

Université de Montréal

Mise au point d'une technique de sinusoscopie peu invasive
chez le cheval

par Morgane Pouyet

Département de sciences cliniques
Faculté de médecine vétérinaire

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

Décembre 2018

© Morgane Pouyet, 2018

Résumé

Les affections sinusales sont la première cause de jetage nasal unilatéral chez les chevaux. Cependant, la complexité anatomique de la région rend le diagnostic difficile avec la radiologie et l'endoscopie, et l'utilisation des techniques diagnostiques plus avancées comme la tomodensitométrie est souvent limitée par le manque de disponibilité et les coûts. Par conséquent, la sinusoscopie est souvent la technique disponible avec le meilleur taux diagnostic (70%) mais demeure invasive (trépanation de 10 à 15 mm) et peu pratique dans certains cas.

Notre hypothèse est que le développement d'une technique de sinusoscopie peu invasive (TSPI), réalisée par une mini-trépanation avec une aiguille 14G (2 mm de diamètre), combinée à l'utilisation d'un nouvel endoscope flexible de 2 mm de diamètre, peut permettre d'obtenir une évaluation exhaustive des différents sinus paranasaux.

Durant les deux premières phases du projet, réalisées sur des cadavres, les repères anatomiques pour réaliser une mini-trépanation des différents sinus ont été déterminés puis la visualisation des différents compartiments sinusaux a été évaluée en attribuant un score pour chaque structure sinusale. Dans une troisième phase, la TSPI a été appliquée sur des chevaux debout sous sédation afin de déterminer la faisabilité et les éventuelles complications chez des chevaux vivants.

Les repères déterminés durant la phase 1 ont permis une exploration exhaustive et satisfaisante des sinus durant les deux phases suivantes. L'ensemble des chevaux a bien toléré la procédure et aucune complication sérieuse n'a été rapportée. La technique développée est facile à réaliser et peut faciliter le diagnostic des affections sinusales par tous les vétérinaires spécialistes ou non.

Mots-clés : sinusoscopie, sinus, chirurgie minimalement invasive, cheval, équin

Abstract

Paranasal sinus disease is the most common cause of unilateral nasal discharge in horses. However, achieving a definitive diagnosis using radiology and endoscopy is difficult due to the complex anatomy of the sinuses, and the use of computed tomography (gold standard) is often limited due to its cost and low availability. Consequently, sinoscopy is often the available diagnostic technique with the highest diagnostic rate (70%) but it remains invasive (10 to 15 mm trepanation) and unpractical in some cases.

Our hypothesis is that the development of a minimally invasive sinoscopic technique (MIST), performed through a mini-trepanation with a 14G needle (2 mm trephination) and combined with the use of a novel flexible 2mm diameter endoscope, can allow an exhaustive evaluation of the paranasal sinuses.

During the first two cadaveric phases of the project, we determined the exact anatomic landmarks to perform the mini-trepanation in the different sinuses, and the visualization of the different sinus compartments was assessed by attributing a score to each sinusal structure. In the last phase of the study, the MIST was performed on standing sedated horses to determine the feasibility and possible complications associated to the technique.

The landmarks determined in the first phase allowed a thorough evaluation of the sinuses in the following phases. The horses tolerated well the procedure and no serious complications were reported. The technique developed during this study is easy to perform and could facilitate the diagnosis of paranasal sinus diseases for all veterinarians specialized or not.

Keywords: sinoscopy, sinus, minimally invasive surgery, horse, equine

Table des matières

Résumé	ii
Abstract.....	iii
Table des matières.....	iv
Liste des tableaux	vi
Liste des figures	vii
Liste des abréviations	viii
Remerciements.....	ix
Introduction	1
I Revue de la littérature	3
I.1 Anatomie.....	3
I.1.1 Les sinus paranasaux.....	3
I.1.1.1 Sinus maxillaire.....	4
I.1.1.2 Sinus conchaux	6
I.1.1.3 Sinus ethmoïdal	7
I.1.1.4 Sinus sphéno-palatinal.....	7
I.1.2 La cavité nasale	8
I.2 Pathologie des sinus.....	9
I.2.1 Sinusite bactérienne primaire.....	9
I.2.2 Sinusite bactérienne secondaire (dentaire)	10
I.2.3 Sinusite fongique.....	10
I.2.4 Kyste sinusal	11
I.2.5 Tumeurs sinusales	11
I.2.6 Hématome progressif de l'ethmoïde	12
I.2.7 Sinusite traumatique	12
I.3 Diagnostic.....	13
I.3.1 Signes cliniques	13
I.3.2 Endoscopie des voies respiratoires supérieures	14
I.3.3 Examen dentaire	16
I.3.4 Radiographie	17
I.3.5 Tomodensitométrie.....	20
I.3.6 Imagerie par résonance magnétique	22
I.3.7 Scintigraphie.....	24
I.3.8 Sinusoscopie	25
I.4 Traitements.....	28
I.4.1 Traitement médical	29
I.4.2 Lavage sinusal.....	29
I.4.3 Sinusotomie.....	30
I.4.3.1 Volet maxillaire.....	31
I.4.3.2 Volet frontonasal.....	32
I.4.4 Répulsion dentaire	34
I.4.5 Complications des chirurgies sinusales	35
I.5 Conclusion.....	36
I.6 Hypothèse et objectifs	37
II Article.....	39

