du fléchisseur superficiel du doigt chez 4/6 des chevaux *in vivo*.

Conclusion : (1) L'anesthésie intrathécale de la gaine carpienne devrait être interprétée dans les 15min post-injection, et les autres anesthésies distales au carpe être repoussées plus de 3h après. (2) La ténoscopie debout a permis une évaluation complète et sécuritaire de la région proximale de la gaine, offrant ainsi une technique diagnostique alternative.

Mots-clés : Cheval, Gaine carpienne, Anesthésie, Ténoscopie

Abstract

Objective: (1) To assess the effect of carpal sheath anaesthesia on skin sensitivity of the distal forelimb and to determine potential locations for desensitisation of palmar nerves. (2) To investigate the use of a needle arthroscope for diagnostic tenoscopy of the carpal sheath in standing horses.

Study design: Experimental *ex vivo* and *in vivo* studies.

Animals: Cadaveric limbs (n=20+6) and live horses (n=8+6).

Methods: (1) Mechanical nociception of the distal forelimb was measured with a dynamometer on 8 horses between t_0 and $t_{180\text{min}}$ after intrathecal anesthesia (mepivacaine). Twenty cadaveric limbs were prepared and dissected transversally or longitudinally. (2) Needle and regular arthroscopes were compared during carpal sheath tenoscopy of 6 cadaveric limbs. Then, standing carpal sheath tenoscopy was performed in 6 sedated healthy horses with the needle arthroscope.

Results: (1) Six out of 8 horses were completely desensitized on both heel bulbs. Cadaveric specimens revealed close proximity between the sheath and palmar nerves at 2 possible diffusion sites identified. (2) Needle arthroscopy allowed thorough visualization of the proximal region of the carpal sheath in cadaveric limbs and standing horses (6/6). However, remaining flexor tendons tension limited visualization of the superficial digital flexor tendon in 4/6 of horses.

Conclusion: (1) Carpal sheath anaesthesia should be interpreted within 15min post-injection and perineural or articular blocks distal to the carpus should be delayed for more than 3 hours post-carpal sheath anesthesia. (2) Standing carpal sheath tenoscopy allows a safe and thorough evaluation of the proximal region of the sheath, offering an alternative diagnostic technique.

Keywords: Horse, Carpal sheath, Anaesthesia, Tenoscopy

Table des matières

Résumé.....	3
Abstract.....	4
Table des matières.....	5
Liste des figures.....	7
Introduction.....	9
Recension littéraire.....	11
I. Organisation de la face palmaire du carpe.....	11
A. Limites du canal carpien.....	12
1. Le sillon carpien.....	12
2. Ligament commun palmaire.....	13
3. Rétinaculum des fléchisseurs.....	14
B. La gaine carpienne et ses structures intrathécales.....	14
1. Anatomie de la gaine carpienne.....	15
2. Le muscle fléchisseur superficiel du doigt et sa bride radiale.....	16
C. Autres structures à la face palmaire du carpe.....	18
D. Innervation de la face palmaire du carpe.....	19
1. Le nerf médian.....	19
2. Le nerf ulnaire.....	22
E. Vascularisation de la face palmaire du carpe.....	22
1. L'artère médiane.....	22
2. Le système veineux.....	23
II. Pathologies de la gaine carpienne.....	25
A. Lésions osseuses à l'origine de ténosynovite.....	26
1. Proliférations osseuses (exostoses) de la face caudale du radius distal et ostéochondromes.....	26
2. Fracture de l'os carpal accessoire.....	27
B. Pathologies du tendon fléchisseur superficiel du doigt et de sa bride radiale.....	29
1. Tendinite proximale du fléchisseur superficiel du doigt.....	29
2. Desmite de la bride radiale.....	30
D. Pathologie du tendon fléchisseur profond du doigt et de sa bride carpienne.....	31
1. Tendinite du fléchisseur profond du doigt.....	31
2. Desmite de la bride carpienne.....	32
E. Autres causes de ténosynovites de la gaine carpienne.....	33
II. Moyens diagnostics des ténosynovites de la gaine carpienne.....	35
A. Synoviocentèse et anesthésie intrathécale de la gaine carpienne.....	36
1. Choix de la molécule anesthésique.....	37
2. Considérations techniques.....	38
3. Analyse du fluide synovial.....	39
B. Échographie de la face palmaire du carpe.....	39
C. Radiographie du carpe.....	41
D. Ténoscopie de la gaine carpienne.....	42
1. Indications et considérations techniques.....	42
2. Exploration de la gaine.....	43

Objectifs et Hypothèses	51
Article 1 (doi: 10.1111/evj.13269).....	52
I. Corps	52
II. Figures.....	71
Article 2 (doi: 10.1111/vsu.13381).....	79
I. Corps	79
II. Figures.....	94
Discussion	97
Conclusion	101

Liste des figures

Figure 1 : Vue palmaro-médiale des os d'un carpe droit de cheval.....	13
Figure 2 : Photo de l'ouverture du récessus intertendineux de la gaine carpienne d'un membre antérieur gauche	16
Figure 3 : Dissection longitudinale de la face palmaire d'un membre thoracique droit au niveau du carpe.....	21
Figure 4 : Site pour l'anesthésie intrathécale de la gaine carpienne sur un antérieur droit.....	36
Figure 5 : Vue téloscopique de la gaine carpienne avec un portail proximo-latéral et l'arthroscope orienté médialement.....	45
Figure 6 : Vue téloscopique de la gaine carpienne avec un portail proximo-latéral et l'arthroscope orienté proximo-médialement.....	46
Figure 7 : Vue téloscopique de la gaine carpienne avec un portail proximo-latéral et l'arthroscope orienté disto-latéralement.....	47
Figure 8 : Vue téloscopique de la gaine carpienne avec un portail proximo-latéral et l'arthroscope orienté distalement.....	48
Figure 9 : Vue téloscopique de la gaine carpienne avec un portail proximo-latéral et l'arthroscope inséré latéralement au fléchisseur profond du doigt.....	49
Figure 10 : Vue téloscopique de la gaine carpienne avec un portail proximo-latéral et l'arthroscope inséré dans le récessus inter-tendineux de la gaine.....	50
Figure 11 : Image de l'utilisation du dynamomètre pour enregistrer le seuil de nociception mécanique au niveau du glome latéral d'un membre antérieur droit	71
Figure 12 : Image de l'aspect palmaro-latéral du métacarpe proximal du membre antérieur droit d'un cheval où la gaine du carpe a été injectée de latex.....	72
Figure 13 : Images de l'aspect proximal de chaque coupe transversale de 3 cm pratiquée sur le membre antérieur gauche d'un cheval où la gaine carpienne a été injectée de latex.....	77

Figure 14 : Image d'une téno-scopie diagnostique de la gaine du carpe en position debout sur un membre antérieur gauche.....94

Figure 15 : Vues téno-scopiques de la gaine carpienne gauche d'un cheval obtenues avec un arthroscopie aiguille de 1,2 mm de diamètre et de 65 mm de long par une approche proximo-latérale.....95

Introduction

À la face palmaire du carpe, la gaine carpienne des fléchisseurs est une structure synoviale contenant les tendons des deux muscles fléchisseurs du doigt ainsi que différentes structures vasculaires et nerveuses majeures. L'ensemble de la gaine et de ses structures intrathécales sont délimités au niveau du carpe par différentes structures osseuses et ligamentaires qui forment le canal carpien. Alors que la gaine carpienne des fléchisseurs assure glissement et nutriments aux tendons fléchisseurs du doigt, le canal carpien assure un rôle de maintien complémentaire de celui de la gaine dans la biomécanique de cette région de transition musculo-tendineuse de haute mobilité.

Parmi les affections locomotrices du cheval, les affections de la gaine carpienne sont peu fréquentes mais peuvent affecter les structures intrathécales de la gaine, notamment tendineuse ou ligamentaires, ou les structures périthécales osseuses. Ces affections occasionnent des douleurs à l'origine de boiteries de grades variables et à une ténosynovite primaire ou secondaire (plus souvent) de la gaine carpienne, et dont les étiologies sont multiples. Dans l'investigation de boiteries associées à une distension de la gaine carpienne, différents moyens diagnostiques sont à la disposition du clinicien pour confirmer cette région comme à l'origine de la douleur et préciser l'étiologie de la ténosynovite. Notamment, les modalités d'imagerie conventionnelle (radiographie et échographie) permettent souvent d'orienter le diagnostic étiologique une fois la région douloureuse a été isolée avec l'anesthésie diagnostique. Finalement, la ténoscopie de la gaine carpienne permette un diagnostic définitif au moyen d'une visualisation directe des structures intrathécales par une exploration minimalement invasive de l'ensemble de la gaine. La ténoscopie

est aussi envisagée comme un moyen thérapeutique dans la plupart de cas en plus de sa valeur diagnostique certaine.

Dans cette revue bibliographique, nous présenterons d'abord les caractéristiques anatomiques de la gaine carpienne et du canal carpien. Puis nous nous intéresserons aux ténosynovites de la gaine carpienne et aux différentes pathologies étant à l'origine de de ces dernières. Enfin, nous nous intéresserons aux moyens diagnostiques conventionnels de pathologies de la gaine carpienne et nous approfondirons dans l'anesthésie de la gaine carpienne et la téno-scopie, les deux éléments d'intérêt de cette maîtrise.

Recension littéraire

I. Organisation de la face palmaire du carpe

Le carpe assure une continuité articulaire entre l'avant-bras et le canon, segments osseux qui doivent être alignés lorsque le cheval est en appui sur son membre mais en flexion pendant le mouvement. Les différentes articulations du carpe permettent une mobilité accrue depuis la position au repos, avec l'essentiel de l'amplitude représentée par la flexion du membre. Ces mouvements de flexion du carpe sont permis par de nombreux muscles fléchisseurs passant à la face caudale/palmaire du membre antérieur. Notamment, la face palmaire du carpe est une zone de transition musculo-tendineuse qui procure stabilité et glissement au sein du canal carpien aux muscles fléchisseurs du doigt et à leurs tendons en particulier (McIlwraith *et al.*, 2015).

Dans cette section, nous nous intéresserons à l'organisation de la face palmaire du carpe avec notamment les différentes structures anatomiques qui constituent et délimitent le canal carpien. Puis nous nous pencherons sur la gaine carpienne ses caractéristiques et les structures intrathécales. Enfin, nous aborderons l'aspect fonctionnel de la gaine carpienne dans son canal lors de la locomotion du cheval.

A. Limites du canal carpien

La limite proximale du canal carpien se situe au niveau de l'aspect proximal de l'os carpal accessoire. La limite distale présente plus de variabilité individuelle mais est toujours proche de la tête des métacarpiens accessoires (Probst *et al.*, 2008). Sur l'ensemble de cette section la face palmaire du carpe peut être schématisée en coupe transversale par un triangle dont un côté est représenté par les faces palmaires du radius, des deux rangées des os du carpe et du métacarpe III, un autre côté par la face axiale de l'os carpal accessoire et le dernier côté est représenté par le rétinaculum des fléchisseurs du carpe.

1. Le sillon carpien

La face palmaire des os des deux rangées du carpe forme avec l'os carpal accessoire une surface concave que l'on appelle le sillon carpien. Ce dernier présente d'importantes saillies osseuses correspondantes aux reliefs de la face palmaire des os carpiens radial, intermédiaire et ulnaire pour la rangée proximale, et des os carpiens II, III et IV pour la rangée distale (Figure 1). Les irrégularités osseuses palmaires des os du carpe sont nivelées par une structure ligamentaire, le ligament commun palmaire qui s'étend de la face médiale de l'os carpal accessoire jusqu'à la portion la plus médiale de l'os carpal radial et de l'os carpal II. L'os carpal accessoire présente une forme discoïde avec une concavité médiale intrathécale qui est recouverte de fibrocartilage et constitue le bord latéral du canal carpien. Il s'articule proximement avec le radius et distalement avec l'os carpal ulnaire, les deux articulations faisant partie de l'articulation antébrachio-carpienne. Ses quatre ligaments pisi-ulnaire, pisi-pyramidal, pisi-crochu et pisi-métacarpien contribuent à la fermeture latérale du canal carpien (Barone, 2010a).



Figure 1 : Vue palmaro-médiale des os d'un carpe droit de cheval

2. Ligament commun palmaire

Il s'agit d'une structure ligamentaire épaisse orientée proximo distalement à la face caudale du radius distal et palmaire des deux rangées des os du carpes. Il s'insère proximalelement au niveau de la crête transverse du radius distal mais des insertions ligamentaires sont aussi présentes au niveau des os du carpe. Latéralement, il s'anastomose avec les ligaments pisi-crochu et pisi-métacarpien. Et médialement avec le ligament collatéral radial. Distalement, ce ligament se prolonge à la face palmaire du métacarpien III et est appelé bride carpienne. Les fibres tendineuse

de la bride s'anastomosent au niveau du tiers moyen du canon à celles du tendon fléchisseur profond du doigt, diminuant ainsi les forces de tension qui s'exercent sur ce tendon et stabilisant le carpe lors des extensions du membre antérieur (Krainer, 1987).

3. Rétinaculum des fléchisseurs

Le rétinaculum des fléchisseurs du carpe est un tissu conjonctif fibreux dont l'essentiel des fibres ont une orientation horizontale. La couche la plus superficielle s'insère latéralement sur le bord palmaire de l'os carpal accessoire et médialement à l'aspect palmaire des os du carpe ainsi que sur le ligament collatéral radial. Tout au long de sa course horizontale à l'aspect palmaire du carpe, le rétinaculum carpien des fléchisseurs cloisonne en 5 compartiments différents les structures myotendineuses, ligamentaires, vasculaires et nerveuses qui passent à l'aspect palmaire du carpe (Probst *et al.*, 2008). Dans le compartiment le plus latéral, on retrouve le nerf palmaire latéral ainsi que la branche palmaire de l'artère médiane et la veine palmaire latérale. Plus médialement, deux compartiments différents se superposent avec la veine radiale le plus superficiellement et l'artère radiale dans un plan plus profond. Le plus médialement, se trouve un autre compartiment qui renferme plus profondément le tendon distal du muscle fléchisseur radial du carpe ainsi que sa gaine synoviale. Enfin, le dernier compartiment occupe l'essentiel du canal carpien et enferme les fléchisseurs superficiel et profond du doigt dans leur gaine synoviale commune, ainsi que le nerf palmaire médial et l'artère médiane (Probst *et al.*, 2008).

B. La gaine carpienne et ses structures intrathécales

La gaine synoviale carpienne des fléchisseurs, plus communément appelée gaine carpienne, correspond à la gaine synoviale commune aux deux tendons fléchisseurs du doigt en région carpienne palmaire. Il s'agit d'une structure synoviale composée d'un feuillet pariétal et d'un

feuillet viscéral entourant les tendons fléchisseurs du doigt comme un manchon en région carpienne. Ses limites d'extensions sont de 6 à 10 cm proximale à l'articulation antébrachio-carpienne ou l'os carpal accessoire selon la taille des chevaux et les auteurs, et son extrémité distale se trouve juste proximale à l'insertion de la bride carpienne sur le tendon du fléchisseur profond du doigt à environ mi-canon (Cauvin *et al.*, 1997a; Southwood *et al.*, 1998). La gaine enveloppe une portion des corps musculaires, la jonction myotendineuse, et une portion tendineuse des fléchisseurs superficiel et profond du doigt lors de leur passage à la face palmaire du carpe dans le canal carpien. Cette gaine synoviale assure protection, lubrification et nutrition des deux tendons fléchisseurs (Leach *et al.*, 1981).

1. Anatomie de la gaine carpienne

Le récessus proximal de la gaine carpienne forme 2 saillies latérale et médiale, avec une partie latérale plus développée proximale, qui se réunissent plus distalement. Au niveau de la métaphyse distale du radius, la gaine enveloppe presque complètement les 2 tendons, avec l'exception de la portion la plus caudo-médiale où la gaine est interrompue par un mésotendon commun aux deux tendons fléchisseurs. À ce même niveau, un récessus inter-tendineux de la gaine est identifiable. Il est délimité par le fléchisseur profond crânialement, le fléchisseur superficiel caudalement et le mésotendon du fléchisseur superficiel médialement. Seule une communication avec le reste de la gaine est présente latéralement au récessus sur quelques centimètres en raison d'une interruption du mésotendon latéral entre les fléchisseurs à ce niveau (Figure 2). Cette interruption prend fin au niveau de l'os carpal accessoire car le mésotendon latéral des fléchisseurs s'avance palmairement et contourne la face palmaire du fléchisseur superficiel pour rejoindre la portion la plus médiale du mésotendon au sein de laquelle passent le nerf palmaire médial et l'artère médiane. La relation étroite entre la gaine et le nerf palmaire médial à ce niveau

sera investiguée dans notre étude afin de déterminer l'effet de l'anesthésie intrathécale de la gaine carpienne sur la désensibilisation potentielle de ce nerf. Le récessus inter-tendineux s'étend distalement comment un cul-de-sac jusqu'au niveau de l'articulation carpo-métacarpienne. À partir de l'extrémité distale de l'os carpal accessoire, la portion palmaire de la gaine régresse progressivement et la gaine ne représente plus qu'une bande dorsale au fléchisseur profond qui se termine avec l'insertion de la bride radiale sur le fléchisseur profond (Cauvin *et al.*, 1997b; Southwood *et al.*, 1998).

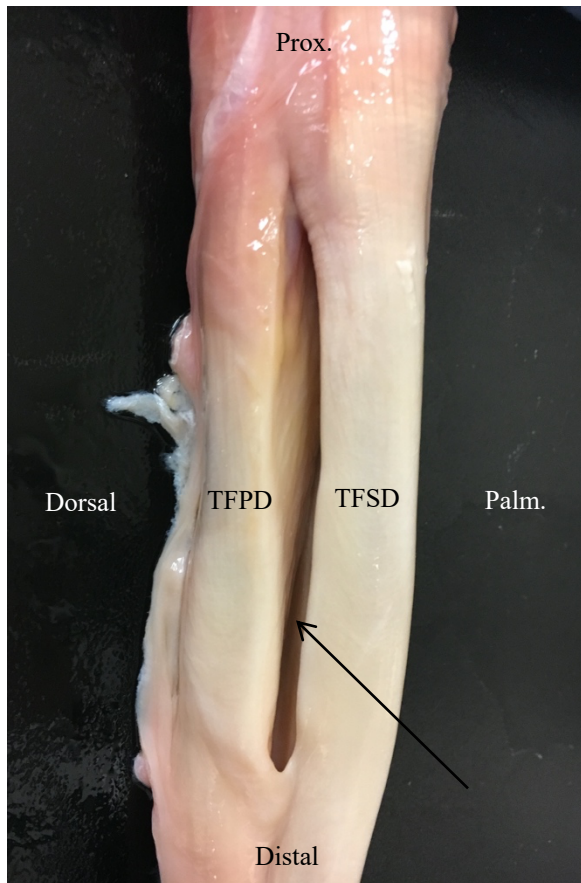


Figure 2 : Photo de l'ouverture du récessus intertendineux de la gaine carpienne d'un membre antérieur gauche au niveau du carpe. On note une interruption du mésotendon (flèche) d'environ 7cm en face latérale entre les tendons fléchisseurs superficiel (TFSD) et profond (TFPD) du doigt.

2. Le muscle fléchisseur superficiel du doigt et sa bride radiale

Le muscle fléchisseur superficiel du doigt s'origine au niveau de l'épicondyle médial de l'humérus. Son corps charnu se situe à la face palmaire de l'avant-bras jusqu'à une transition

tendineuse au niveau du tiers distal de l'avant-bras Au sein de la gaine carpienne, le tendon du fléchisseur superficiel du doigt présente une forme cylindroïde et longe la face médio-palmaire du tendon du fléchisseur profond du doigt (Cauvin *et al.*, 1997b).

Le fléchisseur superficiel du doigt reçoit au niveau de l'métaphyse distale du radius une bride fibreuse nommée bride radiale. Cette dernière s'origine 7 à 14 cm au-dessus de l'articulation antébrachio-carpienne, au niveau caudo-médiale du tiers distal du radius. La bride radiale court en direction caudo-distale entre le muscle fléchisseur radial du carpe et le fléchisseur profond du doigt. Son insertion sur le fléchisseur superficiel se fait sur son bord palmaro-médial 7 à 14 cm au-dessus de l'articulation antébrachio-carpienne (Denoix *et al.*, 1999). La bride carpienne présente un rôle dans le répartition des forces exercées sur le fléchisseur superficiel lors de l'extension du boulet (Dyson, 2011).

Le tendon du muscle fléchisseur superficiel du doigt continue ensuite sa course distalement à la face palmaire du membre, projette autour du fléchisseur profond la *manica flexoria* au-dessus de l'articulation métacarpo-phalangienne avant de terminer sa course en deux branches insérées sur les tubercules d'insertion de la phalange moyenne, de chaque côté du scutum moyen. L'innervation de ce muscle et tendon est assurée par les nerfs médian et ulnaire et leurs ramifications (Budras, 2005; Barone, 2010a).

Le muscle fléchisseur profond du doigt se compose de trois chefs musculaires. Le chef huméral s'origine au niveau de l'épicondyle médial de l'humérus et ne peut être différencié du corps musculaire du fléchisseur superficiel dans sa portion proximale de par leur union à ce niveau. Le chef ulnaire, plus petit que le chef huméral, s'origine sur la face médiale de l'olécrane et ses fibres musculaires convergent rapidement et donnent un fort tendon au niveau de l'articulation antébrachio-carpienne. Le chef radial s'origine en partie médiale de la face caudale du tiers distal

du radius, juste proximale à la bride radiale. Ses corps musculaires et tendineux passent au niveau de la gaine carpienne et le chef radial s'insère sur la face dorso-médiale du fléchisseur profond du doigt, environ 2 cm proximale à l'os carpal accessoire. Distale à la gaine carpienne, le fléchisseur profond du doigt continue sa course dorsalement au fléchisseur superficiel, puis passe entre les deux branches de ce dernier au niveau du paturon pour finalement s'insérer sur le *facies flexoria* de la phalange distale. La vascularisation du tendon fléchisseur profond du doigt est assurée à trois niveaux : la jonction musculo-tendineuse par les vaisseaux du corps musculaire, le long du tendon notamment avec les vaisseaux extra-tendineux du mésotendon des fléchisseurs et au niveau de l'insertion sur la phalange distale. L'innervation de ce muscle et tendon est assurée par les nerfs médian et ulnaire et leurs ramifications (Budras, 2005; Barone, 2010a).

C. Autres structures à la face palmaire du carpe

Au niveau du canal carpien, le tendon du muscle fléchisseur radial du carpe coulisse dans sa gaine synoviale au sein du rétinaculum des fléchisseurs du carpe, médialement au canal carpien, avant de s'insérer sur la tête du métacarpe II. Avec une origine proximale de son corps charnu sur l'épicondyle médial de l'humérus, le fléchisseur radial du carpe a un rôle de flexion du carpe. Il est innervé par le nerf médian (Barone, 2010a).

Le muscle ulnaire latéral s'origine au niveau de l'épicondyle latéral de l'humérus. Il court à la face caudo-latérale du radius et est adjacent au canal carpien au tiers distal du radius. Son insertion se fait par un tendon court sur l'os carpal accessoire et son tendon long est entouré d'une gaine synoviale avant de s'insérer plus distalement sur la tête du métacarpien IV. Son innervation provient du nerf ulnaire (Budras, 2005; Barone, 2010a).