II.1 Abstract	40
II.2 Introduction	41
II.3 Material and methods.....	42
II.3.1 Equipment	42
II.3.2 Phase 1	43
II.3.3 Phase 2	43
II.3.4 Phase	45
II.3.5 Statistical analysis.....	46
II.4 Results	46
II.4.1 Phase 1	46
II.4.2 Phase 2	47
II.4.3 Phase 3	49
II.5 Discussion.....	53
II.6 Acknowledgement	57
II.7 References	58
III Discussion générale	60
IV Conclusion et perspectives	65
Bibliographie	66

Liste des tableaux

Tableau I. Taux diagnostique de la radiographie en fonctions des types de maladie sinusale (extrapolé de Tremaine et al, 2001).....18

Tableau II. Changements radiographiques observés en fonction du type de maladie sinusale (extrapolé de Dixon et al, 2012).....19

Tableau III. Visualization scores (in %) obtained for each individual approach during phase 2 with the needle and the Steinmann pin. For each approach, scores obtained for each structure were added up to represent the global visualization score achieved with that approach.48

Tableau IV. Visualization scores (in %) obtained for each approach during phase 3. For each approach, scores obtained for each structure were added up to represent the global visualization score achieved with that approach.....50

Liste des figures

Figure 1. Vue rostro-latérale des sinus paranasaux du cheval.....	6
Figure 2. Vues dorsales du sinus concho-frontal.....	6
Figure 3. Vue latérale des bulles nasales après retrait de l'os frontal et de leur paroi latérale.....	9
Figure 4. Sites de trépanation du sinus frontal (A), du sinus maxillaire caudal (B) et du sinus maxillaire rostral (C).....	26
Figure 5. Sites de réalisation des volets osseux du sinus frontal (A) et maxillaire (B).....	33
Figure 6. Image depicting the novel 2 mm flexible endoscope attached to the camera and the monitor.....	42
Figure 7. Image depicting needle placement to perform mini-sinusotomy in the frontal, caudal maxillary and rostral maxillary sinuses.....	47
Figure 8. Endoscopic images highlighting the structures visualized during the MIST in the right frontal sinus of a horse.....	50
Figure 9. Endoscopic images highlighting the structures visualized during the MIST in the caudal maxillary sinus of a horse.....	51
Figure 10. Endoscopic images highlighting the structures visualized during the MIST in the right rostral maxillary sinus of a horse.....	51

Liste des abréviations

BNCD	Bulle Nasale Conchale Dorsale
BNCV	Bulle Nasale Conchale Ventrale
BSM	Bulle du Septum Maxillaire
CIO	Canal Infra-orbitaire
CMS	Caudal Maxillary Sinus
CT	Computed Tomography
DCS	Dorsal Conchal Sinus
FS	Frontal Sinus
IRM	Imagerie par Résonance Magnétique
MIST	Minimally Invasive Sinoscopic Technique
MSB	Maxillary Septal Bulla
PVS	Polyvinyl siloxane
RMS	Rostral Maxillary Sinus
SCD	Sinus Conchal Dorsal
SCF	Sinus Concho-frontal
SCV	Sinus Conchal Ventral
SF	Sinus Frontal
SMC	Sinus Maxillaire Caudal
SMR	Sinus Maxillaire Rostral
TSPI	Technique de Sinusoscopie Peu Invasive
VCS	Ventral Conchal Sinus

Remerciements

Je souhaite tout d'abord remercier chaleureusement mon directeur de recherche Dr Alvaro Bonilla pour m'avoir proposé ce sujet de maîtrise et pour son épaulement et son implication dans la réalisation de mon projet.

Merci au jury pour l'évaluation de ce manuscrit.

Merci à Roxane Boivin, Hélène Richard et Khristine Picotte pour leur aide et leur patience !

Merci à Maxime Ouellette pour son aide précieuse et ses encouragements.

Merci à Roxane Westerfeld et Juliette Raulic pour leur soutien sans failles.

Merci à Rosalie Fortin d'avoir apporté sa bonne humeur lors de la réalisation de la deuxième phase du projet !

Enfin, merci à ma famille et mes amis en France, qui me soutiennent sans relâche malgré la distance.

Introduction

Les sinus paranasaux du cheval sont composés de sept cavités différentes remplies d'air (sinus frontal, sinus conchal dorsal, sinus maxillaire, sinus ethmoidal, sinus sphéno-palatin, sinus maxillaire rostral et sinus conchal ventral). Ces structures sont en relation avec les voies respiratoires supérieures et les racines des dents maxillaires, et leur fonction est encore incertaine. Les sinus sont souvent affectés par des maladies très diverses : sinusites primaires ou secondaires à une infection dentaire, kystes sinusaux, tumeurs, etc. Le sinus frontal et le sinus maxillaire sont prédisposés aux infections mais tous les sinus peuvent être affectés.

Les affections sinusales sont la cause la plus fréquente de jetage nasal unilatéral chez le cheval, cependant leur diagnostic et leur traitement restent difficiles à cause de l'anatomie complexe des sinus (Tremaine and Dixon, 2001a). En effet, les techniques d'imagerie traditionnelles comme l'endoscopie des voies respiratoires supérieures et la radiographie permettent d'obtenir un diagnostic définitif dans seulement environ 40% des cas, ce qui contribue à la présentation chronique et au taux de récurrence élevé des affections sinusales (Tremaine and Dixon, 2001a, Dixon et al., 2012a, Barakzai and Dixon, 2014).

Au cours des dernières décennies, les progrès de l'imagerie avancée en médecine équine ont permis d'améliorer les connaissances sur l'anatomie et la pathologie des sinus (De Zani et al., 2010, Kaminsky et al., 2016, Henninger et al., 2003).

La tomodensitométrie (CT) est maintenant la technique de référence pour diagnostiquer les atteintes sinusales (Tremaine and Dixon, 2001a, Textor et al., 2012, Tucker et al., 2016, Liuti et al., 2017, Cissell et al., 2012). Malheureusement, la démocratisation de son utilisation est limitée par le coût de la procédure, en relation de la nécessité d'une anesthésie générale dans la majorité des institutions dans l'Amérique du nord, et les installations nécessaires pour cet équipement. C'est pourquoi la sinusoscopie, technique plus invasive, est utilisée en complément de l'imagerie traditionnelle afin d'augmenter jusqu'à 70% les chances d'établir un diagnostic précis. La sinusoscopie est une technique qui consiste à introduire dans les sinus un endoscope flexible, habituellement de 10mm de diamètre, par un trou de trépan de 15 à 25 mm afin de visualiser les sinus directement. Elle permet à la fois le diagnostic et parfois le traitement des différentes affections sinusales.

Cette technique est couramment utilisée en médecine équine mais elle demeure invasive, avec un taux de complications de 5% (principalement associées à l'approche chirurgicale), et

peut nécessiter de multiples trépanations pour réaliser un examen approfondi des différents sinus, ce qui rend cette option peu pratique dans certains cas (Tremaine et Dixon, 2001a, Easley et Freeman, 2013b, Barakzai et al., 2008, Perkins et al., 2009b).

Ainsi, nous pensons que le développement d'une technique de sinusoscopie peu invasive (TSPI) serait d'une grande utilité pour les praticiens équins, généralistes ou spécialistes.

I. Revue de la littérature

I.1. Anatomie

I.1.1. Les sinus paranasaux

Les sinus paranasaux chez les chevaux sont composés de sept cavités qui communiquent entre elles, remplies d'air et recouvertes par un épithélium de type respiratoire, composé de cellules ciliées, de cellules en brosse et de cellules à mucus, mais moins vascularisé que l'épithélium qui tapisse la cavité nasale (Dixon et Head, 1999). Ces cavités sont le sinus frontal, le sinus conchal dorsal, le sinus maxillaire caudal, le sinus ethmoïdal, le sinus sphéno-palatinal, le sinus maxillaire rostral et le sinus conchal ventral. Le sinus frontal se prolonge rostralement et médialement jusqu'au sinus conchal dorsal, c'est pourquoi il est communément nommé « sinus concho-frontal » (SCF) (O'Leary et P.M.Dixon, 2011).

Les cinq premiers sinus communiquent entre eux, tout comme le sinus maxillaire rostral et le sinus conchal ventral, formant ainsi deux groupes fonctionnels différents, le système sinusal caudal et rostral, respectivement (Brinkschulte et al., 2013). Les deux systèmes drainent séparément dans la cavité nasale au niveau du méat nasal moyen (Tatarniuk et al., 2010).

La fonction des sinus paranasaux a été l'objet de nombreux débats dans le passé, et encore aujourd'hui elle demeure incertaine. Il a été suggéré que la présence des sinus permettait d'alléger le poids du crâne, d'augmenter la surface olfactive, d'humidifier et de réchauffer l'air inspiré ou encore d'aider à la flottaison (Keir, 2009, Curtis et al., 2015, Marquez, 2008). Certains chercheurs pensent que la présence des sinus est uniquement un vestige évolutif. Une théorie plus récente propose que les sinus participent activement à renforcer les défenses immunitaires de la cavité nasale et ont un rôle dans la production de monoxyde d'azote (Keir, 2009). Ce dernier est produit à la fois par les cellules de la cavité nasale et des sinus, et agit en limitant le développement viral et bactérien, et en stimulant la motilité ciliaire (Keir, 2009).