Le muscle fléchisseur ulnaire du carpe s'origine proximale sur l'épicondyle médial de l'humérus pour le chef huméral et sur la face médiale de l'olécrane pour son chef ulnaire. Il court à la face caudale de l'avant-bras et son corps musculaire large et aplati enveloppe la face caudale des fléchisseurs du doigt avant de s'orienter plus caudo-latéralement et de s'insérer sur l'os carpal accessoire. Uniquement dans sa portion la plus distale, il se tient caudalement au rétinaculum carpien des fléchisseurs, avant de s'insérer sur l'os carpal accessoire. Il est innervé par une branche musculaire du nerf ulnaire (Budras, 2005; Barone, 2010a).

D. Innervation de la face palmaire du carpe

L'innervation du membre thoracique est issue du plexus brachial, qui né de l'anastomose des rameaux ventraux des nerfs spinaux C6, C7, C8, T1 et T2. Dans le cadre de notre étude, nous nous focaliserons sur le trajet et le rôle des nerfs et ramifications présents au niveau de la face palmaire du carpe, soit les nerfs médians et ulnaires ainsi que leurs ramifications principales (nerfs palmaires médial et latéral) (Budras, 2005).

Les nerfs palmaires médial et latéral donnent respectivement naissance aux nerfs digitaux palmaires médial et latéral. Ils sont responsables de l'innervation ipsilatérale de l'ensemble du membre distal (Budras, 2005).

1. Le nerf médian

Le nerf médian provient essentiellement des rameaux de C8 à T1, avec une faible part de C7 et T2. À sa sortie du plexus brachial, il forme rapidement avec le nerf musculocutané une anastomose anatomique appelée anse axillaire, qui supporte l'artère axillaire à son entrée dans le membre thoracique. Le long du bras, l'anastomose entre les nerfs médian et musculocutané suit

l'artère axillaire puis brachiale et le nerf musculocutané donne naissance aux branches musculaires proximale et distale avant de terminer comme nerf antébrachial cutané médial. Le nerf médian se retrouve donc de nouveau seul au niveau du nœud lymphatique cubital, soit à la hauteur du tiers distal de l'humérus. À ce niveau, le nerf médian suit l'artère brachiale à l'aspect craniomédial de l'humérus distal sous le fascia antébrachial. Puis, le nerf médian continue sa course au niveau de l'avant-bras, à la face caudomédiale du radius entre le muscle fléchisseur radial du carpe et le chef huméral du fléchisseur profond du doigt, à côté de l'artère et des veines médianes, avant de donner les nerfs palmaires latéral et médial (aussi appelés nerfs palmaires II et III) au niveau du tiers distal du radius, juste proximale au récessus proximal de la gaine carpienne (Figure 3). Ses ramifications musculaires innervent le muscle fléchisseur radial du carpe, ainsi que les chefs radial et huméral du fléchisseur profond du doigt (Barone, 2010b).

Le nerf palmaire médial passe au niveau du carpe au sein du mésotendon du fléchisseur superficiel dans la gaine carpienne. Il continue sa course par la suite jusqu'au niveau de l'articulation métacarpo-phalangienne, en courant sur le bord médial des tendons fléchisseurs du doigt. Une branche communicante émerge du nerf palmaire médial au niveau du tiers moyen du métacarpe pour s'anastomoser au nerf palmaire latéral (Budras, 2005).

Le nerf palmaire latéral, bifurque latéralement après sa naissance du nerf médian, juste proximale au récessus proximal de la gaine carpienne. Il reçoit alors la branche palmaire du nerf ulnaire avant de courir à la face palmarolatérale du carpe, dans le compartiment le plus latéral du rétinaculum des fléchisseurs du carpe (Figure 3). Au niveau proximal du métacarpe III, le nerf palmaire latéral donne une branche profonde qui se ramifie en en nerfs palmaires métacarpiens latéral et médial. Ces nerfs sont situés à la face palmaire de l'os métacarpien III et courent distalement à la face axiale des métacarpiens rudimentaires. Le nerf palmaire latéral continue lui

sa course parallèlement au nerf palmaire médial, jusqu'au niveau de l'articulation métacarpo-phalangienne, sur le bord latéral des tendons fléchisseurs du doigt et reçoit à mi-canon la branche communicante du nerf palmaire médial. Il est aussi important de noter la dissymétrie entre les deux nerfs palmaires au niveau métacarpien. En effet, le nerf palmaire latéral se tient, avec la veine du même nom, dans le tissu conjonctif entre la bride carpienne et le ligament suspenseur du boulet, tandis que le nerf palmaire médial se tient entre les tendons des fléchisseurs superficiel et profond du doigt (Denoix, 1994b).

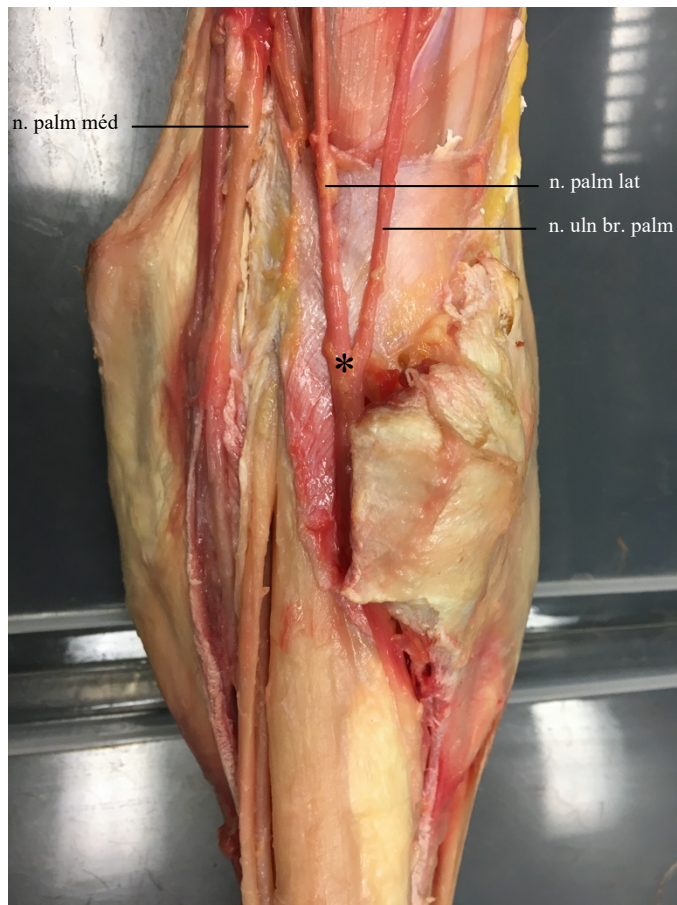


Figure 3 : Dissection longitudinale de la face palmaire d'un membre thoracique droit. Le rétinaculum carpal des fléchisseurs a été ouvert pour exposer les nerfs. On note notamment les nerfs palmaire latéral (n. palm. lat) et médial (n. palm. méd) ainsi que la branche palmaire du nerf ulnaire (n. ulnaire br. palm.) et son anastomose avec le nerf palmaire latéral (*).

2. Le nerf ulnaire

Le nerf ulnaire provient lui des rameaux C8 à T1, avec participation éventuelle du rameau ventral de T2. À sa sortie du plexus brachial, il suit caudalement l'artère et la veine brachiale avant de donner le nerf cutané antébrachial caudal au niveau du tiers distal du bras, dont le dermatome correspond à la face caudale de l'avant-bras. Une fois passé au niveau du coude, le nerf ulnaire donne des branches innervant le muscle ulnaire latéral, le fléchisseur superficiel du doigt ainsi que les chefs ulnaire et huméral du fléchisseur profond du doigt, puis il s'oriente caudalement à l'avant-bras avant de se diviser, juste proximale à l'os carpal accessoire, en une branche dorsale et une branche palmaire qui s'anastomose au nerf palmaire latéral (Figure 3) (Budras, 2005).

E. Vascularisation de la face palmaire du carpe

L'artère subclavière émerge de la fin de la crosse aortique et apporte le sang oxygéné au membre antérieur. Si nous nous concentrons sur la face palmaire du carpe, le sang artériel emprunte l'artère axillaire au niveau de l'articulation scapulohumérale avant de donner l'artère brachiale au niveau du bras, qui donne elle-même naissance à l'artère médiane au niveau du coude. L'artère brachiale donne aussi naissance à l'artère ulnaire collatérale qui suit le trajet du nerf ulnaire. La vascularisation à la face palmaire du carpe provient des artères ulnaire collatérale et médiane et de leurs ramifications (Budras, 2005).

1. L'artère médiane

Au niveau de la face palmaire du carpe, la vascularisation artérielle est assurée par l'artère médiane et ses ramifications.

La branche palmaire de l'artère médiane est une première ramification projetée au niveau proximal de la gaine carpienne et dont l'orientation distolatérale la fait courir le long du bord crânial du récessus proximal de la gaine.

Après cette première ramification, l'artère médiane passe au niveau du canal carpien, médialement aux tendons fléchisseurs du doigt, au sein de leur mésotendon commun. Au niveau de l'articulation antébrachiocarpienne, l'artère médiane délègue l'artère radiale qui s'oriente vers la partie la plus médiale de la gaine et court par la suite disto-médialement (Leach *et al.*, 1981). L'artère médiane suit ensuite sa course distalement médialement au tendon fléchisseur profond du doigt et constitue au travers de l'artère palmaire médiale l'apport sanguin le plus important de la région avant de donner les artères digitales latérale et médiale proximale aux os sésamoïdes (Budras, 2005).

2. Le système veineux

Distalement au carpe, la veine palmaire médiale longe l'artère et le nerf palmaire médial. Contrairement à son artère, la veine ne traverse pas le canal carpien mais passe au niveau du rétinaculum carpien des fléchisseurs où elle est rejointe par la veine palmaire métacarpienne médiale au niveau de l'articulation carpo-métacarpienne.

De manière similaire, la veine palmaire latérale est contiguë à son artère. Elle est rejointe par la veine palmaire métacarpienne latérale au niveau de l'articulation carpo-métacarpienne. À la différence de son homologue médiale, la veine palmaire latérale empreinte le canal carpien le long de l'artère dont le trajet a été décrit précédemment.

À partir du radius distal, les veines ulnaire collatérale et médiane sont contiguës à leur artère et nerf, avec comme particularité la veine médiane qui est fréquemment doublée. Puis, au niveau

du coude, la veine ulnaire rejoint la veine brachiale, tandis que la ou les veines médianes s'anastomosent à la veine brachiale, ou la veine céphalique par l'intermédiaire de la veine cubitale médiale (Budras, 2005).

II. Pathologies de la gaine carpienne

Les pathologies de la gaine carpienne sont des affections musculosqueletiques relativement peu fréquentes chez le cheval, malgré l'absence de prévalence exacte des ténosynovites de la gaine carpienne rapportée chez le cheval. L'étude avec le plus de cas rapportés, fait état de 411 ténoscopies de la gaine carpienne (242 chevaux) sur une population composée majoritairement de trotteurs sur un intervalle de 10 ans, donc une prévalence approximatif de 1.2-2,4% des cas chirurgicaux (sur un total estimé entre 1,000 et 2,000 chirurgies/an) (Zetterström *et al.*, 2017). Les manifestations cliniques sont très similaires entre les différentes affections osseuses et/ou des tissus mous avec boiterie et distension de la gaine carpienne de degrés très variables. Parmi les différentes causes de ténosynovites de la gaine carpienne rapportées, on note les ostéochondromes de la face caudale du radius distal (Held *et al.*, 1988; Squire *et al.*, 1992; Southwood *et al.*, 1997; Jansson, 1998; Wright *et al.*, 2012; Jorgensen *et al.*, 2015), les exostoses caudale de la physe distale du radius (Nixon, Schachter *et al.*, 2004), les fractures de l'os carpal accessoire (Barr, Sinnott *et al.*, 1990; Rijkenhuizen *et al.*, 1994; Minshall *et al.*, 2014; Bonilla *et al.*, 2015), les tendinites du fléchisseur superficiel du doigt et de sa bride radiale (Dyson *et al.*, 1995; Minshall *et al.*, 2015), les tendinites du tendon fléchisseur profond du doigt et les déchirures de son chef radial (Dik, 1990; Minshall *et al.*, 2012), les ténosynovites septiques (Hawthorn *et al.*, 2016) ou plus anecdotiquement les lésions du ligament commun palmaire (Barba *et al.*, 2014).

A. Lésions osseuses à l'origine de ténosynovite

1. Proliférations osseuses (exostoses) de la face caudale du radius

distal et ostéochondromes

Les exostoses à l'aspect palmaire de la physe distale du radius semblent être un variant anormal de la fermeture de cette physe radiale distale et sont à l'origine de ténosynovites de la gaine carpienne chez les chevaux (Nixon *et al.*, 2004). L'ostéochondrome est produit à cause de la migration d'une portion marginale de tissu chondrogénique de la physe distale du radius, formant un foyer d'ossification enchondrale ectopique, le plus souvent à la face caudo-médiale de la métaphyse radiale distale (Nixon *et al.*, 2004). Il résulte de cette activité la formation d'une prolifération osseuse recouverte de cartilage en face palmaire du carpe qui peut aussi produire une ténosynovite de la gaine carpienne. La croissance de l'ostéochondrome s'arrête en même temps que la fermeture de la plaque de croissance distale du radius, soit vers 24 mois (Vulcano *et al.*, 1997). Le site d'origine des exostoses est différent de celui des ostéochondrome puisqu'il qu'il s'agit dans ce cas d'exostoses provenant de crête transverse du radius distal, soit la cicatrice caudale de la physe distale du radius. L'examen morphologique et microscopique ne permet pas de faire la différence du tissu osseux avec celui d'ostéochondrome. Cependant, les exostoses à l'aspect caudal de la physe radiale distale ne présentent pas de surface cartilagineuse, caractéristiques propre à l'ostéochondrome (Nixon *et al.*, 2004).

La radiographie permet de confirmer la suspicion de prolifération osseuse en face caudale du carpe et de préciser sa nature sur la base de son site d'origine exact et la nature de la prolifération. Dans les deux cas, la protrusion de tissus osseux ou ostéo-cartilagineux au sein de la gaine carpienne provoque une ténosynovite secondaire à une excoriation et une fibrillation des fibres du péri-tenon ainsi que des fibres superficielles de la face dorsale du tendon fléchisseur profond du

doigt (Nixon *et al.*, 2004). Le diagnostic de ces lésions tendineuses peut être facilité par l'usage de l'échographie, qui permet notamment de confirmer la présence d'une exostose quand elle est difficile à identifier radiographiquement. Cependant les images échographiques sont normalement prises avec le membre en flexion, ce qui peut masquer des modifications de l'échostructure tendineuse du fléchisseur profond du doigt. L'utilisation d'une sonde échographique convexe avec le membre à l'appui permet un diagnostic plus sensible des lésions intrathécales du fléchisseur profond (Wright *et al.*, 2012). Enfin, le diagnostic définitif d'une lésion de la face crâniale du tendon fléchisseur profond du doigt nécessite une ténoscopie de la gaine afin de caractériser au mieux l'extension du dommage tendineuse en raison de la faible corrélation entre la taille de l'exostose et le degré d'atteinte du fléchisseur profond du doigt (Nixon *et al.*, 2004; Zetterström *et al.*, 2017).

La ténoscopie de la gaine carpienne dans le cadre des pathologies osseuses de la face caudale du radius est à la fois diagnostique, comme expliqué précédemment, mais présente aussi un intérêt thérapeutique certain. En effet, le traitement de choix des proliférations osseuses de la face caudale du radius est la ténoscopie afin de retirer les exostoses ou l'ostéochondrome à l'aide d'un ostéotome ou d'une fraise osseuse. Selon l'importance des lésions associées à la face crâniale du tendon fléchisseur profond du doigt en regard de l'excroissance osseuse, un débridement de la portion fibrillaire du tendon et de son péri-tenon est aussi indiquée (Nixon *et al.*, 2004).

2. Fracture de l'os carpal accessoire

La fracture de l'os carpal accessoire est une condition bien connue mais peu fréquente (Barr *et al.*, 1990; Dyson, 1990). Cette condition se retrouve particulièrement chez les chevaux de saut

d'obstacles et bien qu'il ait été suggéré une étiologie principalement traumatique, tels qu'une chute lors d'un saut, une lésion associée à une hyperextension du carpe lors de la réception, ou tout autre type d'accident, l'étiologie est encore mal comprise (Dyson, 2010; Ross *et al.*, 2010; Minshall *et al.*, 2014; Bonilla *et al.*, 2015). Les fractures de l'os carpal accessoire sont le plus souvent simple et complète avec un léger déplacement, bien que des fragments osseux soient aussi parfois identifiable proximalement ou distalement, elles sont majoritairement orientées dans un plan frontal au milieu de l'os, juste palmairement au tendon long du muscle ulnaire latéral, mais d'autres fractures notamment articulaires sont aussi rapportées plus anecdotiquement (Barr *et al.*, 1990; Minshall *et al.*, 2014; Bonilla *et al.*, 2015).

Lors de fracture récente de l'os carpal accessoire, les chevaux présentent une boiterie marquée, une douleur vive à la flexion du carpe, ainsi qu'une enflure de l'ensemble des tissus mous de la face palmaire du carpe, avec notamment une ténosynovite de la gaine carpienne parfois difficile à identifier à cause de l'enflure dans la région. Cependant, en cas de fracture ancienne, les signes cliniques peuvent être très frustrés.

Lors de suspicion de fracture de l'os carpal accessoire, la réalisation d'un examen radiographique complet permet d'habitude de confirmer la suspicion diagnostique ou un examen tomodensitométrique peut être conduit afin d'obtenir un diagnostic plus précis (Bonilla *et al.*, 2015). De même, l'échographie devrait être réalisée afin d'évaluer d'éventuelles irrégularités de la face axiale de l'os carpal accessoire, la présence de fragments osseux libres dans la gaine carpienne en cas de fracture comminutive et pour évaluer d'éventuels dommages péri-tendineux ou tendineux faits à la face dorso-latérale du fléchisseur profond du doigt.(Jorgensen *et al.*, 2010)

La gestion peut être conservatrice avec la mise en place d'un plâtre pour éviter tous mouvement de flexion du carpe et réduire le mouvement au niveau de la fracture. Cependant, en cas de lésion identifiable dans la gaine carpienne, la tenoscopie reste le traitement de choix afin de

réaliser une évaluation plus exhaustive, débrider les lésions tendineuses et retirer les éventuels fragments osseux délétères pour les tendons fléchisseurs et la gaine. (Minshall *et al.*, 2014). La prise en charge des chevaux atteints de fracture de l'os carpal accessoire a aussi été décrite avec la mise en place de vis corticales compressives (Rijkenhuize *et al.*, 1994). Cependant, la forme et l'épaisseur de l'os carpal accessoire ainsi que l'importance des forces musculaires qui lui sont appliquées tendent à augmenter le risque d'un échec de la fixation interne avec instabilité chronique et ostéite subséquentes. De ce fait, pour les chevaux sans implication articulaire, une gestion conservative de la fracture avec retrait par téno-scopie des fragments osseux faisant protrusion dans la gaine carpienne semble la prise en charge la plus adéquate, avec un pronostic sportif relativement bon si le cheval peut performer avec une légère restriction de l'amplitude de mouvement du membre (Minshall *et al.*, 2014).

B. Pathologies du tendon fléchisseur superficiel du doigt et de sa bride radiale

1. Tendinite proximale du fléchisseur superficiel du doigt

Les tendinites du tendon fléchisseur superficiel du doigt en région métacarpienne sont des affections fréquentes. En revanche, les lésions plus proximales au sein de la gaine carpienne, susceptibles d'engendrer un téno-synovite de la gaine carpienne, sont beaucoup plus rares et moins rapportés. Elles concernent essentiellement des chevaux d'âgés, voire des chevaux jeunes dans de rares cas (Dyson, 2007b; Smith *et al.*, 2007). En raison de la position anatomique intrathécale du fléchisseur superficiel du doigt et de ses relations avec le rétinaculum des fléchisseurs du carpe à ce niveau, tout épaissement du tendon entraîne une téno-synovite qui peut être à l'origine d'un phénomène compressif du canal carpien par augmentation du volume du contenu du canal, pouvant évoluer sur un mode aiguë ou chronique, avec une boiterie plus discrète (Rantanen, 2007). Les

lésions incriminées correspondent le plus fréquemment à des lésions en région métacarpienne s'étendant proximale, ou à des lésions de la partie proximale du tendon, voire de la jonction myotendineuse encore plus proximale. En l'absence de communication entre la lésion et la gaine, celle-ci n'est souvent pas affectée. (Dyson, 2007b; Cauvin, 2009) Une boiterie soudaine ou se répétant uniquement durant quelques séances de travail est généralement rapportée par le propriétaire. Dans la phase aiguë, la gaine carpienne est distendue et bien qu'une manifestation douloureuse puisse être observée lors d'une pression sur le tendon, le diagnostic de tendinite du fléchisseur superficiel du doigt reste difficile en région proximale. Il est souvent nécessaire d'avoir recours aux anesthésies diagnostiques pour localiser la lésion et si une anesthésie métacarpienne proximale peut être positive, la présence d'une lésion proximale du tendon fléchisseur superficiel du doigt nécessitera une anesthésie des nerfs médian et/ou ulnaire ou potentiellement de la gaine carpienne pour répondre positivement (Dyson, 2007a). Le diagnostic définitif fait intervenir l'échographie voire la téno-scopie et pronostic est généralement mauvais, avec l'apparition fréquente de boiterie récurrente (Dyson, 2007b; Cauvin, 2009).

2. Desmite de la bride radiale

Les desmites de la bride radiale sont spécifiques des chevaux ayant un niveau d'exercice important et est rapportée comme plus importante chez les chevaux d'obstacle, de dressage et de concours complet ainsi que chez les galopeurs, où elles pourraient être sous diagnostiquées (Reimer, 2003; McDiarmid, 2010). Les desmites de la bride radiale seraient pour Hubert et Stashak, la conséquence d'une hyperextension extrême des articulations du boulet et du carpe lors de l'effort intense (Stashak, 2011). Généralement, les lésions de la bride radiale sont associées avec d'autres lésions, notamment au sein du canal carpien lors de ténosynovites de la gaine carpienne où elles

sont concomitantes à des tendinites du tendon fléchisseur superficiel du doigt et parfois même à un épaissement du rétinacle carpien des fléchisseurs. La boiterie est généralement d'apparition soudaine, associée à un oedème local et une distension modérée mais douloureuse de la gaine carpienne. Cette lésion peut également se manifester de manière plus frustrante par une baisse de performance, le cheval étant réticent à se livrer pleinement, alors qu'auparavant, aucune anomalie n'était rapportée dans son travail (Rantanen, 2007; Stashak, 2011). Le diagnostic repose essentiellement sur l'échographie, et la présence d'enthésophytes est aussi visualisable à l'insertion de la bride dans certains cas. Parmi les différentes modifications échographiques, on note l'épaississement ligamentaire, la désorganisation des fibres ainsi que la présence de zones hypo- ou hyper-échogènes. La prise en charge des desmites de la bride radiale passe par un débridement du ligament lors de la ténoscopie dans le cas de déchirures, une médication intrathécale (acide hyaluronique et corticoïdes), des anti-inflammatoires non stéroïdiens systémiques et du repos. Le pronostic pour une reprise de l'exercice antérieur est bon mais un fort taux de récurrence est décrit, notamment pour les chevaux dont la convalescence est la plus courte (Minshall *et al.*, 2015).

D. Pathologie du tendon fléchisseur profond du doigt et de sa bride carpienne

1. Tendinite du fléchisseur profond du doigt

Les tendinites du tendon fléchisseur profond du doigt impliquant la gaine carpienne sont associées à une ténosynovite de cette dernière et peuvent aller jusqu'à une constriction par le rétinacle des fléchisseurs du carpe des structures passant dans le canal carpien (Rantanen, 2007). Il n'est généralement pas possible de percevoir une anomalie à la palpation des tendons, sauf si la

lésion s'étend distalement au canal carpien, et les boiteries associées sont généralement modérées à sévères. Les lésions primaires du tendon fléchisseur profond du doigt en région carpienne restent des affections rares, contrairement aux lésions secondaires. En effet, la présence d'un ostéochondrome à la face caudale du radius distal est le plus fréquemment associée à une lésion du tendon fléchisseur profond en regard de la prolifération ostéochondrale (Wright *et al.*, 2012). De la même manière, les proliférations osseuses (exostoses) au niveau de la crête transverse du radius distale sont associées à des lésions lus ou moins sévères de la face craniale du fléchisseur profond du doigt de par l'action mécanique traumatique qu'elles engendrent lors du mouvement (Nixon *et al.*, 2004). Le chef radial du fléchisseur profond du doigt est aussi sujet à des lésions myotendineuses voire des ruptures (Himsworth *et al.*, 2010; Minshall *et al.*, 2012).

Comme pour les lésions du fléchisseur superficiel du doigt en région carpienne, les signes cliniques sont peu spécifiques et consistent en une ténosynovite de la gaine carpienne associée à une boiterie de degré variable et une douleur à la flexion du carpe. La boiterie est généralement améliorée par une anesthésie intrathécale de la gaine carpienne voire une anesthésie métacarpienne proximale. Le diagnostic peut être confirmé par la réalisation d'un examen échographique avec épaissement du tendon, présence d'un foyer hypoéchogène ou hyperéchogène au sein du tendon et modification de l'orientation fibrillaire du tendon en plus des signes non spécifiques de ténosynovite de la gaine carpienne (Dyson *et al.*, 1995).

2. Desmite de la bride carpienne

Les desmites de la bride carpienne sont des lésions assez fréquentes chez les chevaux de loisir, les poneys, mais aussi les chevaux de saut d'obstacles mais assez peu rencontrées chez les chevaux de course et de concours complet (Dyson, 1991). Un épaissement de la bride carpienne

se développe souvent, ainsi qu'un œdème des tissus avoisinants en région métacarpienne proximale associés inconstamment avec une distension de la gaine carpienne, et tendent à persister avec le temps. Le diagnostic est confirmé par échographie : on observe alors des zones diffuses hypoéchogènes, impliquant tout ou partie de la surface du ligament en coupe transversale et dont l'extension proximo-distalement est variable (Dyson, 1995).

D'après le même auteur, repos et exercice contrôlé ont permis une résolution rapide de la boiterie associée et normalisation de l'échographie du ligament 3 à 5 mois après le diagnostic et la mise en place du traitement (Dyson *et al.*, 1995). Cependant, un retour trop rapide à l'exercice a été associé à un allongement de la période de convalescence et le pronostic est péjoré par la création d'adhérences avec le tendon du fléchisseur profond du doigt. Un faible nombre de cas avec une persistance des signes cliniques ont été traités par desmotomie de la bride carpienne avec des résultats mitigés (Dyson, 1991).

E. Autres causes de ténosynovites de la gaine carpienne

De manière plus anecdotique, les synovites de la gaine carpienne peuvent être causées par une desmite du ligament commun palmaire. Le rôle important du ligament commun palmaire dans la stabilité du carpe en extension explique la position en hyperextension du carpe retrouvée lors de cette affection (Barba *et al.*, 2014). Le diagnostic est réalisable par échographie avec la mise en évidence d'un épaissement du ligament et de zones hypoéchogènes au sein de celui-ci, bien que le moyen diagnostique de choix reste la ténoscopie (Denoix *et al.*, 1993).

Enfin, la gaine carpienne peut aussi être le siège d'une contamination septique provoquant une ténosynovite septique. Cette contamination peut survenir suite à une plaie impliquant la gaine

bien que celles-ci soient extrêmement rares. La contamination peut aussi survenir suite à une téno-scopie ou une injection de la gaine et un risque accru a été mis en évidence par rapport à d'autres explorations de structures synoviales par arthroscopie (Hawthorn *et al.*, 2016).

II. Moyens diagnostics des ténosynovites de la gaine carpienne

L'investigation d'une boiterie est le plus fréquemment accompagnée d'anesthésies diagnostiques afin de préciser l'origine de la douleur chez le cheval. Dans le cadre d'une suspicion d'atteinte de la gaine carpienne, une anesthésie intrathécale de la gaine permet de désensibiliser la gaine et ses structures intrathécales et de confirmer l'origine douloureuse. Ensuite, face à la variété des affections rencontrées dans la gaine carpienne, l'utilisation de différentes modalités d'imagerie doit être envisagée. Si, traditionnellement, la radiographie est la modalité d'imagerie de choix pour évaluer la région carpienne, cette dernière se limite essentiellement à l'évaluation des structures osseuses, et procure peu ou pas d'informations sur les lésions impliquant les tissus mous. L'échographie constitue une modalité d'imagerie rapide et accessible pour évaluer les tissus mous en face palmaire du carpe chez le cheval et présente donc un intérêt diagnostique certain et complémentaire de la radiologie. D'autres modalités d'imagerie nécessitant un équipement hospitalier spécialisé permettent d'évaluer le carpe et les structures de sa face palmaire, notamment la ténoscopie de la gaine carpienne, la scintigraphie nucléaire, la tomодensitométrie et l'imagerie par résonance magnétique. Parmi ces dernières, nous détaillerons la ténoscopie et ses voies d'abord car cette technique diagnostique est la seule à permettre une visualisation directe des structures intrathécales et présente en ce sens un réel intérêt diagnostique. Par ailleurs, l'utilisation d'un portail instrumental en plus de la poste ténoscopique permet d'utiliser la ténoscopie à des fins thérapeutiques

A. Synoviocentèse et anesthésie intrathécale de la gaine carpienne

L'anesthésie périneurale ou intrasynoviale diagnostique est un outil de choix afin de localiser la source ou région associée à une boiterie. Cette technique peut en effet être mise en place facilement sans matériel spécialisé et à moindre coût. De ce fait, lors d'une boiterie antérieure avec distension de la gaine carpienne, douleur à la flexion du carpe, et en l'absence de contre-indication d'une synoviocentèse, la boiterie devrait être investiguée avec une anesthésie intrathécale de la gaine carpienne (Figure 4). L'interprétation d'une amélioration de la boiterie devrait être réalisée dans les 10 minutes suivant l'injection intrathécale d'après Denoix, en raison de la proximité du nerf médian par rapport à la gaine et d'une possible diffusion de l'anesthésique pouvant masquer des pathologies du membre distal indépendantes de la gaine carpienne (Denoix, 1994a). Cependant, en l'absence d'étude de l'anesthésie intrathécale de la gaine carpienne sur la sensibilité du membre distal, ces recommandations sont essentiellement présomptives et à cette date il n'y a pas d'information scientifique pour le soutenir.



Figure 4 : Site pour l'anesthésie intrathécale de la gaine carpienne sur un antérieur droit (étoile). Les limites anatomiques sont le muscle extenseur latéral du doigt (crânialement), le muscle ulnaire latéral (caudalement), environ 6-8 cm proximatement à la crête transverse du radius.

1. Choix de la molécule anesthésique

Les anesthésiques locaux empêchent la transmission d'information nociceptive en bloquant l'influx d'ions sodium qui passent à travers les canaux sodium et ionophores de la membrane plasmique, et permettent ainsi la dépolarisation membranaire en transmettant le flux électrique lors de la transmission de l'information dans les neurones (Altman *et al.*, 1985).

L'efficacité des différents anesthésiques locaux est une conséquence directe de leurs liposolubilité, inhérente aux caractéristiques intrinsèques du cycle aromatique de chaque anesthésique, qui améliore leur diffusion à travers les gaines et membranes neuronales. Malgré le grand nombre de facteurs qui influencent la quantité d'anesthésique local atteignant les fibres nerveuses, un des facteurs les plus important est la proportion de molécules à l'état hydro- et liposolubles. Les anesthésiques locaux constituent des bases faibles et chacun possède une constante de dissociation (pKa) permettant d'exprimer le rapport entre la fraction ionisée et la fraction apolaire de l'anesthésique (Taylor *et al.*, 2020). Pour que la base anesthésique locale soit stable en solution, elle est formulée sous la forme d'un sel de chlorhydrate, hydrosoluble (Becker *et al.*, 2006). Seule la fraction non ionisée de l'anesthésique peut traverser les membranes phospholipidiques cellulaires par diffusion passive et ainsi agir sur sa cible, la sous-unité intracellulaire α des canaux sodiques. Par conséquent, le délai de désensibilisation est directement lié à la proportion de molécules qui se transforment en structure tertiaire liposoluble lorsqu'elles sont exposées à un pH physiologique (7,35-7,45). Cette propriété pharmacologique des anesthésiques locaux se traduit notamment dans le contexte clinique par une baisse de leur efficacité dans les tissus inflammatoires. Plusieurs théories se confrontent à ce sujet, dont une des plus retranscrite étant l'acidose tissulaire lors d'une inflammation, qui augmente la fraction ionisée des anesthésiques locaux (Wilson *et al.*, 2010). De plus, le pourcentage de fixation aux protéines

de chaque anesthésique local détermine la durée d'action, et cette dernière est réduite dans un milieu inflammatoire, notamment du fait de l'augmentation de vascularisation tissulaire.

Parmi les anesthésiques locaux communément utilisés en équine, on retrouve les chlorhydrates de lidocaïne, de mépivacaïne, de ropivacaïne et de bupivacaïne, avec les plus utilisés en pathologie locomotrice équine étant la lidocaïne chlorhydrate 2% et la mépivacaïne chlorhydrate 2% (Silva *et al.*, 2015). Il s'agit d'anesthésiques locaux d'action rapide mais qui peuvent être irritant pour les tissus adjacents. Bien que d'efficacité rapportées comme similaires (Harkins *et al.*, 1999), la mépivacaïne chlorhydrate présente une durée d'action plus longue que la lidocaïne chlorhydrate. En effet, avec un effet décrit d'environ une dizaine de minutes, la durée d'action moyenne de la mépivacaïne chlorhydrate est autour de 180 minutes, et sa durée d'action plus importante que la lidocaïne chlorhydrate peut en partie être reliée à son effet vasodilatateur moindre. Dans une étude récente sur l'anesthésie périmerveuse des nerfs digitaux palmaires, la mépivacaïne et la lidocaïne ont permis une anesthésie cutanée effective en respectivement 11 min et 10mn, et avec une durée d'action plus longue pour la mépivacaïne. La mépivacaïne a permis de supprimer la boiterie dans tous les cas 8/8 mais la lidocaïne a permis une anesthésie cutanée sans résoudre une boiterie au niveau du pied dans 5/8 cas, suggérant une reconsidération de son utilisation dans ce type d'anesthésies (Hoerdemann *et al.*, 2017). Pour ces raisons, la mépivacaïne chlorhydrate est l'anesthésique de choix en pathologie locomotrice équine.

2. Considérations techniques

L'anesthésie de la gaine carpienne peut être réalisée à l'aide d'une aiguille de 18-20 G et de 10 à 20 mL de solution de mépivacaïne 2%. Le site classique de synoviocentèse, en regard du récessus proximo-latéral de la gaine carpienne peut être utilisé. Le site de synoviocentèse est repéré par les tendons du fléchisseur latéral du doigt dorsalement, le tendon long du muscle ulnaire

latéral caudalement, à une distance d'environ 3 centimètres proximale à l'os carpal accessoire (Cauvin *et al.*, 1997a). Lorsque la gaine est ponctionnée, un bruit caractéristique de succion peut être entendu et conforte le clinicien dans le placement de l'aiguille. Tout au cours de l'injection de l'anesthésique local dans la gaine, l'absence de résistance permet de s'assurer du bon déroulement de la procédure. L'injection peut aussi être réalisée juste proximale à la face palmaire de l'os accessoire, avec l'aiguille introduite avec une orientation distale de 45 degrés. Il existe des risques de léser les artère et veine palmaires latérales avec cet abord. Après l'injection, les structures intrathécales sont progressivement désensibilisées par l'anesthésique local en une dizaine de minutes mais une diffusion hors de la gaine est aussi possible comme suggérée, mais pas investiguée, pour le suspenseur proximal par diffusion directe (Dyson, 2010) ou pour le membre distal par l'intermédiaire des nerfs palmaires médial (Denoix, 1994a) et latéral.

3. Analyse du fluide synovial

À la faveur de la synoviocentèse avant une anesthésie intrathécale ou une téno-scopie, le fluide synovial peut être recueilli et analysé macroscopiquement, en cytologie et en bactériologie selon les analyses qui sont jugées pertinentes. Selon le cas, les analyses pourront confirmer la synovite comme dans le cas d'excroissances osseuses à la face caudale du radius distal, (Altman *et al.*, 1985) identifier la présence de saignement comme dans des fractures de l'os carpal accessoire ou renseigner le clinicien sur l'atteinte de la gaine lors de suspicion de synovite septique de cette dernière.

B. Échographie de la face palmaire du carpe

L'échographie s'est démocratisée dans la pratique vétérinaire et la facilité actuelle à réaliser l'échographie, couplée à la valeur des informations qu'elle procure, en font une méthode pratique

et très informative dans un contexte clinique pour l'analyse des structures des tissus mous. Par conséquent, l'échographie a considérablement amélioré la capacité du praticien équin à établir un diagnostic et un pronostic précis pour les lésions de type tissus mous chez les chevaux présentant un gonflement à l'aspect palmaire du carpe et/ou une boiterie localisée dans la zone avec l'anesthésie diagnostique. L'échographie constitue donc une modalité d'imagerie complémentaire à la radiographie et idéale dans l'investigation de ténosynovites de la gaine carpienne ou enflure généralisée de la face palmaire du carpe. Des démarches standardisées d'échographie de la gaine carpienne ont été décrites et permettent une exploration complète des structures du canal carpien (Jorgensen *et al.*, 2010 ; Shields *et al.*, 2015). Elles procurent des repères et donnent les extensions proximales et distales de la gaine. Une de ces références fournit même des images échographiques des pathologies courantes des structures de la gaine carpienne (Jorgensen *et al.*, 2010). Malgré tout, l'examen échographique du canal carpien n'est pas sans limites, en effet la conformation du carpe, avec l'os carpal accessoire à l'aspect latéral de la gaine carpienne, réduit la fenêtre d'examen échographique. Par ailleurs, le nombre important de structures anatomiques à la face palmaire nécessitent des connaissances anatomiques précises pour une bonne évaluation échographique de la région. Notamment, le ligament accessoire du tendon fléchisseur superficiel nécessite une certaine expertise pour être échographié (Shields *et al.*, 2015). Une autre difficulté réside dans la région même car la transition musculotendineuse des principaux muscles de la face palmaire du carpe se fait à ce niveau et rend l'interprétation des images échographiques d'autant plus difficile. Enfin, malgré une amélioration technologique constante en échographie, certaines structures ne sont pas identifiables, tels que le mésotendon du fléchisseur superficiel, ou ne peuvent pas être correctement imagées comme certaines adhérences ou fibrillations, contrairement à l'examen ténoscopique (Denoix, 1994; Cauvin *et al.*, 1997).

Comme pour toute autre examen échographique, l'obtention d'images de qualité dépend grandement de la préparation de la zone échographiée et de l'expérience de l'opérateur. Pour une évaluation complète de la gaine carpienne, le membre d'intérêt devrait être tondu du tiers moyen de l'avant-bras (proximalement à la châtaigne) jusqu'à mi-canon (distalement à l'insertion de la bride carpienne sur le fléchisseur profond du doigt). Le membre doit ensuite être nettoyé à l'eau tiède et un gel de contact échographique appliqué. Pour l'échographie de la face palmaire du carpe, l'utilisation d'un coussinet acoustique est recommandée et le membre à l'étude doit être tenu en extension afin d'éviter tout artéfact du au relâchement tendineux (Denoix *et al.*, 1999).

C. Radiographie du carpe

Lors de l'évaluation de la face palmaire du carpe, la radiographie fait partie des modalités d'imagerie utilisée principalement. Plus précisément, dans le cadre d'une distension de la gaine carpienne associée ou non à une douleur lors de la flexion du carpe, le bilan radiographique doit faire partie des premières investigations du clinicien en raison d'une part considérables de ténosynovites de la gaine carpienne consécutives à des affections osseuses, du radius ou des os du carpe (Nixon *et al.*, 2004; Jorgensen *et al.*, 2010; Wright *et al.*, 2012; Minshall *et al.*, 2014). Lors de l'évaluation radiographique, les vues dorsopalmaire et latéromédiale doivent être réalisées, mais aussi les obliques dorsolatéro-palmaromédiale et dorsomédio-palmarolatérale afin d'exclure ou préciser la topographie lésionnelle lors de fracture, de l'os carpal accessoire notamment, mais aussi pouvoir déterminer la localisation exacte d'un ostéochondrome ou d'une exostose de la physe distale du radius (Nixon *et al.*, 2004). L'utilisation de contraste positif est possible bien que peu utilisée dans un cadre clinique, son application essentielle serait l'investigation de communication de la gaine lors de plaies à la face palmaire du carpe ou l'évaluation d'une communication entre

les articulations du carpe et de la gaine carpienne en cas de l'os carpal accessoire (Bonilla *et al.*, 2015).

D. Ténoscopie de la gaine carpienne

1. Indications et considérations techniques

Les différentes affections de la gaine carpienne sont parfois difficiles à mettre en évidence avec les moyens d'imagerie médicale classique que nous venons de décrire. Le recours à la ténoscopie est alors envisagé, et représente même la technique la plus sensible pour le diagnostic précis d'affections de la gaine carpienne (Zetterström *et al.*, 2017). En plus de son intérêt diagnostique, la ténoscopie présente aussi de nombreuses indications thérapeutiques (McIlwraith *et al.*, 2015). Cependant, la ténoscopie de la gaine carpienne reste une intervention chirurgicale réalisée exclusivement sous anesthésie générale avec les risques et coûts inhérents (Senior, 2013). L'essor technologique actuel et les avancées en anesthésie locorégionale rend désormais possible la réalisation d'arthroscopies debout sous sédation (Gasiorowski *et al.*, 2014; Frisbie *et al.*, 2014). En réalité, largement utilisée en santé humaine, l'arthroscope aiguille est désormais sur le marché en médecine vétérinaire et a déjà été utilisé dans le cadre arthroscopies du grasset et du boulet chez le cheval (Frisbie *et al.*, 2014; Bonilla, 2019; Kadic *et al.*, 2020a; Kadic *et al.*, 2020b). Cette utilisation pourrait aussi être utilisée dans le cadre de ténoscopie de la gaine carpienne et celle-ci est à l'étude sous sédation debout dans des cadres diagnostique ou thérapeutique mineurs.

La ténoscopie de la gaine carpienne a été décrite pour la première fois à travers un abord médiale au début des années 90 pour le retrait d'un ostéochondrome situé en face caudale du radius distal (Squire *et al.*, 1992). Plus sécuritaire que la voie d'abord médiale, la voie d'abord proximo-latérale de la gaine carpienne a été rapidement décrite par la suite et a gagné popularité (Southwood

et al., 1997; Cauvin *et al.*, 1997; Southwood *et al.*, 1998). Ce sont les voies d'abord latérales situées 2,5 à 3 cm proximale à l'os carpal accessoire et 1,5 cm distale à l'os carpal accessoire qui ont permis l'exploration la plus complète et sécuritaire de la gaine carpienne (Cauvin *et al.*, 1997; Southwood *et al.*, 1998). La voie d'abord par le récessus proximal latéral avec un portail téloscopique 6 à 8 cm proximale à la crête transverse du radius est actuellement utilisée comme technique de référence (McIlwraith *et al.*, 2015) et s'avère la plus appropriée pour une exploration de la portion proximale de la gaine carpienne. Toutefois, même si l'exploration de la portion métacarpienne de la gaine est possible, elle est rendue moins exhaustive compte tenu de l'extension distal qui oblige à manipuler un arthroscopie de 160 mm en bout de course dans cette région.

2. Exploration de la gaine

Pour permettre une bonne visualisation de la gaine carpienne et de ses récessus, la gaine est préalablement distendue avec 50 à 60 mL de Ringer lactate puis, pour l'abord par le récessus proximo-latéral, la portail téloscopique est réalisé, 6 à 8 cm proximale à la crête transverse du radius entre le tendon de l'extenseur latéral du doigt et le tendon long du muscle ulnaire latéral. Cet abord permet la visualisation directe de la face crâniale du tendon fléchisseur profond du doigt et la face caudale du radius distal (Figure). Ainsi, cette vue est la plus utile afin d'évaluer les ostéochondromes de la face caudale du radius, de même que les lésions subséquentes sur la face dorsale du fléchisseur profond du doigt. En avançant l'arthroscope plus médialement, on observe des fibres ligamentaires orientées proximo- crânialement disto- caudalement qui sont celles de la bride radiale qui passe le long de la paroi médiale de la gaine carpienne à ce niveau (Figure). Une exploration attentive de la bride radiale permet de détecter des lésions de la bride radiale dans cette position de l'arthroscope (Minshall *et al.*, 2015). En s'orientant plus proximale, l'extrémité

proximale de la gaine carpienne peut être évaluée, ainsi que la partie synoviale du chef radial du fléchisseur profond du doigt ainsi que d'éventuelles lésions de ce dernier, jusqu'à son insertion sur le corps tendineux du fléchisseur profond du doigt (Figure) (Minshall *et al.*, 2012). Une fois l'endoscope orienté distalement le relief de la crête transverse du radius crée une protrusion osseuse légère, ou plus marquée dans le cas d'une exostose de la physe (Nixon *et al.*, 2004), dans la gaine carpienne identifiable à la face caudale du radius et les récessus palmaires des articulations du carpe peuvent faire saillie à travers le ligament commun palmaire en cas de distension articulaire. De même, la face axiale de l'os carpal accessoire et d'éventuelles fractures de cette dernière peuvent être évaluées en orientant l'endoscope vers la face latérale de la gaine (Figure) (Southwood *et al.*, 1998). Si l'arthroscope est engagé plus distalement, l'exploration de la portion métacarpienne de la gaine carpienne peut être effectuée, bien que l'abord décrit ici ne constitue pas l'abord de choix pour une évaluation exhaustive de la portion métacarpienne la plus distale de la gaine (Figure) (Southwood *et al.*, 1998; McIlwraith *et al.*, 2015). L'évaluation du tendon fléchisseur superficiel du doigt n'est possible qu'en avançant l'arthroscope latéralement au tendon fléchisseur profond du doigt car l'accès médial du fléchisseur superficiel est caché par son mésotendon et les structures vasculaire et nerveuses qui le traversent (Figure_ 9) (Cauvin *et al.*, 1997a). La visualisation du tendon fléchisseur superficiel du doigt nécessite donc le contournement latéral du fléchisseur profond. L'évaluation de la face palmaire du tendon est faite en plaçant l'arthroscope entre le tendon et le rétinaculum des fléchisseurs, tandis que l'évaluation de la face dorsale se fait en même temps l'évaluation de la face palmaire du tendon fléchisseur profond du doigt en insérant l'arthroscope dans le récessus inter-tendineux dont l'ouverture, latérale, correspond à une discontinuité de quelques centimètres dans le mésotendon provenant du bord latéral du fléchisseur profond du doigt (Figure_ 10) (Southwood *et al.*, 1998).