Le volume des sinus augmente avec l'âge au fur et à mesure de la croissance des dents, pour un volume total variant entre 911.5 et 1502 mL chez les chevaux adultes de taille moyenne (J.A.Auer et J.A.Stick, 2011, Brinkschulte et al., 2013). Il n'y a pas de différence de volume selon le côté, et les sinus les plus volumineux sont le sinus maxillaire caudal et le sinus frontal (Brinkschulte et al., 2013). Dans la grande majorité des cas, les trois dents molaires (09, 10,

11) sont en contact avec les sinus, ce qui est beaucoup plus variable pour ce qui concerne la 4^e prémolaire (08) (Brinkschulte et al., 2013).

Les sinus paranasaux sont irrigués et drainés par différentes artères et veines : l'artère et veine ethmoïde pour le sinus concho-frontal et une branche de l'artère et veine sphéno-palatine pour les sinus maxillaires. L'anastomose des artères et veines ethmoïdales internes et externes irrigue le sinus ethmoïdal et le sinus sphéno-palatin (Easley et Freeman, 2013a). Les sinus sont innervés principalement par le nerf maxillaire et le nerf ethmoïdal (Tremaine, 2007, Budras et al., 2011, Caruso et al., 2016).

Nous allons maintenant décrire chaque sinus en détails :

I.1.1.1. Sinus maxillaire

Le sinus maxillaire est le plus grand des sinus et le plus prédisposé aux infections, de par sa communication directe avec la cavité nasale et par la présence des racines dentaires des molaires et prémolaires (J.A.Auer et J.A.Stick, 2011). Il est divisé en deux compartiments, rostral et caudal, par un septum osseux oblique (Fig 1). La position de ce septum varie avec l'âge : sa partie rostrale débute au niveau de la 1^{ère} molaire (09) chez les chevaux de moins de 5 ans, alors que chez les chevaux plus âgés (plus de 15 ans), la limite rostrale du septum se trouve le plus souvent au niveau de la 2^e molaire (10), voire parfois au niveau de la 3^e molaire (11) (Brinkschulte et al., 2013). L'intégrité de ce septum était discutée dans le passé mais plusieurs études ont montré que ce septum est complet et que sa partie dorsale forme la bulle du septum maxillaire (BSM) (Brinkschulte et al., 2013).

Le système sinusal rostral est divisé en deux compartiments, médial et latéral, par le canal infra-orbitaire (CIO). Le compartiment latéral correspond au sinus maxillaire rostral et comprend parfois les racines de la 4^e prémolaire (dent 08) et toujours de la 1^{ère} molaire (dent 09). Son volume moyen est de 62.8 +/- 32.26 mL (Brinkschulte et al., 2013). Chez les jeunes chevaux de moins de cinq ans, la majorité du sinus maxillaire rostral est occupée par les racines des dents 08 et 09, ce qui rend la trépanation de ce sinus chez les jeunes patients contre-indiquée (Barakzai et al., 2008). Le compartiment médial est en fait le sinus conchal ventral, dont le volume moyen est de 52.6 +/- 19.46 mL (Brinkschulte et al., 2013). En général, le sinus conchal ventral draine dans le sinus maxillaire rostral par l'ouverture concho-

maxillaire par-dessus le canal infra-orbitaire puis ensuite dans la cavité nasale par l'ouverture naso-maxillaire du sinus maxillaire rostral (Tatarniuk et al., 2010).

Le système de communication entre les sinus et la cavité nasale est très complexe, et joue un rôle important dans le développement des sinusites chez le cheval. Une étude de 2014 décrit le système de drainage des sinus maxillaires comme suit : un canal rostral (*Canalis sinusalis rostralis*), connecté au système sinusal rostral et un canal caudal (*Canalis sinusalis caudalis*), connecté au sinus maxillaire caudal (Brinkschulte et al., 2014). Les auteurs ont montré que le canal caudal est toujours directement connecté au sinus maxillaire caudal alors que l'entrée du canal rostral peut varier. Dans la plupart des cas, le canal rostral est uniquement relié au sinus maxillaire rostral (52.6%), mais il peut communiquer à la fois avec le sinus maxillaire rostral et le sinus conchal ventral (42.1% des cas) ou dans des cas plus rares, uniquement avec le sinus conchal ventral (5%).

Le sinus maxillaire caudal est plus grand que le rostral (volume moyen de 200+/- 38 mL) et comprend habituellement les racines dentaires des dents 10 et 11 (Brinkschulte et al., 2013). Il est partiellement divisé par le CIO, au-dessus duquel il communique directement avec le sinus sphéno-palatin. Le sinus maxillaire caudal communique dorsalement avec le sinus concho-frontal à travers le foramen frontomaxillaire (Brinkschulte et al., 2014). Le sinus maxillaire caudal draine dans la cavité nasale par l'ouverture naso-maxillaire du sinus maxillaire caudal.