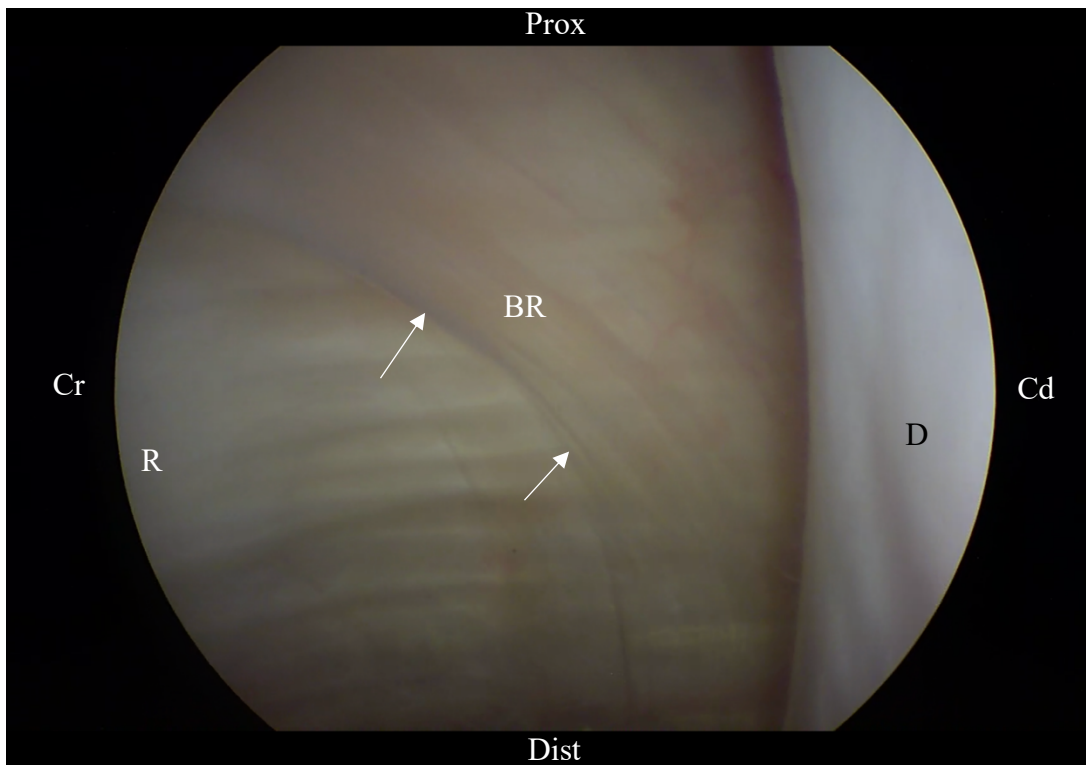


Figure 5 : Vue téloscopique de la gaine carpienne avec un portail proximo-latéral et l'arthroscope orienté médialement. Face crâniale du fléchisseur profond du doigt (D), face caudale du radius (R). Les fibres distales de la bride radiale (BR) sont orientées proximo- crânialement disto- caudalement le long de la portion la plus médiale du rétinaculum carpien des fléchisseurs vec une démarcation nette de l'orientation des fibres ligamentaires (flèches).

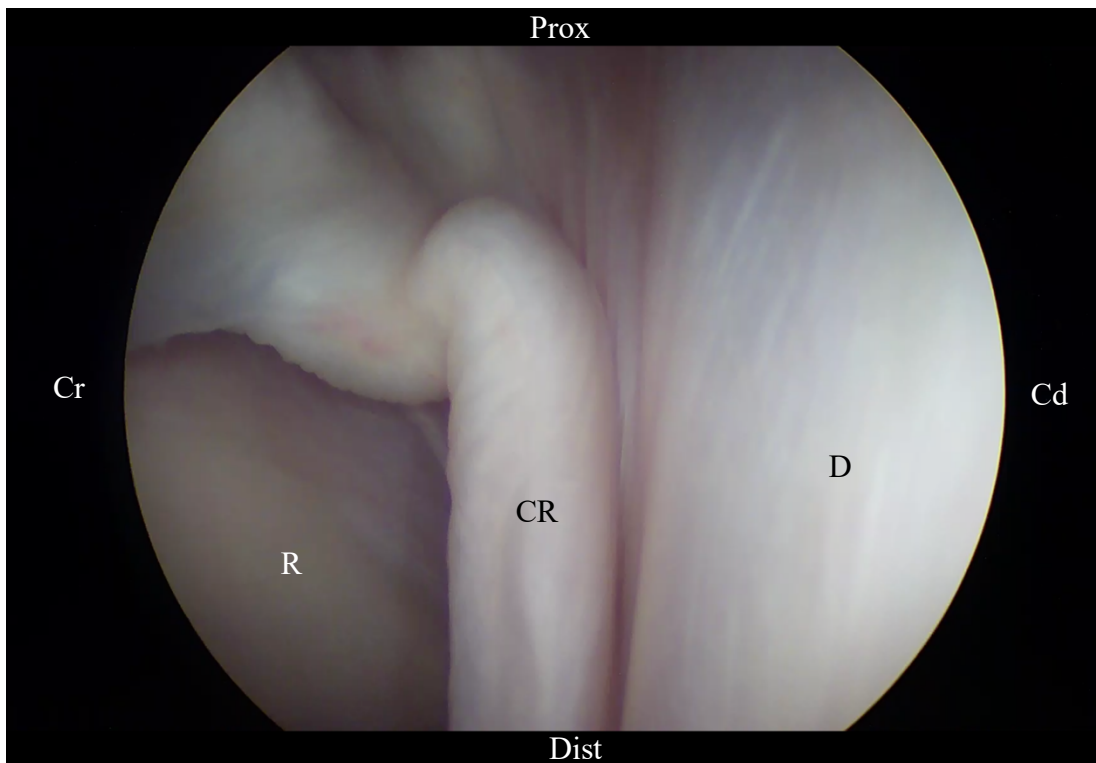


Figure 6 : Vue téloscopique de la gaine carpienne avec un portail proximo-latéral et l'arthroscope orienté proximo-médialement. Face crâniale du fléchisseur profond du doigt (D), face caudale du radius (R). La portion synoviale du chef radial (CR) du fléchisseur profond du doigt est identifiable caudalement au radius avant son insertion sur le corps principal du tendon. À noter que le chef radial du fléchisseur profond du doigt est relâché dans cette vue téloscopique *post-mortem*.

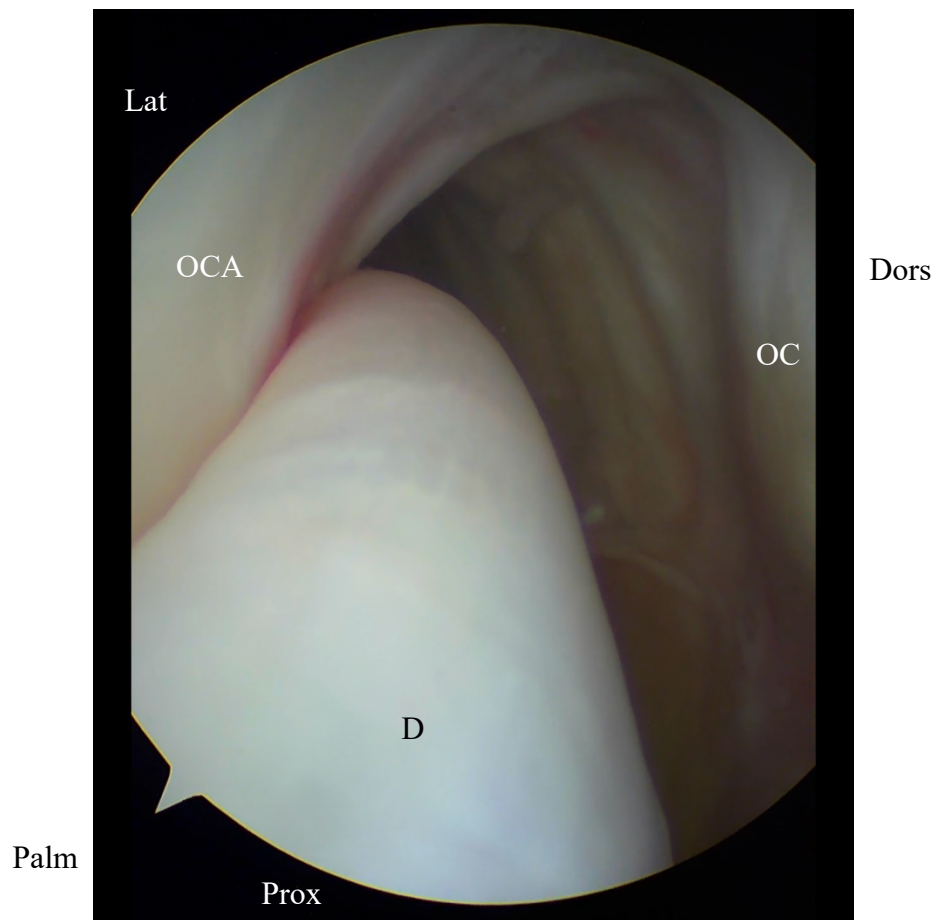


Figure 7 : Vue téloscopique de la gaine carpienne avec un portail proximo-latéral et l'arthroscope orienté disto-latéralement. Face dorso-latérale du fléchisseur profond du doigt (D), face caudale des deux rangées d'os carpiens (OC) sous le ligament commun palmaire. La face axiale de l'os carpal accessoire (OCA) ferme le canal carpien dans sa portion la plus latérale.

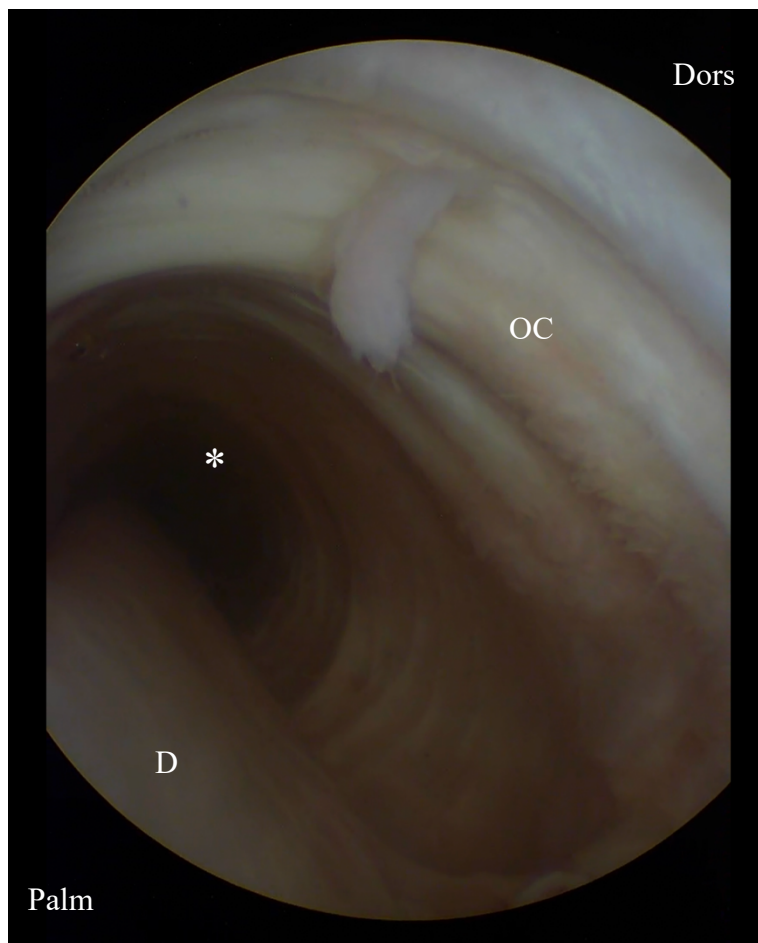


Figure 8 : Vue téloscopique de la gaine carpienne avec un portail proximo-latéral et l'arthroscope orienté distalement. Face dorsale du fléchisseur profond du doigt (D), face caudale des deux rangées d'os carpiens (OC) sous le ligament commun palmaire. Un rétrécissement de la gaine carpienne est noté dans la portion métacarpienne de la gaine (*).

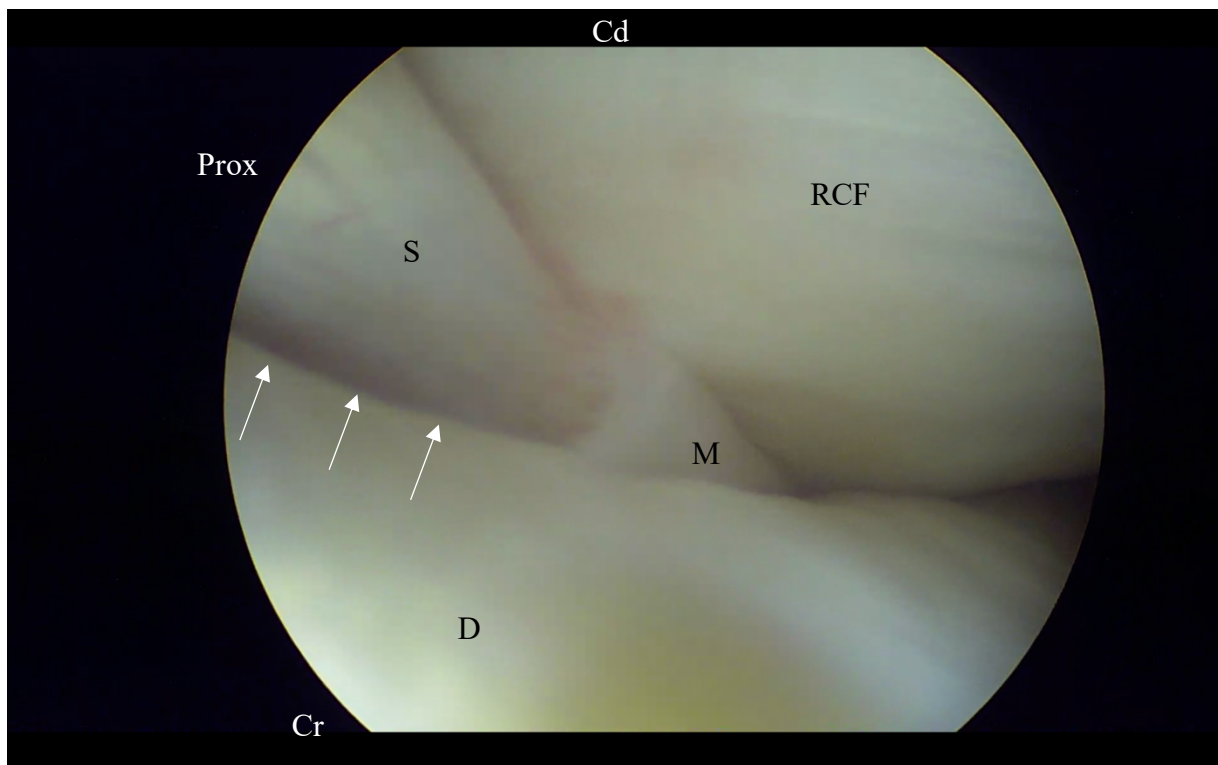


Figure 9 : Vue téloscopique de la gaine carpienne avec un portail proximo-latéral et l'arthroscope inséré latéralement au fléchisseur profond du doigt. Face latérale du fléchisseur profond du doigt (D), fléchisseur superficiel du doigt (S), rétinaculum carpien des fléchisseurs (RCF). L'ouverture dans le mésotendon des fléchisseurs (M) libère à ce niveau un accès vers le récessus intertendineux de la gaine carpienne (flèches).

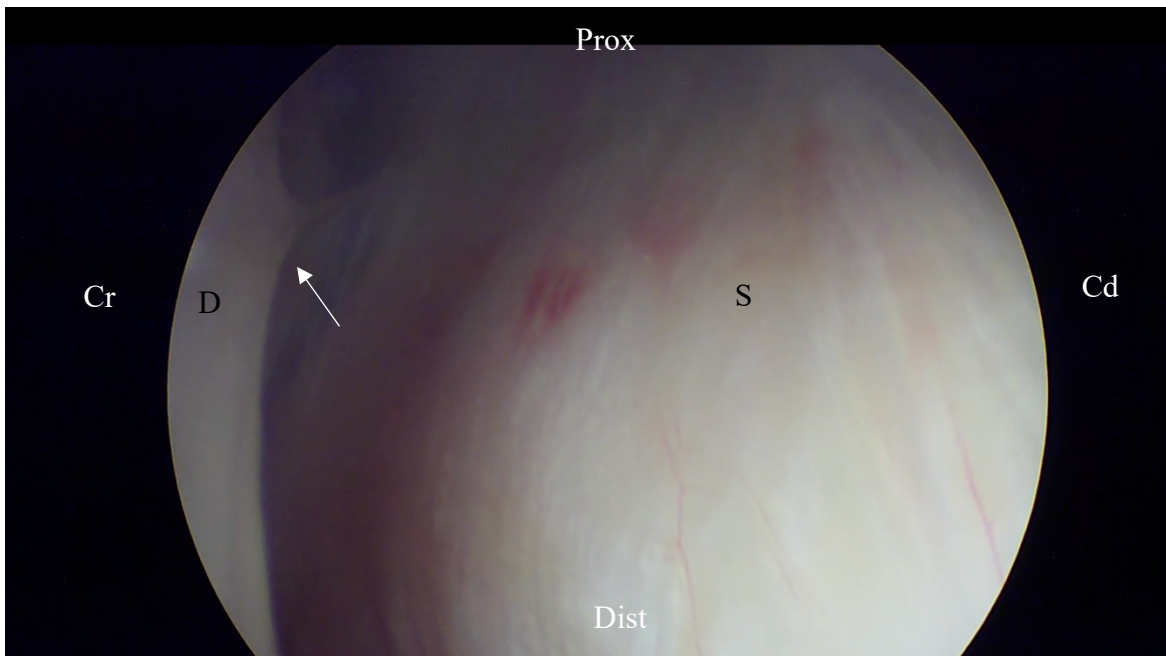


Figure 10 : Vue téloscopique de la gaine carpienne avec un portail proximo-latéral et l'arthroscope inséré dans le récessus intertendineux de la gaine. Cette vue permet l'évaluation de la face palmaire du fléchisseur profond du doigt (D) et la face dorsale du fléchisseur superficiel du doigt (S). Médialement, les deux tendons sont reliés par le mésotendon du fléchisseur superficiel et le récessus intertendineux est aveugle (flèche).

Objectifs et Hypothèses

Objectifs :

- (1) Évaluer l'effet de l'anesthésie intrathécale de la gaine carpienne sur la sensibilité du cutanée du membre antérieur distal, en particulier sur le dermatome des ramifications palmaires médiale et latérale du nerf médian, et identifier les sites possibles de désensibilisation.
- (2) Investiguer la faisabilité et la sécurité de la ténoscopie de la gaine carpienne à l'aide d'un arthroscope aiguille chez le cheval debout sous sédation, et rapporter les limitations et complications associées.

Hypothèses :

- (1) L'anesthésie intrathécale de la gaine carpienne induit une perte de sensibilité du membre antérieur distal par diffusion de l'anesthésique au niveau des nerfs palmaires médial et latéral.
- (2) L'arthroscope aiguille (1,2mm de diamètre) permet une exploration complète et sécuritaire de la gaine carpienne chez le cheval debout sous sédation.

I. Corps

Desensitization of the distal forelimb following intrathecal anesthesia of the carpal sheath in horses

Ludovic Miagkoff DMV; Alvaro G. Bonilla DMV, MSc, Diplomate ACVS

Department of Clinical Sciences,

College of Veterinary Medicine, Université de Montréal,

3200 Sicotte, St. Hyacinthe, Quebec J2S 7C6, Canada

Authorship

L. Miagkoff and A.G. Bonilla both contributed to study design, study execution, data analysis and interpretation, and preparation of the manuscript. All authors gave their final approval of the manuscript.

Source of Funding

Funding was provided by the Equine Health Fund from the Faculty of Veterinary Medicine of the Université de Montréal, supported by Zoetis.

Competing interest

The authors have declared no competing interests.

Ethical animal research

The Institutional Animal Care and Use Committee of the College of Veterinary Medicine of the Université de Montréal approved the study protocol (18-Rech-1956).

Owner informed consent

Not applicable for the *in vivo* experiment. Client-owned horses used for the cadaveric study were collected after written consent for post-mortem use of their horse for research in general.

Acknowledgements

We thank Dr. Simon Dufour for loaning the digital dynamometer and Guy Beauchamp for his help with statistical analysis and interpretation.

Summary

Background: The effect of intrathecal anaesthesia of the carpal sheath on distal forelimb sensitivity in horses is unknown.

Objectives: To assess the effect of carpal sheath anaesthesia on skin sensitivity of the distal forelimb and to determine potential locations for desensitisation of palmar nerves.

Study design: In vivo experimental and descriptive anatomical studies.

Methods: Mepivacaine hydrochloride 2% (0.6 mg/kg) was injected unilaterally in the carpal sheath of 8 horses. Mechanical nociception of the distal forelimb was measured with a dynamometer and compared to the control limb at t_0 , t_{15} , t_{30} , t_{60} , t_{90} , t_{120} and t_{180} minutes. Additionally, the carpal sheath of 10 pairs of cadaveric limbs was injected with latex and potential locations for anaesthetic diffusion to the neighbouring nerves were identified during longitudinal dissection (one limb) and in 3-cm thick transverse cuts (opposite limb).

Results: Six out of 8 horses (75%) were completely desensitised at the level of both heel bulbs. Anaesthetic injection was not smooth in the 2 horses without desensitisation. Desensitisation started between 30 and 60 minutes in 67% of desensitised heel bulbs (8/12), and 50% (6/12) of them were still completely desensitized at 180 minutes. Cadaveric specimens revealed close proximity between the sheath and the medial palmar nerve as it travels inside the mesotenon of the digital flexor tendons in the carpal region and with both palmar nerves at the proximal metacarpal region.

Main limitations: Skin mechanical nociception does not necessarily correlate with deep pain but remains the main clinical tool used by practitioners to assess distal limb anaesthesia.

Conclusions: Intrathecal anaesthesia of the carpal sheath led to distal limb skin desensitisation through diffusion to the palmar nerves at 2 possible locations. Carpal sheath anaesthesia should be

interpreted within 15 minutes following injection and anaesthetic blocks distal to the carpus should be delayed for more than 3 hours following carpal sheath anaesthesia.

Introduction

Several pathological conditions have been associated with lameness originating in the carpal sheath including caudal distal radial osteochondromata, exostoses of the caudal perimeter of the radial physis, fractures of the accessory carpal bone, tendinitis or tearing of the superficial digital flexor tendon (SDFT) and its accessory ligament or the deep digital flexor tendon (DDFT) and its radial head, sepsis, etc (Dyson et al., 1995; Hawthorn et al., 2016; Minshall et al., 2015, Minshall et al., 2012, Nixon et al., 2004, Wright et al., 2012, Bonilla et al., 2015). Intrathecal anaesthesia of the carpal sheath can be performed during lameness examination to confirm this region as the source of pain before pursuing diagnostic imaging (Bassage et al., 2010). It has been suggested but not investigated that carpal sheath anaesthesia should be interpreted within 10 minutes to prevent inadvertent anaesthetic diffusion to the medial palmar nerve as it runs within the mesotenon of the digital flexor tendons in the mid to proximal region of the carpal sheath (Denoix et al., 1994, Cauvin et al., 1997). Furthermore, the lateral and medial palmar nerves are also in close contact with the carpal sheath in the proximal metacarpal region, representing another region where anaesthetic diffusion may occur (Cauvin et al., 1997). To date, there are no studies investigating the consequences of carpal sheath anaesthesia in the desensitisation of the distal limb via anaesthetic diffusion to the palmar nerves. This information is important for equine practitioners and may alter the diagnostic approach when performing lameness examination in horses with suspected carpal sheath pathology.

Our objective was to assess the effect of intrathecal anaesthesia of the carpal sheath on skin sensitivity of the distal forelimb, especially on the areas innervated by the lateral and medial palmar nerves, branches of the median nerve. In addition, an anatomical study was carried out to determine

the potential locations for desensitisation of palmar nerves in cadaveric specimens. We hypothesized that carpal sheath anaesthesia would induce loss of skin sensitivity of the distal limb due to anaesthetic diffusion to both palmar nerves at different anatomical locations.