Comme mentionné avant, les ouvertures naso-maxillaires débouchent dans le méat moyen de la cavité nasale (Tatarniuk et al., 2010). L'entrée depuis le sinus maxillaire caudal comprend la BSM ventralement, l'os maxillaire latéralement, le plancher du sinus conchal dorsal dorsalement et la paroi médiale du sinus conchal ventral médialement. L'entrée depuis le sinus maxillaire rostral se situe habituellement directement médialement au canal nasolacrimal, contre l'os maxillaire, rostro-latéralement à l'entrée reliée au sinus maxillaire caudal (Tatarniuk et al., 2010).

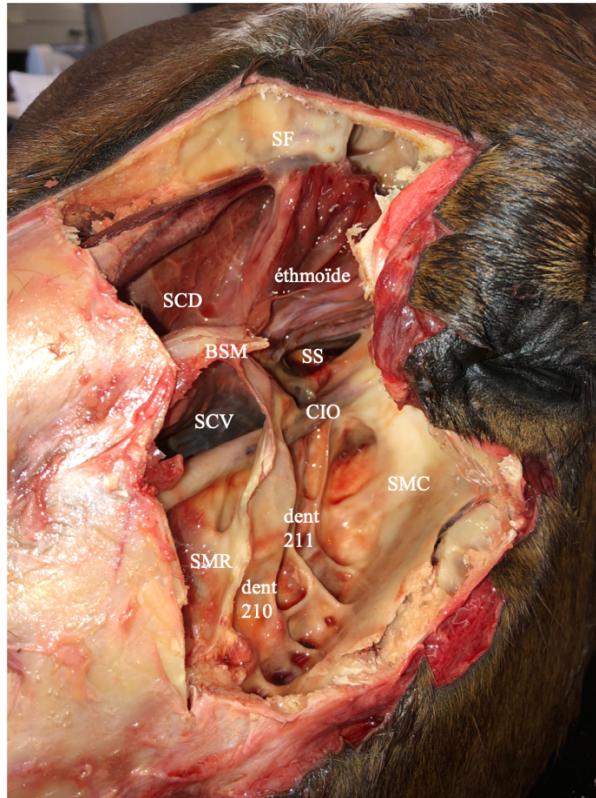


Figure 1. Vue rostro-latérale des sinus paranasaux du cheval. SF, sinus frontal ; SCD, sinus conchal dorsal; BSM, bulle du septum maxillaire; CIO, canal infra-orbitaire; SCV, sinus conchal ventral; SS, sinus sphéno-palatin; SMC, sinus maxillaire caudal; FIO, foramen infra-orbitaire.

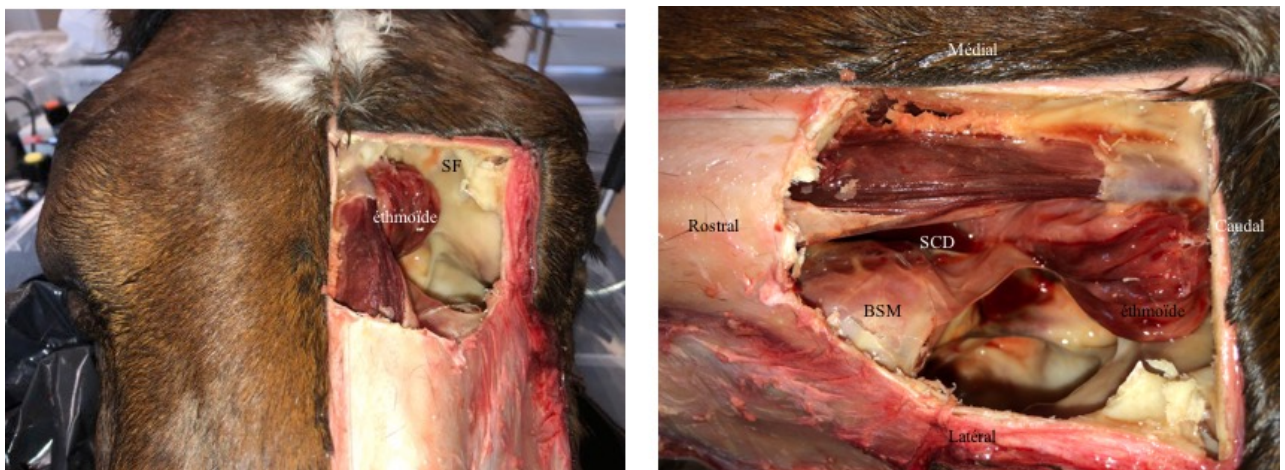


Figure 2. Vues dorsales du sinus concho-frontal. SF, sinus frontal; SCD, sinus conchal dorsal; BSM, bulle du septum maxillaire.