Material and Methods

In vivo study

Eight mares from the teaching herd of the College of Veterinary Medicine of the Université de Montréal were included. Before the study, all horses were evaluated to rule out carpal sheath effusion and forelimb lameness.

Carpal sheath anaesthesia was achieved on each horse by aseptically injecting 0.6mg/kg BW of 2% mepivacaine hydrochloride (Carbocaine)^a with an 18-gauge, 1.5-in needle in the proximo-lateral recess. Carpal sheath anaesthesia was performed in one thoracic limb randomly selected in each of 8 horses (a total of 4 right forelimbs and 4 left forelimbs were injected) at one single time point. Briefly, the injection was performed 3cm proximal to the distal radius physal scar, between the lateral digital extensor and the *ulnaris lateralis* tendons, while the limb was partially flexed (approx. 20-30°). Successful intrathecal needle placement and injection was determined by listening to the characteristic suction noise upon sheath penetration and lack of injection resistance during anaesthetic delivery. After injection, the limbs were flexed and extended 3 times for anaesthetic distribution.

Mechanical nociception of the forelimbs from mid-metacarpus to the heel bulbs was measured with a dynamometer (FDX 50)^b at 5 selected locations to determine skin nociception in the dermatomes of the median and ulnar nerves and their branches (Blythe et al., 1982). Measurement were performed on the limb which received the carpal sheath anaesthesia (named intrathecal anaesthesia) but also in the contralateral limb (named contemporaneous control and not anaesthetized), and in one randomly selected forelimb between 24-48 hours before the experiment (named historical control). This was performed to ensure the lack of an adaptation effect and to validate the technique and device for measuring mechanical nociceptive threshold (MNT) in horses. The selected locations were: lateral heel bulb, medial heel bulb, dorsal mid-canon,

palmarolateral mid-canon and palmaromedial mid-canon. In all instances, a single operator who was different from the operator who performed carpal sheath anaesthesia, registered MNT in Newtons (N) by applying progressive skin pressure with a 3-mm blunt probe until the horse withdrew or moved the limb while restrained in standing stocks (Figure 9). At that point, the peak MNT value was displayed by the device and recorded. During each measurement, the ipsilateral eye was covered to prevent limb movement associated with visualization of the operator beside the limb. Three measurements per location at each of 7 time points (t_0 or immediately before carpal sheath anaesthesia, t_{15mn} , t_{30mn} , t_{60mn} , t_{90mn} , t_{120mn} and t_{180mn}) were performed in the following order: lateral heel bulb, medial heel bulb, dorsal mid-canon, palmarolateral mid-canon and palmaromedial mid-canon. In addition, the first limb to be tested at t_0 (intrathecal anaesthesia or contemporaneous control) was randomly selected and was alternated for the following time points (i.e: for a given limb the testing sequence was: first for t_0 , second for t_{15} , first for t_{30} , second for t_{60} , etc).

To prevent skin trauma while probing with the dynamometer, the maximal force applied was 160N. This force was frequently the maximum force that the operator could physically apply with the device. Also, a score of 10N was given for horses that moved immediately after the probe contacted their skin. Presence of complete loss of sensitivity was determined when the mechanical nociception was absent at 160N. Partial sensitivity was determined when mechanical nociception was seen at values at least 2 times the mean t_0 value recorded for that limb.

Cadaveric study

Paired cadaveric forelimbs (n=10 pairs) from horses euthanized for reasons unrelated to carpal sheath pathology were collected at the level of the elbow. Next, the carpal sheath was injected with approximately 60mL of latex (DynaFlex 230)^c through the proximolateral recess via a 3-mm stab incision, followed by a light pressure bandage to minimize latex leakage. Limbs were

then frozen in extension at -20°C until latex was cured (approximately 3 weeks). From each pair, one limb was used to perform transverse sections while the other limb was used for neuroanatomical longitudinal dissection.

For the transverse section limbs, 3-cm thick transverse cuts were performed starting at the proximal edge of the chestnut and finishing at the end of the sheath at the mid metacarpal region while the limbs were still frozen. After sectioning the limbs, the median nerve, medial and lateral palmar nerves and the palmar branch of the ulnar nerve were identified and labelled with methylene blue on the proximal (top) and distal (bottom) sides of each cut. The distance between the nerves of interest and the carpal sheath wall (latex) was subjectively assessed to determine regions susceptible to anaesthetic diffusion. Last, each section was thawed and correct labeling of the previously marked nerves was investigated by dissecting the marked nerves within the 3-cm section.

A longitudinal neuroanatomical dissection of the aforementioned nerves was performed from mid radius to distal metacarpus in the contralateral limb in order to confirm the already reported neuroanatomy and to identify neuroanatomical variations and locations where the palmar nerves and the carpal sheath were in close proximity (Cauvin et al., 2012). The carpal sheath was then opened to investigate specific areas susceptible to anaesthetic accumulation and/or diffusion, such as the intertendinous synovial recess between the DDFT and SDFT at the level of the distal radius. Also, the length of the intertendinous recess opening at the level of distal radius and the depth of the distal cul-de-sac of this recess was measured. Last, latex accumulated in the distal segment of the carpal sheath (from the region where the palmar nerves end their contact with the sheath in the proximal metacarpus to the distal extent of the sheath) was removed and the volume was measured to determine if residual accumulation of anaesthetic in the distal aspect of the sheath could be a source of diffusion to the palmar nerves (Figure 10).

Data analysis

In all models, the mean MNT obtained after the three measurements per location was the primary variable of interest. Statistical analysis was performed for the intrathecal anesthesia limb and for the contemporaneous and historical control limbs. All data were analyzed using a statistical software (SAS v9.4)^d and statistical significance was set at $p \leq 0.05$.

For the intrathecal anesthesia limb, a mixed linear model was used to determine the effect of carpal sheath intrathecal anaesthesia on each tested location. In this model, the horse was selected as a random effect and the following factors as fixed within-subject effects: limb (intrathecal anaesthesia *versus* contemporaneous control) and time (t_0 - t_{180mn}). When the main effects were significant, we performed a priori comparisons (i.e.: comparisons planned before the sample means are known) to compare pairs of means. Specifically, we compared the mean for the intrathecal anaesthesia and contemporaneous control limbs at each time and then we compared the mean at t_0 with the mean at each other time for the intrathecal anaesthesia and contemporaneous control limbs. For these comparisons, we adjusted the α value downward for each comparison with the Benjamini-Hochberg sequential method.

Effect of repeated measures was also studied with contemporaneous and historical controls limbs, and the same type of mixed linear models were used with the horse as a random effect and the following fixed within-subject effects: location (lateral heel bulb, medial heel bulb, dorsal mid-canon, palmarolateral mid-canon and palmaromedial mid-canon), day (contemporaneous control *versus* historical controls) and time (t_0 - t_{180mn}), along with their interactions. A priori comparisons were used to compare the mean between days at each site and to compare the mean between sites on each day.

Results

In vivo study

Mean age for horses included in the study was 13.3 years old (10 to 19 years old), mean weight was 535kg (438 to 600kg), and breeds included were 7 standardbred and 1 paint horse.

MNTs were assessed for each series of measurements (historical control, intrathecal anaesthesia and contemporaneous control) with 3 dynamometric measurements on 5 different anatomical locations and 7 time points (t_0 - t_{180mn}) giving a total of 315 measurements per horse. The ease of carpal sheath injection was rated as excellent for 6 horses and medium to good for 2 horses. In those 2 horses, the first few milliliters of anaesthetic were delivered uneventfully, but then a slight resistance was felt after the horses moved. At the end of the injection, mild subcutaneous fluid accumulation was noted. The characteristic suction noise after needle penetration of the sheath was audible in all horses.

On the intrathecal anaesthesia limb, complete (mean maximal force recorded of 160N) desensitisation of both heel bulbs was obtained in 6/8 horses while no desensitisation was found in the 2 animals where the ease of carpal sheath injection was not rated as excellent. Complete desensitisation was directly obtained in 8/12 desensitised heel bulbs (4 horses) between 60 and 90 minutes and lasted between 120 and at least 180 minutes. Partial desensitization (at least 2 times the mean t_0 value recorded for that limb), before achieving complete desensitisation, was detected in 4/12 additional heel bulbs (2 horses) between 30 and 60 minutes. Overall, heel bulb desensitisation was still present at 180 minutes in 6/12 desensitised heel bulbs. Mean values and standard deviation of MNT for the lateral and medial heel bulbs are represented in Graphs 1 and 2, respectively.

On the intrathecal anaesthesia limb, average MNT for the lateral heel bulb was significantly higher at t_{60mn} (absolute effect size (AES) = 61.7 N, $p < 0.001$), t_{90mn} (AES = 97.3 N, $p < 0.001$),

t_{120mn} (AES = 92.5 N, $p < 0.001$) and t_{180mn} (AES = 45.3 N, $p = 0.0016$) when compared to t_0 . Also, the MNT measured on the lateral heel bulb compared to the contralateral control was significantly higher at t_{60mn} (AES = 59.3 N, $p < 0.001$), t_{90mn} (AES = 96.8 N, $p < 0.001$) and t_{120mn} (AES = 93.9 N, $p < 0.001$) but not at t_{180} (AES = 48.6 N, $p = 0.0043$; not significant after adjustment of α threshold). Mean MNT at t_{15} and t_{30} were not statistically significant compared to t_0 (AES = 4.9 N and AES = 19.6 N respectively, $p > 0.05$) or to the contemporaneous control at t_0 , t_{15} and t_{30} (AES = 0.4 N, AES = 4.8 N and AES = 18.9 N respectively, $p > 0.05$). On the contemporaneous control limb, there was no significant difference for the mean MNT over time (AES \leq 3.7 N, $p > 0.05$) when compared to t_0 .

A significant increase of the mean MNT for the medial heel bulb of the intrathecal anaesthesia limb was seen at t_{60mn} (AES = 72.4 N, $p < 0.001$), t_{90mn} (AES = 95.0 N, $p < 0.001$), t_{120mn} (AES = 95.3 N, $p < 0.001$) et t_{180mn} (AES = 65.7 N, $p < 0.001$) when compared to t_0 . There was also a significant increase of the mean MNT measured on the medial heel bulb compared to the contemporaneous control at t_{30} (AES = 36.4 N, $p = 0.05$) t_{60mn} (AES = 73.5 N, $p < 0.001$), t_{90mn} (AES = 98.4 N, $p < 0.001$), t_{120mn} (AES = 95.2 N, $p < 0.001$) and t_{180mn} (AES = 72.8 N, $p < 0.001$). Mean MNT at t_{15} and t_{30} were not statistically significant compared to t_0 (AES = 0.5 N and AES = 34 N, $p \geq 0.03$; not significant after adjustment of α threshold) or to the contemporaneous control at t_0 and t_{15} (AES = 3.7 N and AES = 0.1 N respectively, $p > 0.05$). On the contemporaneous control limb, there was no significant difference for the mean MNT over time (AES \leq 3.9 N, $p > 0.05$) compared to t_0 .

For the intrathecal anaesthesia limbs, no significant differences were seen over time ($p > 0.05$) or when compared to the contemporaneous control ($p > 0.05$) for the dorsal mid-canon (AES

≤ 5.4 N), palmarolateral mid-canon (AES ≤ 10.3 N) and palmaromedial mid-canon (AES ≤ 21 N) locations.

Mean MNT differences and their 95% confidence intervals of each location tested for every comparison made are available in Graph 3 for the intrathecal anaesthesia and contemporaneous control limbs of all horses. Furthermore, the statistical analysis comparing the historical and contemporaneous control did not reveal any significant differences in mean MNT differences for each day (AES ≤ 10.6 N, $p > 0.05$) or for each tested location in both control groups (AES ≤ 15.3 N, $p > 0.05$) over time. The measurements were consistent over time and validated the use of the dynamometer for this study.

Cadaveric study

Mean age for cadaveric specimens included was 11 years old (5 to 20 years old), and breeds included were 4 Quarter horses, 3 Warmbloods, 1 Trakehner, 1 Holsteiner and 1 Andalusian. The median nerve was correctly identified in all limbs, both in transverse sections and longitudinal dissections. Branching of the median nerve into the palmar nerves was proximal to the carpal sheath in all limbs (10/10) in longitudinal dissection and could not be reliably determined in transverse cuts due to inherent limitations of the technique. The medial location of the median nerve, in addition to the lesser proximal extension of the carpal sheath on the medial side of the limb, ensured the extrathecal location of the median nerve (Figure 11A and B). The palmar nerves were also correctly identified in all limbs but 1 (19/20). In this transverse section limb, the palmar nerves were mistaken by the median nerve right where the palmar nerves were still adjacent to each other after branching off the median nerve. However, they were correctly identified in the remaining transverse cuts of that limb.

In all specimens, the medial palmar nerve crossed the carpal canal within the mesotenon of the digital flexor tendons and therefore in close contact with the sheath (Figure 11D to F). An anatomical variation was observed in transverse sections. In most limbs (9/10) the median artery was caudal to the medial palmar nerve within the mesotenon. In the remaining specimen, this position was interchanged. We also identified, especially in longitudinal dissections, that the medial palmar nerve runs in direct contact with the sheath wall on the palmaro-medial aspect of the proximal third of the metacarpus.

The lateral palmar nerve clearly ran outside the carpal sheath at the level of the radius and inside the carpal retinaculum further distally. From the anastomosis of the palmar branch of the ulnar nerve and the lateral palmar nerve at the level of the accessory carpal bone (Figure 10, Figure 11E and F) until the end of the proximal third of the metacarpus, the lateral palmar nerve runs beside the sheath similarly as described for the medial palmar nerve.

Carpal sheath dissection on longitudinal specimens allowed us to evaluate the length of the intertendinous recess opening at the level of distal radius ($6.4\pm 0.9\text{cm}$) and the depth of the distal cul-de-sac of this recess ($6.7\pm 2.2\text{cm}$). Last, latex volume accumulated in the distal part of the carpal sheath was only $3.9\pm 1.6\text{mL}$.

Discussion

Intrasynovial anaesthesia is commonly performed during lameness investigations and knowledge of secondary or undesired effects is crucial to accurately interpret the response to local anaesthesia. Recent literature has identified distal limb desensitisation after performing local anaesthesia of the digital flexor tendon sheath or the stifle compartments but information after carpal sheath anaesthesia is lacking (Jordana et al., 2014; Radtke et al., 2019). Jordana et al reported complete heel bulb desensitisation after injecting the digital flexor tendon sheath in 31% of the limbs investigated between 30 and 120 minutes (Jordana et al., 2014). In addition, intraarticular anaesthesia of the stifle joint compartments produced up to 50% improvement in 3/9 horses with foot-induced lameness by 30 minutes (Radtke et al., 2019). Our study demonstrates that intrathecal anaesthesia of the carpal sheath with 2% mepivacaine hydrochloride can induce inadvertent distal limb desensitisation.

The results from this study highlight that only skin areas specific to the dermatome of the median nerve and its branches, the lateral and medial palmar nerves, had a MNT > 160 N which clinically indicates skin desensitization of the heel bulbs. Moreover, the presence of the median nerve proximal to the carpal sheath in all dissected specimens suggests that both palmar nerves rather than the median nerve were independently desensitized. The reason why the lateral heel bulb recovered skin sensation faster than the medial heel bulb (4/6 vs 2/6) is unknown and it may be associated with individual variations or diffusion patterns. Lastly, the lower MNT values observed in the other tested locations (dorsal mid-canon and palmarolateral and palmaromedial mid-canon) indicated that these regions were not desensitized following carpal sheath anaesthesia.

Inadvertent desensitisation of nerves can occur through direct or indirect diffusion of local anaesthetic but also associated with anaesthetic leakage at the level of synoviocentesis (Jordana et al., 2014). It has been suggested that the presence of the medial palmar nerve within the mesotenon

of the flexor digital tendons could make this nerve susceptible to inadvertent desensitisation *via* diffusion and therefore, carpal sheath anaesthesia should be evaluated quickly after performing it (Denoix et al.,1994). Nevertheless, this hypothesis has not been investigated previously and the time needed for medial palmar nerve desensitisation was unknown. We identified that the intertendinous recess is open for approximately 6 cm on the lateral side and has a blind distal cul-de-sac of around 7 cm. Hence, local anaesthetic could directly diffuse to the medial palmar nerve at this level while it runs within the mesotenon of the digital flexor tendons. Unfortunately, latex density is higher than synovial fluid and aqueous anaesthetic solution and prevented it from entering the tight intertendinous recess while the latex was curing in extended limbs. Regardless, results from our cadaveric study confirmed that the medial palmar nerve could also be desensitised by diffusion at a second location. The medial palmar nerve lies beside the sheath wall for several centimeters at the proximal third of the metacarpal region. The proximal third of the metacarpus is also the most plausible location for anaesthetic diffusion to the lateral palmar nerve due to its proximity to the sheath. In this region, anaesthetic diffusion to both palmar nerves could occur directly or secondarily to anaesthetic accumulated in the distal sheath while the horse is standing. Our study demonstrated that only $3.9\pm 1.6\text{mL}$ was needed to fill the distal aspect of the sheath and reach the region where the palmar nerves lie in contact with the sheath. This amount is significantly lower than the 15 ml traditionally used by practitioners to anaesthetize this synovial structure (Bassage et al., 2010). Last, distal limb desensitisation associated with anaesthetic leakage is unlikely given the remote location of the palmar nerves with regards to the synoviocentesis site. Yet, the dorsal branch of the ulnar nerve which innervates the dorsolateral skin of the carpus and metacarpus runs just distal to the site of synoviocentesis and could have been desensitised. However, no significant desensitisation of the dorsal mid-canon or palmarolateral mid-canon was seen during the study.

With regards to timing of desensitisation, the lateral and medial heel bulbs were significantly desensitised between 60 and 180 minutes when compared to t_0 in the intrathecal anaesthesia limb. Partial desensitisation was detected in 3/12 heel bulbs starting at 30 minutes. Thus, equine practitioners should be careful when interpreting carpal sheath anaesthesia results after 15 minutes (partial desensitisation started between t_{15} and t_{30}) as lameness originating on the distal limb may be abolished and lead to misinterpretations. Furthermore, it is also plausible that lameness originating from the fetlock to mid metacarpal region could also be eliminated after carpal sheath anaesthesia. We tested MNT as a surrogate of skin sensation for the dermatomes of the median and ulnar nerves for practical reasons but we theorize that the palmar nerves are desensitised at or above the proximal third of the metacarpus and therefore, lameness originating distal to this region could be abolished.

Despite significant desensitisation of both heel bulbs in most horses (6/8), 2 horses did not experience any loss of skin sensitivity after intrathecal anaesthesia of the carpal sheath. This could be associated to significant neurovascular variations which we did not recognize during our cadaveric study or to unsuccessful anaesthetic delivery. Based on the consistent desensitization response of the other 6 horses, we theorize that the anaesthetic solution was partially delivered extrasynovially in the two unresponsive horses and the amount of anaesthetic present intrathecally was insufficient to provide anaesthetic diffusion to the palmar nerves. We relied on operator experience and the characteristic suction noise to confirm successful intrathecal needle positioning. Nevertheless, horse movement after initial needle placement likely affected appropriate anesthetic delivery in these 2 horses. This pitfall could have been prevented by adding contrast material to the injected solution and obtaining an x-ray after injection to confirm successful intrathecal delivery. Also, the presence of contrast material could have helped to confirm the accumulation of the

injected solution in the distal aspect of the carpal sheath or the intertendinous recess where anaesthetic diffusion to the palmar nerves is suspected.

Our model had other limitations. We only assessed the effect of a noxious mechanical stimuli on the skin but noxious stimuli can also be thermal and chemical in nature and be subject to separate genetic control and transduction (Woolf et al., 2007). It has also been shown that the onset and duration of action of mepivacaine differ when skin sensation and lameness abolishment are considered after a palmar digital perineural block in a lameness-induced model (Hoerdemann et al., 2017; Fowler et al., 2018). Loss of skin sensitivity appears and ends sooner (mean of 25 and 171 minutes, respectively) than lameness resolution and similar results could be suspected when diffusion of local anaesthetic to the palmar nerves occur after carpal sheath anaesthesia (Hoerdemann et al., 2017). Although this information is very relevant and suggests that skin sensitivity does not correlate with deep pain, we decided to only test skin sensation as skin probing is commonly used by equine practitioners as an indicator of accurate nerve desensitisation. Lastly, the study was performed in healthy animals without carpal sheath distention and/or pathology and results may change in affected individuals. Nevertheless, it is reasonable to anticipate that the anaesthetic solution will be mixed with synovial fluid in affected horses and a similar desensitisation pattern could be seen.

In conclusion, the current study confirms that inadvertent distal limb desensitisation occurs after intrathecal anaesthesia of the carpal sheath. Heel bulb desensitisation starts between 30 and 60 minutes in most cases (8/12) but could be missed in the period between t_{15} and t_{30} in some horses. Hence, it is advisable that intrathecal anaesthesia of the carpal sheath is interpreted quickly (15 minutes or less) following injection. Recovery of heel bulb sensitivity did not follow a consistent pattern and 6/12 heel bulbs were still desensitised at 180 minutes. Therefore, it would be prudent to wait for more than 3 hours after carpal sheath anaesthesia before performing perineural or

synovial anaesthesia distal to the carpus if the recommended approach of performing lower limb anaesthesia before moving proximally on the limb has been skipped.

Manufacturers' addresses

^a Carbocaine 2%, Pfizer Inc., Kirkland, QC, Canada

^b FDX 50 digital force gage, Wagner instruments, Greenwich, CT, USA

^c Dynaflex 230, DAP, Scarborough, ON, Canada

^d SAS v9.4, SAS Institute, Cary, NC, USA

II. Figures



Figure 11: Image depicting the use of the dynamometer to record the mechanical nociceptive threshold at the lateral heel bulb of a right forelimb. The number displayed represents the force applied by the operator in Newtons.