I.1.1.2. Sinus conchaux

Les sinus conchaux sont situés en arrière des cornets naseaux et sont au nombre de deux, dorsal et ventral, divisés par un septum osseux (Fig 1).

Une large communication existe entre la région rostro-médiale du sinus frontal et le sinus conchal dorsal, formant le sinus concho-frontal (volume moyen de 227,8 +/- 39 mL) (Brinkschulte et al., 2013). Le sinus concho-frontal occupe la partie dorsale du crâne, dorsalement aux volutes de l'éthmoïde et dorsal et rostral au cerveau (Fig 2). Il est délimité rostralement par une ligne perpendiculaire allant de la ligne médiane à un point situé à mi-distance entre le canthus médial de l'œil et le foramen infra-orbitaire. Sa limite caudale se situe en regard de l'articulation temporo-mandibulaire, sa limite latérale est représentée par une ligne allant du canthus médial de l'œil à l'incisure naso-incisive (Rush et Mair, 2004). Le drainage s'effectue à travers le foramen fronto-maxillaire vers le sinus maxillaire caudal.

Le sinus conchal ventral draine indirectement ou directement dans la cavité nasale à travers le sinus maxillaire rostral. L'obstruction de cette communication avec la cavité nasale lors d'atteinte du sinus conchal ventral peut expliquer pourquoi il est prédisposé à des accumulations de pus épais (Easley et Freeman, 2013a).

Le sinus maxillaire rostral et le sinus conchal ventral peuvent être atteint directement ou par le sinus frontal en perforant la bulle du septum maxillaire au niveau de l'ouverture fronto-maxillaire (J.A.Auer et J.A.Stick, 2011).

I.1.1.3. Sinus éthmoïdal

Le sinus éthmoïdal est creusé très profondément dans la masse latérale de l'éthmoïde et est constitué de plusieurs cavités. Il est également drainé à travers le sinus sphéno-palatin dans le sinus maxillaire caudal. Il est également nommé sinus conchal moyen par certains auteurs (Brinkschulte et al., 2013).

I.1.1.4. Sinus sphéno-palatin

Les sinus sphénoïde et palatin sont habituellement continus et forment le sinus sphéno-palatin (volume moyen 28,6 +/- 7,7 mL) (Fig 1). Il s'agit d'un diverticule du sinus maxillaire caudal, situé en dessous de l'éthmoïde et du cerveau. Les sinus droit et gauche sont séparés par un septum mais différentes études ont montré que l'anatomie du sinus sphéno-palatin est très variable d'un individu à un autre (McCann et al., 2004, Tucker et al., 2016). Par exemple, le septum peut être incomplet ou dévié chez certains chevaux, ce qui peut expliquer un jetage nasal bilatéral rencontré chez certains patients atteints unilatéralement. Il est important de noter

que les parois dorsales et latérales du sinus sphéno-palatin sont très fines et directement adjacentes aux nerfs crâniens II, III, IV, V et VI ainsi qu'à différents vaisseaux majeurs, ce qui entraîne des répercussions cliniques spécifiques lorsque ce sinus est atteint (McCann et al., 2004, O'Leary et P.M.Dixon, 2011). Le sinus sphéno-palatin est drainé à travers le sinus maxillaire caudal dans le méat nasal moyen.

I.1.2. La cavité nasale

Les sinus sont en contact direct avec la cavité nasale au niveau du méat moyen. Elle est divisée en deux parties par l'os vomer et le septum nasal. Chaque cavité est composée de deux cornets (dorsal et ventral), qui divisent la cavité en trois méats (dorsal, moyen et ventral) (Budras et al., 2011). Le méat ventral est le plus grand, ce qui en fait une voie d'accès idéale pour l'endoscopie nasale. Les cornets nasaux sont des rouleaux partiellement ossifiés qui s'étendent depuis les parois latérales de la cavité nasale. Ils sont recouverts par un épithélium cilié pseudostratifié (respiratoire) (Budras et al., 2011).

Les sinus conchaux sont situés en arrière de ces cornets et chaque cornet nasal contient une bulle remplie d'air nommée *bulla conchalis dorsalis* et *bulla conchalis ventralis* soit « bulle nasale conchale dorsale », BNCD et « bulle nasale conchale ventrale », BNCV (Liuti et al., 2016). Des empyèmes de ces bulles associés à une infection des sinus ont récemment été rapportés (Dixon et al., 2015).

L'anatomie et les dimensions de ces bulles ont été décrites dans des études récentes (Froydenlund et al., 2015, Liuti et al., 2016). Chaque bulle nasale conchale est divisée par un nombre variable de septum vertical ou oblique en des « cellules ». La bulle dorsale présente une structure plus complexe que la bulle ventrale, avec un nombre augmenté de septum et de « cellules ». Chaque septum est très fin et est très probablement déchiré lors d'empyème. Des orifices de drainage vers le méat moyen sont présents dans chaque bulle, ventralement pour la bulle nasale dorsale et dorsalement pour la bulle nasale ventrale. Ces orifices peuvent varier en taille, forme et nombre d'un cheval à l'autre. Le drainage ventral est certainement plus efficace, ce qui pourrait expliquer la prédominance des cas d'empyèmes dans la bulle ventrale (Dixon et al., 2015).