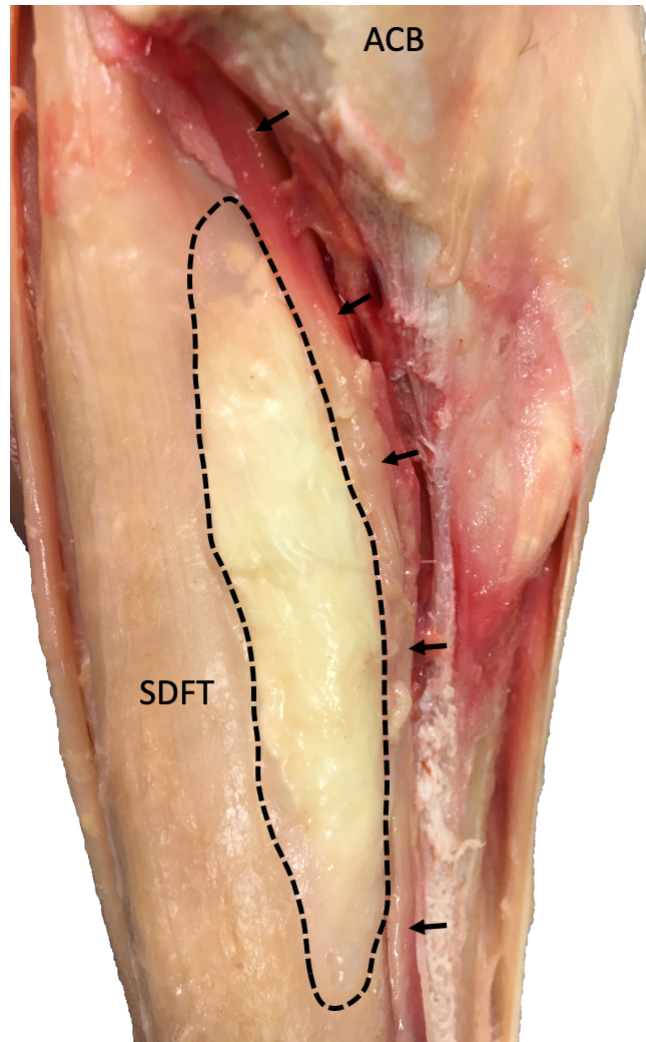
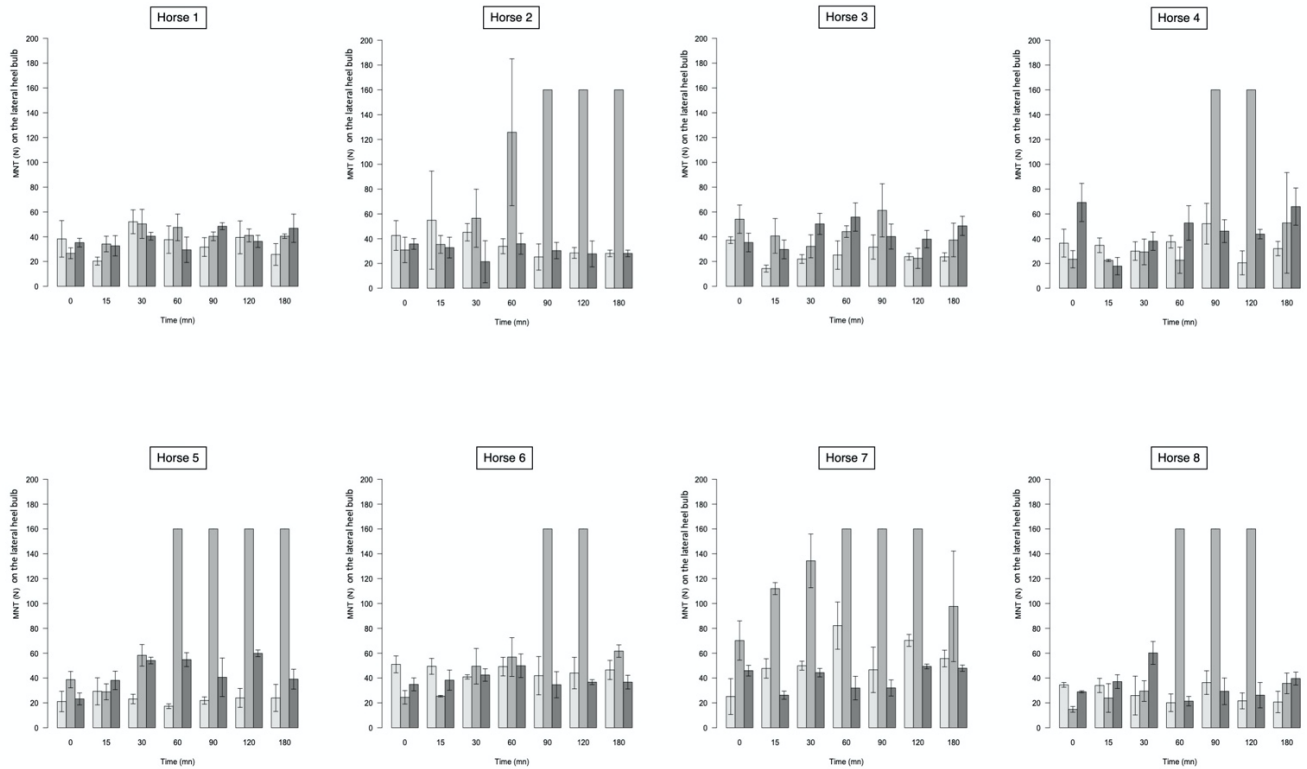
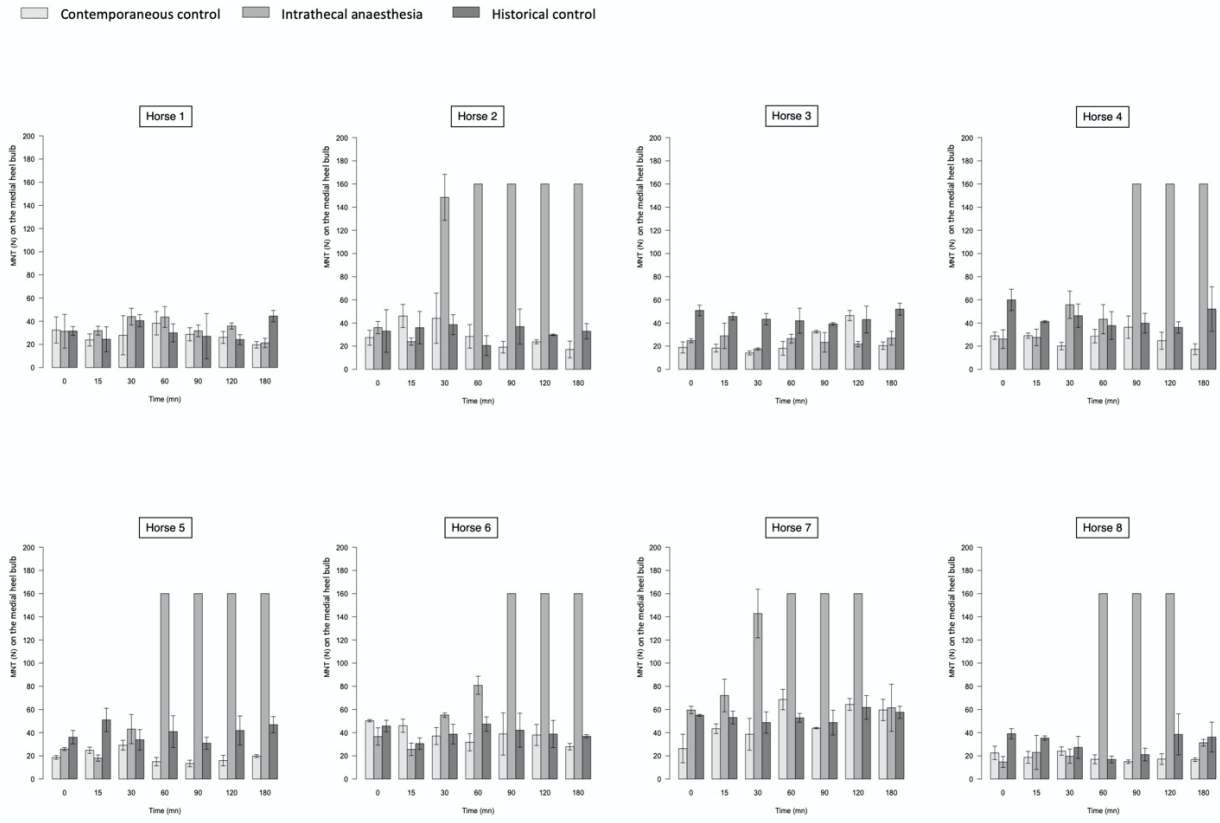


Figure 12: Image depicting the palmarolateral aspect of the proximal metacarpal region in the right forelimb of a horse where the carpal sheath has been injected with white latex and the skin and carpal flexor retinaculum has been removed. Black arrows highlight the course of the lateral palmar nerve distal to the accessory carpal bone (ACB). At this level, the lateral palmar nerve is in close contact with the carpal sheath (black dotted circle) until the sheath tapers distally between the superficial digital flexor tendon (SDFT) and deep digital flexor tendon. A similar finding was seen for the medial palmar nerve.

Contemporaneous control
 Intrathecal anaesthesia
 Historical control



Graph 1: Graphics illustrating the mean (bars) and standard deviation of the mean (error bars) for the mechanical nociceptive threshold (MNT) (y-axis. 0-200 newtons (N)) measured over time (x-axis. 0-180 minutes (min)) on the lateral heel bulb of each horse for the contemporaneous control limb, intrathecal anaesthesia limb and historical control limb.



Graph 2: Graphics illustrating the mean (bars) and standard deviation of the mean (error bars) for the mechanical nociceptive threshold (MNT) (y-axis. 0-200 newtons (N)) measured over time (x-axis. 0-180 minutes (min)) on the medial heel bulb of each horse for the contemporaneous control limb, intrathecal anaesthesia limb and historical control limb.

		Compared limbs	Time point	Mean MNT difference (N) and 95% CI	P value
Lateral heel bulb	tx intrathecal anaesthesia vs. to intrathecal anaesthesia		x = 15 mn	4.9 [-22.1, 31.9]	0.71
			30 mn	19.6 [-7.4, 46.6]	0.15
			60 mn	61.7 [34.7, 88.7]	<0.001
			90 mn	97.3 [70.3, 124.3]	<0.001
			120 mn	92.5 [65.5, 119.5]	<0.001
			180 mn	45.3 [18.3, 72.3]	0.0016
	tx intrathecal anaesthesia vs. tx contemporaneous control		x = 0 mn	-0.4 [-32.9, 32.1]	>0.9
			15 mn	4.8 [-27.7, 37.3]	0.77
			30 mn	18.9 [-13.6, 51.4]	0.25
			60 mn	59.3 [26.8, 91.7]	<0.001
			90 mn	96.8 [64.3, 129.3]	<0.001
			180 mn	93.9 [61.4, 126.4]	<0.001
tx contemporaneous control vs. to contemporaneous control		x = 15 mn	-0.2 [-27.2, 26.8]		
		30 mn	0.3 [-26.7, 27.3]		
		60 mn	2.1 [-24.9, 29.1]		
		90 mn	0.1 [-26.9, 27.1]	p > 0.05	
		120 mn	-1.8 [-28.8, 25.2]		
		180 mn	-3.7 [-30.7, 23.3]		
Medial heel bulb	tx intrathecal anaesthesia vs. to intrathecal anaesthesia		x = 15 mn	-0.5 [-30.1, 29.1]	>0.9
			30 mn	34 [4.3, 63.6]	0.03*
			60 mn	72.4 [42.8, 102.1]	<0.001
			90 mn	95 [65.4, 124.6]	<0.001
			120 mn	95.3 [65.7, 125.0]	<0.001
			180 mn	65.7 [36.1, 95.4]	<0.001
	tx intrathecal anaesthesia vs. tx contemporaneous control		x = 0 mn	3.7 [-32.7, 40.1]	0.84
			15 mn	0.1 [-36.3, 36.5]	>0.9
			30 mn	36.4 [0, 72.9]	0.05
			60 mn	73.5 [37.1, 110]	<0.001
			90 mn	98.4 [61.9, 134.8]	<0.001
			180 mn	95.2 [58.7, 131.6]	<0.001
tx contemporaneous control vs. to contemporaneous control		x = 15 mn	3.1 [-26.5, 32.7]		
		30 mn	1.2 [-28.4, 30.9]		
		60 mn	2.6 [-27.1, 32.2]		
		90 mn	0.3 [-29.3, 30.0]	p > 0.05	
		120 mn	3.9 [-25.8, 33.5]		
		180 mn	-3.4 [-33, 26.3]		
Dorsal mid-canon	tx intrathecal anaesthesia vs. to intrathecal anaesthesia		x = 15 mn	5.3 [-31.5, 42.1]	
			30 mn	0.3 [-33.9, 34.5]	
			60 mn	4.6 [-31.8, 41.0]	p > 0.05
			90 mn	1 [-33.6, 35.6]	
			120 mn	-1.3 [-35.3, 32.7]	
			180 mn	-0.2 [-34.2, 33.8]	
	tx intrathecal anaesthesia vs. tx contemporaneous control		x = 0 mn	-4.3 [-40.6, 32.0]	
			15 mn	-1.8 [-42.0, 38.4]	
			30 mn	-1.3 [-36.3, 33.7]	
			60 mn	2.9 [-34.3, 40.1]	p > 0.05
			90 mn	-2.7 [-39.1, 33.7]	
			180 mn	5.1 [-26.3, 36.5]	
tx contemporaneous control vs. to contemporaneous control		x = 15 mn	2.8 [-36.9, 42.5]		
		30 mn	-2.7 [-39.7, 34.3]		
		60 mn	-2.6 [-39.7, 34.5]	p > 0.05	
		90 mn	-0.6 [-38.6, 37.4]		
		120 mn	-9.7 [-43.6, 24.2]		
		180 mn	0.9 [-37.9, 39.7]		
palmarolateral mid-canon	tx intrathecal anaesthesia vs. to intrathecal anaesthesia		x = 15 mn	2.7 [-21.4, 26.8]	
			30 mn	1.9 [-21.9, 25.6]	
			60 mn	9.4 [-18.3, 37.1]	p > 0.05
			90 mn	9.3 [-18.4, 37.0]	
			120 mn	10.3 [-17.9, 38.5]	
			180 mn	6.3 [-19.7, 32.3]	
	tx intrathecal anaesthesia vs. tx contemporaneous control		x = 0 mn	-3.1 [-27.4, 21.2]	
			15 mn	2.6 [-21.5, 26.7]	
			30 mn	1.7 [-22.1, 25.5]	
			60 mn	7.6 [-20.9, 36.1]	p > 0.05
			90 mn	9.8 [-17.7, 37.3]	
			180 mn	8.2 [-20.9, 37.3]	
tx contemporaneous control vs. to contemporaneous control		x = 15 mn	-3 [-27.3, 21.3]		
		30 mn	-2.9 [-27.3, 21.5]		
		60 mn	-1.3 [-26.4, 23.8]		
		90 mn	-3.6 [-27.7, 20.5]	p > 0.05	
		120 mn	-1 [-26.3, 24.3]		
		180 mn	-3.2 [-27.5, 21.1]		
palmaromedial mid-canon	tx intrathecal anaesthesia vs. to intrathecal anaesthesia		x = 15 mn	2.5 [-21.9, 26.9]	
			30 mn	14.1 [-16.7, 45.0]	
			60 mn	18.5 [-14.9, 51.9]	p > 0.05
			90 mn	12.6 [-17.3, 42.5]	
			120 mn	21 [-14.0, 56.0]	
			180 mn	10 [-18.4, 38.4]	
	tx intrathecal anaesthesia vs. tx contemporaneous control		x = 0 mn	-1 [-24.6, 22.6]	
			15 mn	-2.6 [-29.5, 24.3]	
			30 mn	7.8 [-25.5, 41.1]	p > 0.05
			60 mn	5.8 [-32.7, 44.3]	
			90 mn	2.1 [-32.4, 36.6]	
			180 mn	17.5 [-18.7, 53.7]	
tx contemporaneous control vs. to contemporaneous control		x = 15 mn	4.1 [-22.1, 30.3]		
		30 mn	5.3 [-21.5, 32.1]		
		60 mn	11.7 [-18.7, 42.1]	p > 0.05	
		90 mn	9.5 [-19.6, 38.6]		
		120 mn	2.5 [-22.9, 27.9]		
		180 mn	1.6 [-23.3, 26.5]		

-50 0 50 100 150

Graph 3: Graphic illustrating the mean mechanical nociceptive threshold (MNT) differences (x-axis. [-50, 150] newtons (N)) and their 95% confidence intervals (horizontal error bars) for all a priori comparisons made for intrathecal anaesthesia and contemporaneous control limbs on every location tested (y-axis) for all horses. t= time point tested. * represent p values < 0.05 which were not statistically different after adjustment of the α threshold. The results of a priori contrasts made for the historical control limb were not included for simplification purposes but they were not different from the results for the contemporaneous control limb.

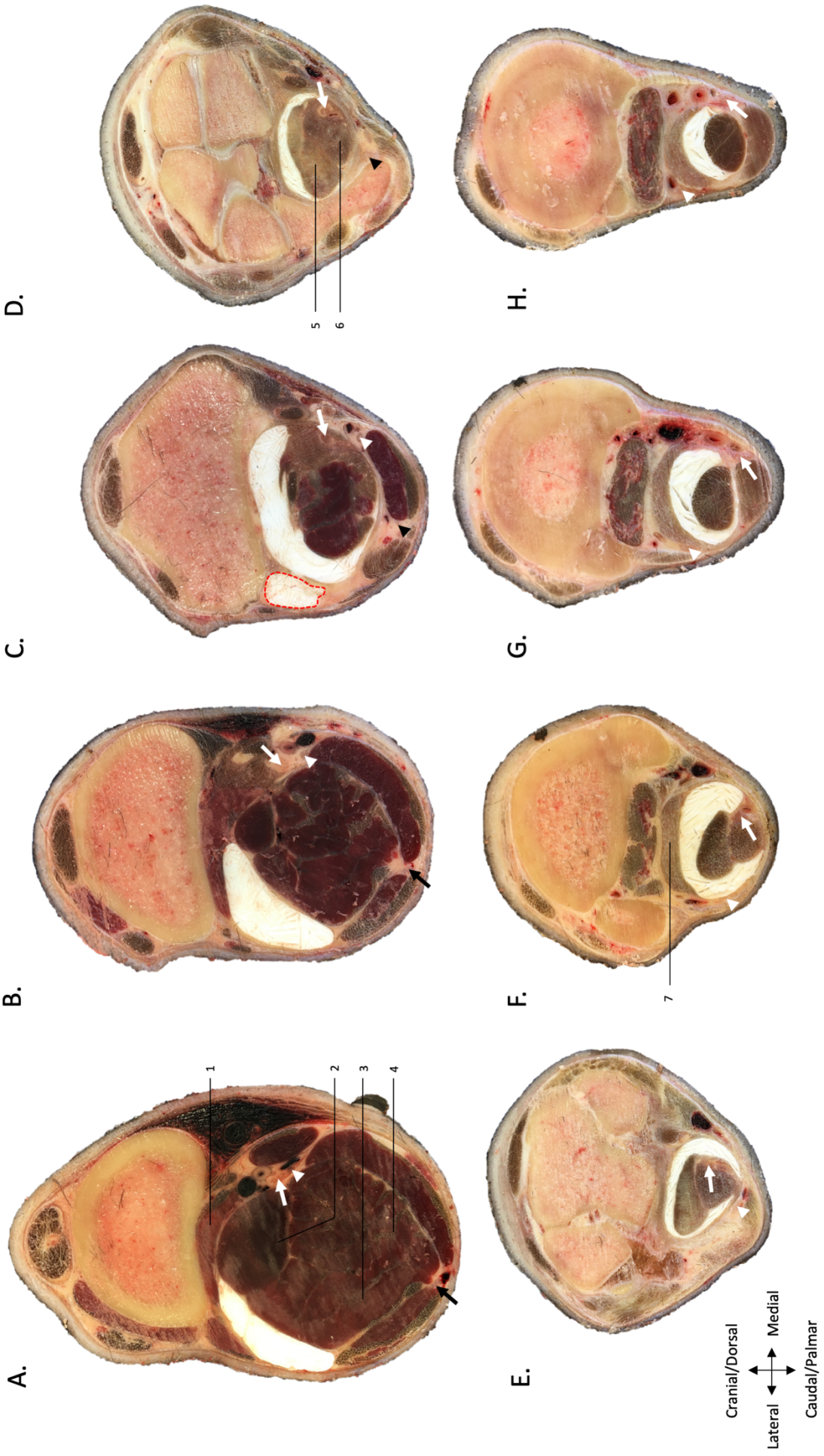


Figure 13: Images depicting the proximal (top) aspect of each 3-cm transverse cut performed on the left forelimb of a horse where the carpal sheath was injected with white latex. Transverse cuts (A to H) were obtained from the chestnut to mid-metacarpus. The white arrow highlights the medial palmar nerve, the white arrowhead the lateral palmar nerve, the black arrow the ulnar nerve and the black arrowhead the palmar branch of the ulnar nerve. On image A, note that the median nerve (medial aspect of the limb) branches off into the palmar nerves proximal to the medial extent of the carpal sheath. Note that the sheath consistently extends more proximally in the lateral aspect. On image C, note a mild latex extravasation (red dotted circle) through the proximolateral stab incision used as an injection portal for the latex. Image D to F depict the medial palmar nerve contained within the mesotenon of the digital flexor tendons. The intertendinous recess is not filled with latex due to the high density of the latex employed. 1 accessory ligament of the superficial digital flexor tendon; 2 radial head of the deep digital flexor muscle; 3 deep digital flexor muscle; 4 superficial digital flexor muscle; 5 deep digital flexor tendon; 6 superficial digital flexor tendon; 7 accessory ligament of the deep digital flexor tendon.

I. Corps

Diagnostic tenoscopy of the carpal sheath using a needle arthroscope in standing sedated horses

Ludovic Miagkoff DMV; Alvaro G. Bonilla DMV, MSc, Diplomate ACVS

Department of Clinical Sciences,

College of Veterinary Medicine, Université de Montréal,

3200 Sicotte, St. Hyacinthe, Quebec J2S 7C6, Canada

Authorship

L. Miagkoff and A.G. Bonilla both contributed to study design, study execution, data analysis and interpretation, and preparation of the manuscript. All authors gave their final approval of the manuscript.

Competing interest

The authors have declared no competing interests.

Ethical animal research

The Institutional Animal Care and Use Committee of the College of Veterinary Medicine of the Université de Montréal approved the study protocol (19-Rech-1987).

Abstract

Objectives: To investigate the use of a needle arthroscope for diagnostic tenoscopy of the carpal sheath in standing horses.

Study Design: Experimental study.

Animals or Sample Population: Six forelimbs for the cadaveric part of the study, and 6 horses for the *in vivo* part.

Methods: Six cadaveric limbs were used to perform carpal sheath tenoscopy with a 1.2-mm diameter needle arthroscope (65 and 100-mm long) followed by tenoscopy with a 4-mm arthroscope through a standard proximolateral approach. Then, unilateral standing carpal sheath tenoscopy was performed in 6 healthy sedated horses with a 65-mm long needle arthroscope. Limbs were maintained in flexion during the procedure thanks to a custom-made splint and base. Degree of tenoscopic evaluation, safety, horse tolerance and complications were recorded.

Results: Visibility at the most distal aspect of the sheath was absent for the needle arthroscopes versus a standard arthroscope. The maneuverability with a 65-mm needle arthroscope was excellent and allowed exhaustive visualization of the proximal region of the carpal sheath in cadaveric limbs and standing horses (6/6). However, visualization of the intertendinous recess was partial in most horses (4/6) versus cadavers (complete in 6/6) due to remaining flexor tendon tension in standing horses. No major complications were encountered.

Conclusion: Standing carpal sheath tenoscopy allowed a safe and thorough evaluation of most structures in the proximal region of the sheath and offers an alternative diagnostic technique.

Clinical Significance: Horses with unrewarding results after traditional imaging or requiring an accurate diagnosis before treatment may benefit from this alternative procedure.

Introduction

Several pathological conditions have been associated with lameness originating in the carpal sheath: caudal distal radial osteochondromata, exostoses of the caudal perimeter of the radial physis, fractures of the accessory carpal bone, tendinitis of the superficial digital flexor tendon (SDFT) and intrathecal tearing of its accessory ligament, tendinitis of the deep digital flexor tendon (DDFT) and tearing of its radial head, etc (Dyson and Dik, 1995; Nixon, Schachter and Pool, 2004; Minshall and Wright, 2012, 2014, 2015; Wright and Minshall, 2012; Bonilla and Santschi, 2015; Jorgensen *et al.*, 2015). Tentative or definitive diagnosis of these pathologies can be obtained following radiography and ultrasonography (Jorgensen *et al.*, 2010, 2015; Zetterström, Johansson and Carmalt, 2017). Nonetheless, precise ultrasonographic diagnosis requires training and experience and tenoscopic confirmation of the diagnosis is often needed when soft tissues are affected (Minshall and Wright, 2012). Thus, carpal sheath tenoscopy remains the gold standard for diagnostic and therapeutic purposes since it was first described in the 90's (Squire *et al.*, 1992; Cauvin *et al.*, 1997a; Southwood, Stashak and Kainer, 1998).

In the last 10 years, surgical techniques, equipment used and knowledge about carpal sheath pathologies and treatment have evolved considerably (Caldwell and Waguespack, 2011; Byron *et al.*, 2012; Minshall and Wright, 2012, 2015; Jorgensen *et al.*, 2015; Nelson *et al.*, 2015). However, the procedure remains exclusively performed under general anesthesia due to the size and temperament of horses and the required limb angle to carry out carpal sheath tenoscopy. Conversely, the risks and cost associated with general anesthesia are not negligible and standing surgical procedures are commonplace nowadays (Dugdale and Taylor, 2016). In the last two decades, multiple procedures are being adapted to be performed in standing horses, including arthroscopic technique (Elce and Richardson, 2002; Frisbie *et al.*, 2014; Gasiorowski and Richardson, 2014; Bonilla, 2019).

A 1.2-mm diameter needle arthroscope is currently used for standing diagnostic arthroscopy of the stifle overcoming some of the diagnostic limitations found in the area with traditional imaging (Frisbie *et al.*, 2014). Similarly, some pathologies within the carpal sheath can be difficult to accurately characterize with traditional diagnostics and consequently, some injuries have recently been reported (Minshall and Wright, 2012, 2015; Zetterström, Johansson and Carmalt, 2017). Thus, a standing tenoscopic technique that reduces the time and cost associated with advanced imaging or tenoscopy under general anesthesia may be beneficial. In addition, the technique could provide veterinarians and owners with an earlier diagnosis and prognosis before a higher expense is reached.

Our objectives were to investigate the feasibility and safety of diagnostic tenoscopy of the carpal sheath in standing horses using a needle arthroscope and to report any limitations and complications. We hypothesized that a 1.2-mm diameter needle arthroscope would allow a thorough and safe diagnostic evaluation of the carpal sheath in standing horses under sedation. In addition, we hypothesized that the findings of needle tenoscopy compare to those of standard 4-mm tenoscopic techniques.

Materials and methods

Cadaveric part

In the first part of the study, 3 pairs of cadaveric limbs from client-owned horses euthanized for reasons unrelated to carpal sheath pathology and donated for research were used to perform carpal sheath tenoscopy through a proximolateral approach.(Southwood, Stashak and Kainer, 1998). Limbs were collected at the level of the elbow and frozen at -20° Celsius until study execution. The limbs were then thawed at room temperature, clipped and placed on a jig with the carpus flexed at approximately 30° of flexion.

In this study phase, we compared the tenoscopic visualization with a 1.2-mm diameter, 65-mm long, 10° forward-viewing angle needle arthroscope (Biovision Veterinary Endoscopy, Denver, CO) with a standard 4.0-mm diameter, 160-mm long, and 30° forward-viewing angle arthroscope (Arthrex, Naples, FL) in 6 limbs. In addition, 1 limb of each pair (3 limbs) was also tenoscopically evaluated with a longer 100-mm needle arthroscope in order to highlight any advantages over the 65-mm needle arthroscope. For each limb, we first performed tenoscopy with the 65-mm long needle arthroscope, then with the 100-mm long needle arthroscope (3 limbs) and finally, with the standard 4.0-mm diameter arthroscope. Continuous carpal sheath distension was achieved via fluid delivery administered with a pressure infusion bag.

For each arthroscope, maneuverability was rated (excellent: no limitations, good: sporadic limitations to move in one particular direction, fair: sporadic limitations to move in several directions, or poor: continuous limitations to move in several directions) and a systematic assessment of all intrathecal structures was performed to determine their visibility (complete, partial, non-visible). Visibility grading was agreed by consensus between two unblinded observers. The structures assessed were: proximal sheath reflection, radial head of the DDFT, medial wall of the sheath, caudal distal radius and physeal scar, axial surface of the accessory carpal bone, palmar

common ligament covering the caudal aspect of the carpal bones and dorsal aspect of the DDFT. Then, the intertendinous recess was entered to assess the dorsal aspect of the SDFT, the caudal surface of the DDFT and their common mesotenon. Lastly, the arthroscope was directed distally and the sheath at the level of the carpo-metacarpal region was explored. The most distal extent of tenoscopically visible sheath was determined by intrathecal identification of a 20G needle placed percutaneously.

In vivo part

Six healthy horses from the research herd at the College of Veterinary Medicine of the Université de Montréal were included after study approval by the local Institutional Animal Care and Use Committee. Before enrollment, all horses were evaluated to rule out carpal sheath effusion and forelimb lameness. In addition, two carpal radiographs (dorso-palmar and flexed latero-medial projections) were performed to screen horses for any obvious bony pathology associated to the carpal sheath.

Before surgery, horses were sedated with acepromazine (0.02mg/kg, intramuscularly). Then, they were groomed, a randomly selected limb was circumferentially clipped from proximal-radius to mid-canon and a catheter was placed in either jugular vein. A dose of 2.2mg/kg phenylbutazone was administered intravenously (IV) and horses were sedated with detomidine (0.01mg/kg, IV) and butorphanol (0.01mg/kg, IV) before entering standing stocks. During the procedure, a light plane of sedation was obtained by titrating a continuous rate of infusion of detomidine (1% solution) as needed. To prevent any interference with the stocks frame during tenoscopy, horses were advanced and forelimbs exited the front of the stocks (Figure 12). The selected limb was placed in a custom-made splint (Figure 12B) adjustable in length before being aseptically prepared. Next, a line block was performed with 3mL of 2% lidocaine hydrochloride proximal to the tenoscopic portal site and

intrathecal anesthesia of the carpal sheath was carried out with 20mL of 2% mepivacaine hydrochloride diluted in 40ml of a balanced electrolyte solution. A surgical scrub was performed, the limb was draped proximal and distal to the surgical site with an elastic bandage wrap, and an adhesive drape was circumferentially placed around the carpus and distal radius (Figure 12B). Last, the splinted limb was attached to a custom-made splint base that allowed approximately 30° of carpal flexion (Figure 12). This step was purposely performed last to minimize the time that horses would be partially weight bearing on the operated forelimb.

During tenoscopy, the surgeon was placed slightly cranio-lateral to the carpus with one hand maneuvering the needle arthroscope and the other hand stabilizing the carpus and/or helping to maneuver the arthroscope while facing the screen (Biovision Veterinary Endoscopy) (Figure 12). In addition, during the procedure the surgeon stepped on the wide splint base to prevent mild limb movement during the procedure. Tenoscopy was carried out while an assistant held the horse head and a second assistant held the distal aspect of the operated limb as needed to minimize undesired limb movement during the procedure (Figure 12A). A 4-mm skin incision was performed with a number 15 scalpel blade 3cm proximal to the physis of the distal radius, between the lateral digital extensor and *ulnaris lateralis* muscles as previously described (Southwood, Stashak and Kainer, 1998). The carpal sheath was entered perpendicular to the limb with the aid of a cannula and a blunt obturator. The 2.2-mm cannula regularly provided with the arthroscopic kit was replaced by a thicker 2.4-mm cannula (provided by the endoscopic company for the last 5 horses) to minimize cannula bending during the procedure. Once fluid exited the cannula, the obturator was replaced by a 1.2-mm diameter, 65-mm long needle arthroscope and tenoscopic evaluation was performed. During the procedure, submaximal carpal sheath distension was maintained with a balanced electrolyte solution administered via a pressure infusion bag as needed. If intrathecal bleeding was present upon tenoscopic evaluation, it was resolved by placing a 18-gauge 1½-inch needle in the

distal aspect of the proximo-lateral recess of the carpal sheath. At the end of the procedure, the sheath was injected with 250mg of gentamicin, the incision was left unsutured and a light sterile bandage was applied from mid-radius to mid-canon. Limbs were bandaged for just 3 days and horses were stall rested for 5 days before resuming turn out. Horses received a single dose of 2.2 mg/kg of phenylbutazone orally 8-12 hours after the procedure. Horses remained under observation in a research herd.

All tenoscopic evaluations were recorded and visibility of intrathecal structures was assessed as previously described. In addition, tenoscopic time (tenoscope entry to exit), limb movement during the procedure, horse tolerance to the splint before the procedure (pre-operative period) and complications were recorded.

Results

Cadaveric part

Horses included in this phase had a mean age of 8 years-old (4 to 14 years) and breeds represented were Quarter Horse (2/3) and Trakehner (1/3).

The 65-mm long needle arthroscope was first compared to the standard 160-mm long arthroscope in 6 limbs. For both arthroscopes, the proximolateral tenoscopic portal allowed an excellent maneuverability and complete visibility of all proximal intrathecal structures was obtained. With regards to the carpo-metacarpal aspect of the sheath, the needle arthroscope allowed distal evaluation only up to the carpo-metacarpal joint while we were able to visualize up to 7cm further distally with the 4-mm arthroscope. This level usually coincided with the distal limit of the carpal sheath.

No major differences were identified when both needle arthroscopes were compared. The longer needle arthroscope allowed visualization of the carpo-metacarpal region closer but not further distally. Authors decided to only use the 65-mm needle arthroscope scope during the *in vivo* phase as the 100-mm needle arthroscope seemed subjectively more susceptible to bending in case of limb movement during the procedure.

***In vivo* part**

Horses included were 6 medium-sized mixed breed horses with a mean age of 9 years-old (3 to 13 years) and a mean weight of 433kg (382 to 535kg).

The splint was well tolerated by all horses (6/6) but placement of the splinted limb on the splint base resulted in occasional drastic limb movement during the procedure in 1 horse (1/6). As in the cadaveric part of the study, needle arthroscope maneuverability was deemed excellent. The procedure allowed complete visibility of most proximal carpal sheath structures: proximal sheath

reflection, radial head of the DDFT, medial wall of the sheath, caudal distal radius and physal scar, dorsal aspect of the DDFT, axial surface of the accessory carpal bone and caudal aspect of the carpal bones. However, visualization of the caudal surface of the DDFT, dorsal aspect of the SDFT as well as their common mesotenon in the intertendinous recess was complete in only one horse, partial (1 to 2 thirds of tendons visible) in 4/6 horses and was not performed in 1 horse (horse with occasional drastic movements). As previously described, the distal aspect of the carpal sheath was only visible up to the carpo-metacarpal joint level. Representative tenoscopic images are shown in figure 13.

The procedure was performed quickly with a mean tenoscopic time of 7 ± 3 minutes and no major complications for horses or personnel occurred during the procedure or post-operatively. Mild intrathecal bleeding associated with previous sheath anesthesia was identified upon arthroscope introduction in 3/6 horses but was quickly resolved with lavage. Mild to moderate fluid extravasation was noted at the end of the procedure in 3/6 horses but did not limit visualization or maneuverability during the procedure and resolved within 24h hours of tenoscopy. Mild cannula bending while accessing the tight intertendinous recess was seen in 2 cases, however, the arthroscope was not damaged and was re-used for other horses.

Discussion

Pathologies affecting the carpal sheath have been recognized in horses for decades. However, large case series have not been reported until recently and new pathological entities affecting the region continue to be recognized and described (Minshall and Wright, 2012, 2015; Jorgensen *et al.*, 2015; Zetterström, Johansson and Carmalt, 2017). This situation is likely a reflection of the low prevalence of carpal sheath pathologies. A study reported that only 2-3% of new ultrasounds/year are performed due to problems suspected within the carpal sheath (Jorgensen *et al.*, 2015). Thus, it is likely that the anatomic knowledge and diagnostic capabilities of most equine veterinarians are lower for the carpal sheath than for other regions. In addition, soft tissue damage severity secondary to distal caudal radius exostoses seems to be independent of radiographic size and other diagnostic techniques are required to characterize it (Zetterström, Johansson and Carmalt, 2017). The benefits of a thorough and systematic ultrasonographic examination of the distal antebrachium to diagnose soft tissue problems of the carpal sheath have been recently reported and require operator expertise (Jorgensen *et al.*, 2010, 2015; Minshall and Wright, 2012, 2015; Wright and Minshall, 2012). Nevertheless, standard tenoscopy remains the preferred technique to achieve a definitive diagnosis. Standing tenoscopy offers an alternative diagnostic tool that could complement the information obtained with radiography and ultrasonography of the region and better guide treatment and prognosis.

The reported technique offered a quick and safe diagnostic evaluation of most structures within the proximal carpal sheath, where most pathologies tend to occur, in this small group of horses (Jorgensen *et al.*, 2015; Zetterström, Johansson and Carmalt, 2017). At least 228/241 (95%) horses with carpal sheath pathology requiring tenoscopic surgery had their problem located in the proximal carpal sheath region (Zetterström, Johansson and Carmalt, 2017). Furthermore, the technique requires minimal training for a surgeon already familiar with carpal sheath tenoscopy

under general anesthesia other than adaptation to the needle arthroscope equipment and to the standing position. We performed the procedures with a custom-made splint and base that was conceived to perform other standing arthroscopic procedures. The splint and base allowed stable carpal flexion and was undoubtedly beneficial; however, we anticipate that any other commercially available splint that allows sufficient carpal flexion would be suitable for the technique as long as sterility is not jeopardized. In our experience, horses may not tolerate the limb in a semi-flexed position for longer than 10-15 minutes and therefore, tenoscopy under general anesthesia remains the gold standard for treatment.

Carpal sheath tenoscopy in standing horses represents a relatively inexpensive and low-risk procedure that may allow a faster diagnostic and prognostic assessment for horses with carpal sheath pathology. Needle arthroscopy has been successfully used in humans for decades to perform in-office knee and shoulder arthroscopy with the goal of minimizing the waiting time and cost associated with obtaining a precise diagnosis with advanced imaging (Halbrecht and Jackson, 1992; Voigt, Mosier and Huber, 2014; McMillan *et al.*, 2017). Some owners may be more willing to invest into a therapeutic tenoscopic procedure under general anesthesia if the diagnosis and prognosis is completely clear before pursuing surgery.

The cadaveric study highlighted only one significant visibility difference between arthroscopes. This was mainly related to the longer size of the 4-mm arthroscope in comparison to the needle scope (160-mm vs 65 or 100-mm) and to the viewing angle (30° vs 10°). These two factors maximized visibility in the distal aspect of the sheath, with the 4-mm arthroscope, where maneuvering is limited. Nevertheless, a thorough evaluation of the metacarpal region is recommended via a distal tenoscopic approach even if a 4-mm arthroscope is to be used.¹³ Unfortunately, an additional distal approach is not possible without jeopardizing sterility with the reported technique. Nevertheless, it is worth mentioning that carpal sheath pathology is not

frequently found in the metacarpal region (Jorgensen *et al.*, 2015; Zetterström, Johansson and Carmalt, 2017). Regardless, the standard 4-mm arthroscope could be potentially used to perform the described technique; however, we decided to use the needle scope for several reasons: portability of the equipment, reduced cost in case of equipment damage, high maneuverability and shorter convalescence period associated to an incision (2-3-mm long) that heals within 2-3 days and does not require suturing or prolonged bandaging.

When the *in vivo* portion of the study was carried out, another visibility limitation was found associated with residual flexor tendon tension while horses were partially weight-bearing on the splinted limb. This residual tension made arthroscopic entry to the intertendinous recess difficult and only partial evaluation was possible in most cases (4/6). This limitation may preclude identification of intrathecal SDFT tearing which it has not been reported to the author's knowledge but most importantly, it may not detect some cases of SDFT accessory ligament tearing if the injury is only visible from the intertendinous recess. Nonetheless, all cases (7/7) reported with an intrathecally torn SDFT accessory ligament treated tenoscopically were identified medial to cranio-medial to the DDFT and our technique has the potential to identify them at this location (Minshall and Wright, 2015). Last, tendon tension and inability for complete intertendinous recess evaluation seemed to be subjectively associated to the degree of weight bearing by the splinted limb. In retrospect, this could have been solved if an assistant temporarily held the limb in 30° of flexion and fully prevented weight bearing.

No significant complications were found during the procedure. However, residual tendon tension produced mild cannula bending while entering the intertendinous recess on the first case. For the following 5 horses, the 2.2-mm cannula regularly provided with the arthroscopic kit was replaced by a thicker 2.4-mm cannula provided by the endoscopic company. This resolved the problem when entering the intertendinous recess although mild cannula bending was also noted in the horse

that had occasional drastic movements during tenoscopy and further intertendinous recess evaluation was not attempted. In addition, no post-operative synovial sepsis was identified in our cases despite this region has been associated with a predisposition for sepsis after tenoscopy (Hawthorn *et al.*, 2016).

This study is based on a small number of healthy horses and has several limitations so further technique investigation in clinical cases is needed as capacity to detect damage is not reported in this paper. Needle arthroscopy has many advantages but the field of view and luminosity are lower than with standard arthroscopy which requires working closer to the intrathecal structures and hence, surgeon adaptation. In addition, it is a specialized equipment and therefore, requires an investment. Also, its small diameter makes this arthroscope more susceptible to bending and damage that a 4-mm arthroscope would be. The reported technique does not allow a complete evaluation of the carpal sheath, even though few pathologies are encountered in the non-visible regions. Visibility grading was unblinded and may have introduced a bias. A comparison with the 4-mm arthroscope was performed in the cadaveric phase to minimize this factor. Finally, one horse did not tolerate the splint base well during tenoscopy and this is a potential problem for other horses. We believe that splint training could minimize this issue; however, minimal training was performed in our horses to prevent an acclimation bias during the study.

Diagnostic tenoscopy of the carpal sheath using a needle arthroscope in standing sedated horses is a simple technique that allowed a quick, safe and thorough evaluation of most proximal carpal sheath structures, where most pathologies are identified, in this small group of horses. The reported technique represents an alternative minimally invasive diagnostic tool that can provide additional diagnostic and prognostic information before tenoscopic treatment is pursued and, or, before a higher expense is reached during case management. Nevertheless, further investigation in clinical cases is needed to determine its accuracy to detect injuries.

II. Figures



Figure 14: Images depicting standing carpal sheath diagnostic tenoscopy on a left forelimb. A. The surgeon is placed slightly cranio-laterally to the limb with his left foot stepping on the base of the splint to prevent/minimize limb movement and facing the screen. An assistant gently holds the limb as needed to minimize undesired limb movement. The splinted limb is attached to the splint base with a velcro strap. B. Close-up view depicting standard proximo-lateral approach to the carpal sheath performed with a 1.2-mm needle arthroscope. Please note that the limb is flexed in approximately 30° and sterilely draped to prevent contamination during the procedure.

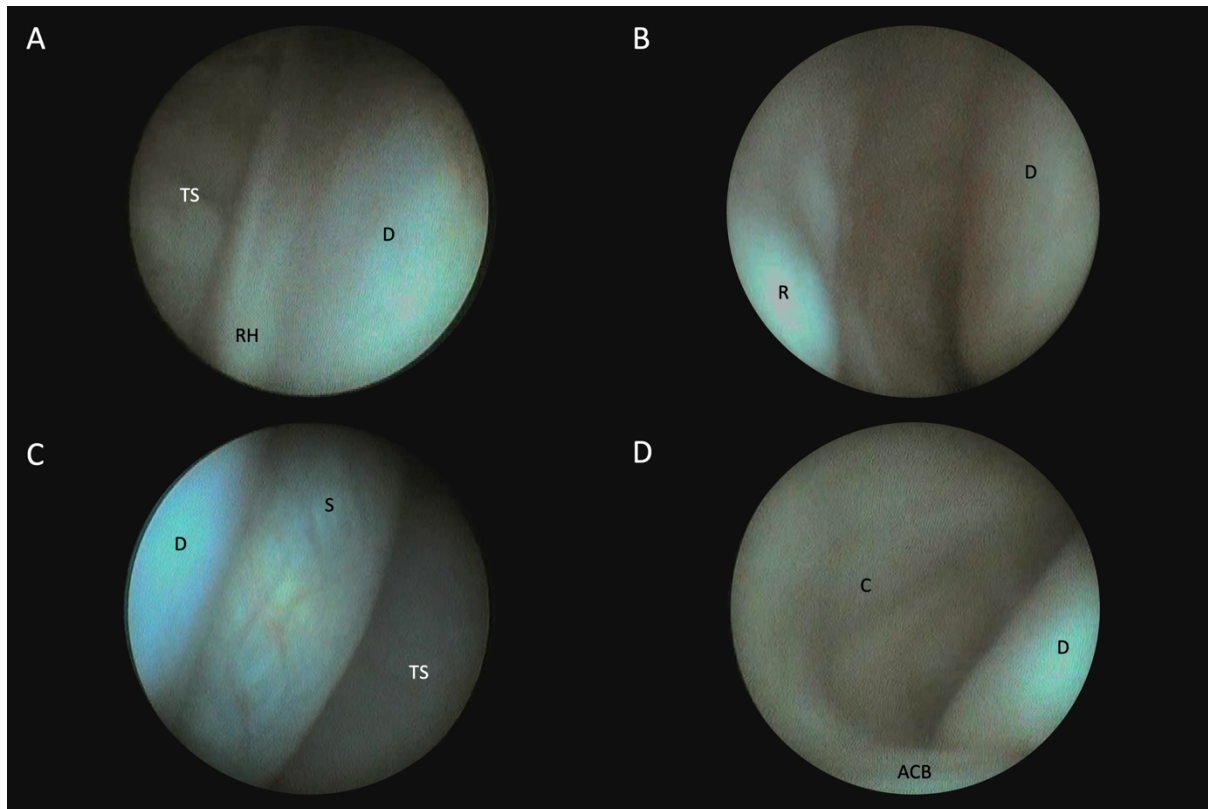


Figure 15: Standing tenoscopic images of the carpal sheath in the left forelimb of a horse obtained with a 1.2-mm diameter and 65-mm long needle arthroscope through a proximo-lateral approach.

A: Advancing the needle arthroscope medially highlights the radial head (RH) of the deep digital flexor tendon (DDFT), the dorsal aspect of the DDFT (D) and the medial wall of the tendon sheath (TS). B: Distal redirection of the needle arthroscope to continue assessing the dorsal aspect of the DDFT (D) and the distal physeal scar of the radius (R). C: Disto-lateral advancement of the needle arthroscope to highlight the lateral aspect of the DDFT (D), the dorsal surface of the superficial digital flexor tendon (SDFT) (S) and the palmar wall of the tendon sheath (TS). Further advancement of the arthroscope between the flexor tendons allows evaluation of the intertendinous recess D: Distal tenoscopic image highlighting the DDFT (D) at the level of the first row of carpal

bones (C) and the accessory carpal bone (ACB). Please note that the quality of the images is better in real time.

Discussion

Les pathologies de la gaine carpienne sont des affections peu fréquentes mais variées et dont certaines n'ont été que très récemment décrites (Minshall and al., 2012; Minshall and al., 2015). Il est probable que cela soit dû à la complexité anatomique de la région, aux capacités diagnostiques limitées dans le plus grand nombre de cas, et à la faible prévalence de ces pathologies.

Les anesthésies locorégionales représentent un moyen diagnostique couramment utilisé lors des examens de boiterie et dont les limites sont à connaître par les cliniciens afin d'éviter toute erreur d'interprétation, qui pourrait alors entraver la démarche diagnostique. Dans une des études conduites, nous avons démontré que l'anesthésie avec de la mépivacaïne 2 % peut induire une désensibilisation distale accidentelle du membre au niveau du dermatome du nerf médian et de ses branches, les nerfs latéraux et palmaires médians. Bien que la désensibilisation des nerfs puisse se produire par diffusion de l'anesthésique local ou par une fuite d'anesthésique au niveau du site de synoviocentèse, les dissections réalisées nous font émettre l'hypothèse que la désensibilisation est plus à même d'avoir lieu par diffusion de l'anesthésie locale directement vers le nerf palmaire médial au niveau de deux sites privilégiés : (1) le récessus intertendineux au niveau du carpe, alors que le nerf court dans le mésotendon des fléchisseurs du doigt, (2) ou au niveau du tiers proximal de la région métacarpienne. Le tiers proximal du métacarpe est également l'endroit le plus plausible pour la diffusion de l'anesthésique au nerf palmaire latéral en raison de sa proximité avec la gaine. Dans cette région, la diffusion de l'anesthésique vers les deux nerfs palmaires est facilitée par la proximité anatomique et l'accumulation de l'anesthésique dans la gaine distale lorsque le cheval est debout avec les volumes d'anesthésique

couramment utilisés. Enfin, la désensibilisation distale du membre associée à une fuite d'anesthésique est peu probable étant donné l'éloignement des nerfs palmaires par rapport au site de la synoviocentèse.