Ces différentes études n'ont pas montré de communication entre les bulles conchales nasales et les sinus paranasaux, bien qu'il semble que l'empyème des bulles conchales nasales survient après propagation d'une infection des sinus (Dixon et al., 2015). A cause de cette

séparation chez la plupart des chevaux, le lavage des sinus seul ne peut pas résoudre les cas d'empyème des bulles nasales associées à des sinusites, et un accès chirurgical à ces bulles est donc essentiel.

De manière similaire au reste de la cavité nasale, les bulles nasales conchales sont tapissées d'un épithélium de type respiratoire cilié pseudostratifié (Froydenlund et al., 2015).

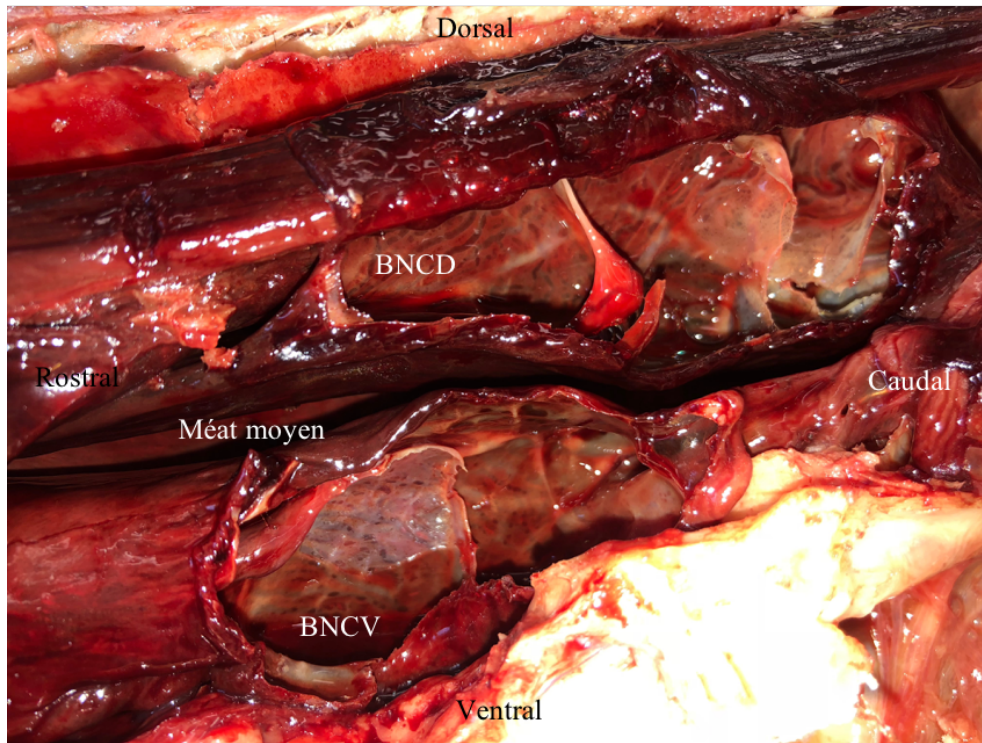


Figure 3. Vue latérale des bulles nasales après retrait de l'os frontal et de leur paroi latérale. BNCD, bulle nasale conchale dorsale ; BNCV bulle nasale conchale ventrale.

1.2. Pathologie des sinus

La localisation superficielle des sinus dans la tête et leur proximité avec les cavités orales et nasales les prédisposent à de nombreuses affections. Les différentes affections sinusales touchent tous les types de chevaux sans qu'il semble exister de prédispositions particulières liées à la race ou au sexe. Voici une brève description des affections sinusales les plus communes :

1.2.1. Sinusite bactérienne primaire

Un diagnostic de sinusite primaire est établi lorsqu'une infection sinusale bactérienne est confirmée par une cytologie ou une culture bactérienne et n'a pas d'autres causes possibles

qu'une extension d'une infection respiratoire (Tremaine et Dixon, 2001a). Lors d'une infection, l'inflammation et l'épaississement de la muqueuse sinusale perturbent le bon fonctionnement de l'appareil muco-ciliaire et obstruent complètement ou partiellement les voies de drainage, permettant aux bactéries de se développer dans l'ensemble des sinus. Ce type de sinusites se résout généralement spontanément ou après administration d'antibiotiques, associé ou non à un lavage des sinus, avec un taux de rémission de 91 à 95% après traitement (Dixon et al., 2012b). Les cas plus sévères peuvent devenir chronique, suite à une obstruction totale du drainage ou à la formation de pus épais, nécessitant un traitement chirurgical (O'Leary et P.M.Dixon, 2011). Une identification précise des bactéries impliquées est rarement obtenue car dans la majorité des cas, une antibiothérapie a été mise en place avant de référer le patient. Dans les cas où une culture bactérienne est réalisée, une croissance mixte est souvent rapportée. *Pseudomonas aeruginosa* et *Streptococcus zooepidemicus* semblent prédominer dans une étude dans les cas de sinusite primaire et sinusite secondaires à un problème dentaire (Dixon et al., 2012a).