Dans notre modèle *in vivo*, nous avons testé la sensibilité cutanée avec un stimulus mécanique, en laissant de côté la nociception chimique et thermique faisant intervenir d'autres fibres nerveuses. Cependant, notre objectif principal était de rapporter une quelconque désensibilisation, même partielle. Par ailleurs, ce modèle utilise la sensibilité cutanée et deux études récentes ont montré une mauvaise corrélation entre la désensibilisation cutanée et la désensibilisation profonde (Hoerdemann et al., 2017; Fowler et al., 2018). Cette limite empêche notre étude de conclure sur la désensibilisation d'une boiterie du membre distal après une anesthésie intrathécale de la gaine carpienne mais pointe du doigt un éventuel effet avec sa baisse de sensibilité cutanée et amène donc le clinicien à être vigilant dans son interprétation. Différentes techniques plus invasives existent afin de créer une boiterie réversible chez le cheval (arthrite chimique, dispositif serrant la boîte cornée et les talons...) mais n'ont pas été retenus dans cette étude. Enfin, le dispositif utilisé dans cette étude avec un dynamomètre et une pointe mousse de 3 mm de diamètre, avait déjà été validé dans une étude précédente (Jordana et al., 2014). Cependant, il présente aussi des limites, notamment en raison de variations possibles en fonction de la rapidité avec laquelle le dynamomètre est appuyé sur la peau ou en fonction de la réaction du cheval vers l'avant lors de mesures sur le canon dorsal. Malgré ces limitations, la réalisation des mesures par un unique opérateur permet de réduire les variations et notre étude s'appuie essentiellement sur des variations de réponse à la pression du dynamomètre, réduisant ainsi d'éventuels biais apportés par les valeurs exactes de seuils de sensibilité.

La désensibilisation des glomes latéraux et médiaux a été significative entre 60 et 180 minutes comparativement à t0. Une désensibilisation partielle a été détectée chez 3/12 glomes dès 30 minutes. Ainsi, les praticiens équins doivent être prudents lorsqu'ils interprètent les résultats de l'anesthésie de la gaine carpienne après 15 minutes (désensibilisation partielle commencée entre t15 et t30) car une boiterie provenant du membre distal peut être supprimée et entraîner des interprétations erronées.

La variété des affections de la gaine carpienne amène ensuite à investiguer les différentes structures au moyen des modalités d'imagerie conventionnelle : radiographie et échographie. L'examen échographique permet notamment une bonne évaluation des tissus mous mais nécessite une expertise de l'opérateur et raison de la complexité anatomique de la région, l'apparence variable des jonctions musculotendineuses, et la difficulté à apprécier les lésions légères.

Dans l'une des études conduites ici, nous montrons que la ténoscopie à l'aide d'un arthroscope aiguille, sur cheval debout et sous sédation, constitue une alternative qui peut compléter les informations obtenues par la radiographie et l'échographie de la région et mieux guider le traitement et le pronostic.

La technique exige une formation minimale pour un chirurgien déjà familier avec la ténoscopie de la gaine carpienne sous anesthésie générale autre que son adaptation au matériel arthroscope à aiguille et à la position verticale. Nous avons effectué les interventions à l'aide d'une attelle et d'une base fabriquées sur mesure qui ont été conçues pour effectuer d'autres interventions arthroscopiques debout (Bonilla, 2019; Kadic et al., 2020a; Kadic et al., 2020b). Ce matériel a permis une flexion du carpe stable. Cependant, nous prévoyons que toute autre

attelle disponible dans le commerce qui permet une flexion du carpe suffisante serait appropriée pour la technique tant que la stérilité n'est pas compromise.

Une limitation de visibilité a été trouvée associée à une tension résiduelle des tendons fléchisseurs alors que les chevaux portaient partiellement du poids sur le membre avec l'attelle. Cette tension résiduelle a rendu difficile l'insertion de l'arthroscope dans la cavité intertendineuse et seule une évaluation partielle était possible dans la plupart des cas (4/6). Cette limitation peut empêcher l'identification d'une déchirure intrathécale de la SDF, bien que non rapporté, mais peut surtout empêcher la détection de certains cas de déchirure du ligament accessoire de la SDFT si la lésion n'est visible que depuis la cavité intertendineuse. Néanmoins, tous les cas (7/7) signalés de déchirure intrathécale d'un ligament accessoire SDFT traité par ténoscopie ont aussi été identifiés dorsalement et notre technique a le potentiel de les identifier à cet endroit (Minshall et al., 2015).

L'arthroscopie à l'aiguille présente de nombreux avantages, mais le champ de vision et la luminosité sont inférieurs à ceux de l'arthroscopie standard, qui nécessite un travail plus proche des structures intrathécales et donc une adaptation chirurgicale. De plus, il s'agit d'un équipement spécialisé et nécessite un investissement.

La technique rapportée offre une évaluation diagnostique rapide, sûre et fiable de la plupart des structures de la gaine carpienne proximale, où la plupart des pathologies ont tendance à se produire (Zetterström et al., 2017; Minshall et al., 2015). Ces caractéristiques font de la ténoscopie avec arthroscope aiguille sur cheval debout sous sédation un outil diagnostique alternatif peu invasif qui peut fournir des informations supplémentaires sur le diagnostic et le pronostic avant que le traitement ténoscopique soit poursuivi et/ou qu'un coût plus élevé soit atteint pendant la prise en charge du cas.

Conclusion

Dans le cadre de l'examen orthopédique, le clinicien est amené à utiliser l'anesthésie intrathécale de la gaine carpienne en cas de suspicion de douleur associée. Pour que l'anesthésie intrathécale de la gaine carpienne soit considérée comme un moyen diagnostique fiable, il est important de s'assurer de sa spécificité à la gaine carpienne et aux structures intrathécales. La présente étude montre que la désensibilisation du membre distal peut survenir par inadvertance entre 15 et 60 minutes après une anesthésie intrathécale de la gaine carpienne. Par conséquent, quand les anesthésies étagées distales au carpes ne sont pas réalisées préalablement, il est recommandé d'interpréter l'anesthésie intrathécale de la gaine carpienne rapidement (15 minutes ou moins) après l'injection et d'attendre plus de 3 heures après son anesthésie avant d'effectuer une anesthésie locorégionale ou synoviale distale au carpe.

Par la suite, les données obtenues au moyen des modalités d'imagerie médicale utilisées de routine, qu'il s'agisse de la radiographie ou de l'échographie, permettent dans de nombreux cas d'identifier la cause de la ténosynovite de la gaine carpienne. Dans des cas avec un diagnostic incertain ou incomplète, la ténoscopie diagnostique de la gaine carpienne à l'aide d'un arthroscope aiguille chez des chevaux sédatisés debout est une option peu invasive à considérer en raison de la visualisation directe, complète et sécuritaire des structures proximales de la gaine carpienne, où la plupart des pathologies sont identifiées. La technique rapportée ici représente donc un outil diagnostique alternatif peu invasif qui peut fournir des informations supplémentaires sur le diagnostic et le pronostic avant que le traitement ténoscopique soit poursuivi et/ou qu'un coût plus élevé soit atteint lors de la prise en charge.

Bibliographie

- Altman, R. S., Smith-Coggins, R. and Ampel, L. L. (1985) 'Local anesthetics', *Annals of emergency medicine*, 14(12), pp. 1209–17.
- Barba, M. *et al.* (2014) 'Carpal hyperextension in a Percheron mare caused by a palmar carpal ligament tear', *Equine Veterinary Education*, 26(7), pp. 347–352.
- Barone, R. (2010a) 'Tome 1: ostéologie', in *Anatomie comparée des mammifères domestiques*.
- Barone, R. (2010b) 'Tome 2: Arthrologie et Myologie', in *Anatomie comparée des mammifères domestiques*.
- Barr, A. R., Sinnott, M. J. and Denny, H. R. (1990) 'Fractures of the accessory carpal bone in the horse.', *The Veterinary record*, 126(17), pp. 432–4.
- Bassage LH, Ross MW. (2010) 'Diagnostic analgesia.' *In: Ross MW, Dyson SJ, editors. Diagnosis and management of lameness in the horse, 2nd ed. St. Louis, MO: Elsevier Saunders, p. 100–35.*
- Becker, D. E., & Reed, K. L. (2006) "Essentials of local anesthetic pharmacology." *Anesthesia progress*, 53(3), 98–110.
- Blythe LL, Kitchell RL. (1982) 'Electrophysiologic studies of the thoracic limb of the horse.' *Am J Vet Res.* 43(9):1511–24.
- Bonilla, A. G. (2019) 'Standing Needle Arthroscopy of the Metacarpophalangeal and Metatarsophalangeal Joint for Removal of Dorsal Osteochondral Fragmentation in 21 Horses', *Vet Comp Orthop Traumatol*.
- Bonilla, A. G. and Santschi, E. M. (2015) 'Comminuted fracture of the accessory carpal bone removed via an arthroscopic-assisted arthrotomy', *Canadian Veterinary Journal Revue Veterinaire Canadienne*, 56(February), pp. 157–161.
- Budras, K. D. . S. W. O. . R. S. (2005) *Anatomy of the horse*. 5th editio, *Veterinary Record*. 5th edition.
- Byron, C. R. *et al.* (2012) 'Ultrasonographic examination of the caudal structures of the distal antebrachium in the horse', *Equine Veterinary Journal*, 44(3), pp. 76–80.
- Caldwell, F. J. and Waguespack, R. W. (2011) 'Evaluation of a Tenoscopic Approach for

- Desmotomy of the Accessory Ligament of the Deep Digital Flexor Tendon in Horses', *Veterinary Surgery*, 40, pp. 266–271.
- Cauvin, E. R. J. *et al.* (1997a) 'Endoscopic examination of the carpal flexor tendon sheath in horses', *Veterinary Record*, 141(19), pp. 489–495.
- Cauvin, E. R. J. *et al.* (1997b) 'Gross and ultrasonographic anatomy of the carpal flexor tendon sheath in horses', *Veterinary Record*, 141(19), pp. 489–495.
- Cauvin, E. R. J. (2009) 'Affections de la gaine carpienne des fléchisseurs (syndrome du "canal carpien").', in European College of Veterinary Surgeons (ed.) *Proceedings du 2nd Forum Francophone de l'ECVS, Nantes, France, 1er juillet 2009, ECVS, 34-37*, pp. 34–37.
- Denoix, J. M. (1994a) 'Diagnostic techniques for identification and documentation of tendon and ligament injuries.', *The Veterinary clinics of North America. Equine practice*. W.B. Saunders Company, 10(2), pp. 365–407.
- Denoix, J. M. (1994b) 'Functional anatomy of tendons and ligaments in the distal limbs (manus and pes).', *The Veterinary clinics of North America. Equine practice*. W.B. Saunders Company, 10(2), pp. 273–322.
- Denoix, J. M. and Audigie, F. (1993) 'Ultrasonographic examination of the carpus in the horse: abnormal findings in 45 clinical cases', *Pratique Vétérinaire Équine*, 25, pp. 193–203.
- Denoix, J. M. and Busoni, V. (1999) 'Ultrasonographic anatomy of the accessory ligament of the superficial digital flexor tendon in horses', *Equine Veterinary Journal*, 31(3), pp. 186–191.
- Dik, K. J. (1990) 'Radiographic and ultrasonographic imaging of soft tissue disorders of the equine carpus', *Tijdschrift voor diergeneeskunde*, 115(24), pp. 1168–74.
- Dugdale, A. H. A. and Taylor, P. M. (2016) 'Equine anaesthesia-associated mortality : where are we now ?', *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*. Association of Veterinary Anaesthetists and the American College of Veterinary Anesthesia and Analgesia, 43(3), pp. 242–255.
- Dyson, S. (2007a) 'Lesions of the superficial digital flexor tendon in the carpal canal and proximal metacarpal region.', in Practitioners, A. A. of E. (ed.) *Proceedings of a conference on : Focus on lameness and imaging*. Fort Collins, Colorado, USA, pp. 105–106.
- Dyson, S. (2007b) 'Superficial digital flexor tendon injuries in teenage and older horses', *Equine Veterinary Education*, 19(4), pp. 187–188.
- Dyson, S. J. (1990) 'Fractures of the accessory carpal bone', *Equine Veterinary Education*, 2(4), pp. 188–190.

- Dyson, S. J. (1991) 'Desmitis of the accessory ligament of the deep digital flexor tendon: 27 cases (1986–1990)', *Equine Veterinary Journal*, 23(6), pp. 438–444.
- Dyson, S. J. (2010) 'The Carpal Canal and Carpal Synovial Sheath', in *Lameness in the Horse*, pp. 777–780.
- Dyson, S. J. (2011) 'Injuries of the Accessory Ligament of the Deep Digital Flexor Tendon', in *Lameness in the Horse*, pp. 734–738.
- Dyson, S. J. and Dik, K. J. (1995) 'Miscellaneous conditions of tendons, tendon sheaths, and ligaments.', *The Veterinary clinics of North America. Equine practice*. W.B. Saunders Company, 11(2), pp. 315–337.
- Elce, Y. A. and Richardson, D. W. (2002) 'Arthroscopic removal of dorsoproximal chip fractures of the proximal phalanx in standing horses', *Veterinary Surgery*, 31(3), pp. 195–200.
- Fowler, L. E. and Castro, J. R. (2018) 'Determination of the Lasting Effects of Lidocaine and Mepivacaine after a Palmar Digital Nerve Block Using the Equinosis® Q System', *Vet Surg*. Phoenix , Arizona, 47(6), p. 8.
- Frisbie, D. D. *et al.* (2014) 'Diagnostic stifle joint arthroscopy using a needle arthroscope in standing horses', *Veterinary Surgery*, 43(1), pp. 12–18.
- Gasiorowski, J. C. and Richardson, D. W. (2014) 'Diagnostic and therapeutic arthroscopy in the standing Horse', *Veterinary Clinics of North America - Equine Practice*, 30(1), pp. 211–220.
- Halbrecht, J. L. and Jackson, D. W. (1992) 'Office arthroscopy: A diagnostic alternative', *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic and Related Surgery*, 8(3), pp. 320–326.
- Harkins, J. D. *et al.* (1999) 'Mepivacaine: Its pharmacological effects and their relationship to analytical findings in the horse', *Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics*, 22(2), pp. 107–121.
- Hawthorn, A. *et al.* (2016) 'Post operative synovial sepsis following endoscopic surgery: Increased risk associated with the carpal sheath', *Equine veterinary journal*, 48(4), pp. 430–433.
- Held, J. P., Patton, C. S. and Shires, M. (1988) 'Solitary osteochondroma of the radius in three horses.', *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 193(5), pp. 563–4.
- Himsworth, C. G. *et al.* (2010) 'Aseptic tenosynovitis of the carpal flexor sheath caused by rupture of the accessory ligament of the deep digital flexor tendon', *Canadian Veterinary*

- Journal Revue Veterinaire Canadienne*, 51(June), pp. 593–597.
- Hoerdemann, M., Smith, R. L. and Hosgood, G. (2017) ‘Duration of action of mepivacaine and lidocaine in equine palmar digital perineural blocks in an experimental lameness model’, *Veterinary Surgery*, 46(7), pp. 986–993.
- Jansson, N. (1998) ‘Osteochondroma at the distal radial metaphysis in a horse’, *Pferdeheilkunde Equine Medicine*, 14(2), pp. 151–154.
- Jordana, M. *et al.* (2014) ‘Distal limb desensitisation following analgesia of the digital flexor tendon sheath in horses using four different techniques’, *Equine Veterinary Journal*, 46(4), pp. 488–493.
- Jorgensen, J. S. *et al.* (2010) ‘Ultrasonographic examination of the caudal structures of the distal antebrachium in the horse’, *Equine Veterinary Education*, 22(3), pp. 146–155.
- Jorgensen, J. S. *et al.* (2015) ‘Musculoskeletal lesions and lameness in 121 horses with carpal sheath effusion (1999-2010)’, *Veterinary Radiology and Ultrasound*, 56(3), pp. 307–316.
- Kadic, D. T. N. and Bonilla, A. G. (2020) ‘Diagnostic needle arthroscopy of the tarsocrural joint in standing sedated horses’, *Veterinary Surgery*. John Wiley & Sons, Ltd, 49(3), pp. 445–454.
- Kadic, D. T. N., Miagkoff, L. and Bonilla, A. G. (2020) ‘Needle arthroscopy of the radiocarpal and middle carpal joints in standing sedated horses’, *Veterinary Surgery*. John Wiley & Sons, Ltd, p. vsu.13430.
- Krainer, J. (1987) ‘Carpal joints’, in *Adams’ Lameness in Horses, ed 4*, p. 24.
- Leach, D., Harland, R. and Burko, B. (1981) ‘The anatomy of the carpal tendon sheath of the horse.’, *Journal of anatomy*, 133(Pt 2), pp. 301–307.
- McDiarmid, A. M. (2010) ‘Lameness in the Pony’, in *Lameness in the Horse*, pp. 1228–1235.
- McIlwraith, C. W. *et al.* (2015) ‘Tenoscopy’, *Diagnostic and Surgical Arthroscopy in the Horse*. Mosby, pp. 344–386.
- McIlwraith, C. W., Nixon, A. J. and Wright, I. M. (2015) ‘Diagnostic and Surgical Arthroscopy in the Horse’.
- McMillan, S. *et al.* (2017) ‘In-Office Diagnostic Needle Arthroscopy: Understanding the Potential Value for the US Healthcare System’, *Am J Orthop*, 46(5), pp. 252–256.
- Minshall, G. J. and Wright, I. M. (2012) ‘Tenosynovitis of the carpal sheath of the digital flexor tendons associated with tears of the radial head of the deep digital flexor: Observations

- in 11 horses', *Equine Veterinary Journal*, 44(1), pp. 76–80.
- Minshall, G. J. and Wright, I. M. (2014) 'Frontal plane fractures of the accessory carpal bone and implications for the carpal sheath of the digital flexor tendons', *Equine Veterinary Journal*, 46(5), pp. 579–584.
- Minshall, G. J. and Wright, I. M. (2015) 'Diagnosis and treatment of intrathecal tears of the accessory ligament of the superficial digital flexor', *Equine Veterinary Journal*. American Medical Association (AMA), 47(1), pp. 48–53.
- Nelson, B. B. *et al.* (2015) 'Radiofrequency Probe and Sharp Transection for Tenoscopic-Guided Desmotomy of the Accessory Ligament of the Superficial Digital Flexor Tendon', *Veterinary Surgery*, 44(6), pp. 713–722.
- Nixon, A. J., Schachter, B. L. and Pool, R. R. (2004) 'Exostoses of the caudal perimeter of the radial physis as a cause of carpal synovial sheath tenosynovitis and lameness in horses: 10 cases (1999-2003).', *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 224(2), pp. 264–70.
- Probst, A. *et al.* (2008) 'Anatomical features of the carpal flexor retinaculum of the horse', *Journal of Veterinary Medicine Series C: Anatomia Histologia Embryologia*, 37(6), pp. 415–417.
- Radtke A, Fortier LA, Regan S, Kraus S, Delco ML. (2019) 'Intra-articular anaesthesia of the equine stifle improves foot lameness.' *Equine Veterinary Journal* 52(2):314–9
- Rantanen, N. W. (2007) 'Carpal tunnel syndrome in horses.', in *American Association of Equine Practitioners (ed), Proceedings of a conference on : Focus on lameness and imaging*. Fort Collins, Colorado, USA, 1st August 2007, pp. 115–117.
- Reimer, J. M. (2003) 'Acute desmitis of the accessory ligament of the superficial digital flexor tendon (proximal check ligament) in 26 thoroughbred race horses : clinical features and prognosis for racing.', in *Proceedings of the 49th Annual Convention of the AAEP*. New Orleans, Louisiana, USA, pp. 189–193.
- Rijkenhuizen, A. B. M. and Németh, F. (1994) 'Accessory carpal bone fractures in the horse', *Veterinary Quarterly*, 16(sup2), pp. 101–103.
- Ross, M. and Dyson, S. (2010) *Diagnosis and Management of Lameness in the Horse: Second Edition*, *Diagnosis and Management of Lameness in the Horse: Second Edition*.
- Senior, J. . (2013) 'Morbidity, Mortality, and Risk of General Anesthesia in Horses', *Progress*

- in *Physical Geography*. Elsevier Inc, 29, pp. 1–18.
- Shields, G.E., Barrett, M.F., & Johnson, S. (2015). "How to Ultrasound the Carpal Canal and Caudal Antebrachium." *AAEP proceeding*, vol. 61
- Silva, G. B. *et al.* (2015) 'Duration and Efficacy of Different Local Anesthetics on the Palmar Digital Nerve Block in Horses', *Journal of Equine Veterinary Science*. Elsevier Ltd, 35(9), pp. 749–755.
- Smith, L. J. and Mair, T. S. (2007) 'Rupture of the superficial flexor tendon in the forelimb in aged horses: a report of nine cases', *Equine Veterinary Education*, 19(4), pp. 183–186.
- Southwood, L. L. *et al.* (1997) 'Lateral approach for endoscopic removal of solitary osteochondromas from the distal radial metaphysis in three horses.', *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 210(8), pp. 1166–8.
- Southwood, L. L., Stashak, T. S. and Kainer, R. A. (1998) 'Tenoscopic anatomy of the equine carpal flexor synovial sheath', *Veterinary Surgery*, 27(2), pp. 150–157.
- Squire, K. R. *et al.* (1992) 'Arthroscopic removal of a palmar radial osteochondroma causing carpal canal syndrome in a horse.', *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 201(8), pp. 1216–8.
- Stashak Ted S. (2011) *Adams and Stashak's Lameness in Horses*. Wiley-Blac. Edited by G. M. Baxter.
- Taylor, A., & McLeod, G. (2020) "Basic pharmacology of local anaesthetics." *BJA Education*, 20(2), 34-41.
- Voigt, J. D., Mosier, M. and Huber, B. (2014) 'In-office diagnostic arthroscopy for knee and shoulder intra-articular injuries its potential impact on cost savings in the United States', *BMC Health Services Research*, 14(1), pp. 1–9.
- Vulcano, L. C. *et al.* (1997) 'Radiographic study of distal radial physal closure in thoroughbred horses', *Veterinary Radiology and Ultrasound*, 38(5), pp. 352–354.
- Wilson, A. and Weller, R. (2010) 'The Biomechanics of the Equine Limb and Its Effect on Lameness', in *Diagnosis and Management of Lameness in the Horse: Second Edition*, pp. 270–281.
- Woolf CJ, Ma Q. (2007) 'Review nociceptors — noxious stimulus detectors.' *Neuron*. 353–364.
- Wright, I. M. and Minshall, G. J. (2012) 'Clinical, radiological and ultrasonographic features,

treatment and outcome in 22 horses with caudal distal radial osteochondromata', *Equine Veterinary Journal*, 44(3), pp. 319–324.

Zetterström, S. M., Johansson, B. C. and Carmalt, J. L. (2017) 'Evaluation of clinical and tenoscopic findings in the carpal flexor sheath of horses', *American Journal of Veterinary Research*, 78(7), pp. 840–846.