I.2.2. Sinusite bactérienne secondaire (dentaire)

Les sinusites secondaires aux problèmes dentaires surviennent après l'infection de la racine d'une ou plusieurs dents maxillaires (08, 09, 10, 11) à travers l'os alvéolaire, soit primairement (hématogène), soit après un trauma, une fracture dentaire idiopathique, une dent surnuméraire, une dysplasie dentaire ou un diastème (Dixon et al., 2000). La contamination bactérienne ascendante d'un sinus à partir d'un diastème profond et d'une impaction de nourriture peut être à l'origine d'une fistule oro-maxillaire (Hawkes et al., 2008). Elle touche principalement les chevaux âgés (20 ans et plus). Dans les cas les plus sévères, l'infection peut s'étendre à la peau et former une fistule sino-cutanée.

Les bactéries impliquées dans les infections dentaires incluent souvent des bactéries anaérobies, à l'origine d'un jetage nasal nauséabond (O'Leary et P.M.Dixon, 2011). Le taux de rémission (après extraction de la dent affectée) est très bon (82%) (Dixon et al., 2012b).

I.2.3. Sinusite fongique

Les mycoses sinusales primaires sont très rares, la grande majorité des mycoses sont opportunistes et surviennent généralement après une chirurgie ou le traitement d'un

hématome progressif de l'ethmoïde, et leur évolution est généralement auto-limitante (O'Leary et P.M.Dixon, 2011). *Aspergillus fumigatus* est le fongus le plus fréquemment rencontré (O'Leary et P.M.Dixon, 2011). Lorsque cliniquement significatives, leur pronostic après traitement médical ou chirurgical est très bon (83% de rémissions) (Dixon et al., 2012b). Cependant, elles peuvent être agressives localement et entraîner des dommages au niveau du canal infra-orbitaire, pouvant être l'origine de neuropathie du nerf trijumeau dans certains cas (Fiske-Jackson et al., 2012).

I.2.4. Kyste sinusal

Les kystes sont des lésions relativement communes, bénignes et d'origine inconnue. Ils causent souvent une obstruction des voies de drainage par compression des structures adjacentes, ce qui provoque une déformation du sinus affecté et de la tête, une diminution du flux d'air et une prédisposition aux infections secondaires (Woodford et Lane, 2006). Contrairement à ce qui a été rapporté dans le passé, les kystes sinusaux n'affectent pas préférentiellement les jeunes animaux (O'Leary et P.M.Dixon, 2011). Leur pronostic après traitement chirurgical est similaire à celui des sinusites bactériennes primaires (92%) (Dixon et al., 2012b).

I.2.5. Tumeurs sinusales

Elles sont décrites comme rares dans la littérature mais le nombre de cas semble augmenter ces dernières années (Knowles et al., 2016). Cela s'explique probablement par l'amélioration des techniques diagnostiques et par le fait que la population de chevaux vit plus longtemps qu'autrefois. En effet, ce type de tumeurs affecte le plus souvent les chevaux âgés (Knowles et al., 2016). Elles peuvent survenir à partir de différents tissus, les plus fréquentes sont les carcinomes épidermoïdes ou carcinome spinocellulaire, les adénocarcinomes et les carcinomes indifférenciés ; les tumeurs fibro-osseuses et dentaires sont aussi décrites mais plus rarement (Head et Dixon, 1999).

Ces tumeurs obstruent et déforment les sinus affectés de la même manière que les kystes, mais elles envahissent également les tissus environnants (cavité nasale et orale). Leur croissance expansive peut être à l'origine de destructions tissulaires sévères et leur pronostic de survie est très mauvais (22%) (Dixon et al., 2012b). Ces tumeurs, aussi agressives qu'elles

puissent être localement, ne sont généralement pas à l'origine de métastases (Head et Dixon, 1999).

I.2.6. Hématome progressif de l'ethmoïde (HPE)

Cette pathologie est décrite à l'origine comme un polype nasal hémorragique mais son étiologie n'est pas complètement comprise (Platt, 1975). Les Pur Sangs Arabes et les Pur Sangs Anglais de plus de sept ans semblent être prédisposés (Head et Dixon, 1999).

La lésion progresse habituellement depuis l'ethmoïde et grossit rostralement dans la cavité nasale, mais elle peut également se trouver dans les sinus maxillaire, frontal ou sphéno-palatin (Textor et al., 2012, Head et Dixon, 1999). Ces hématomes sont unilatéraux dans la plupart des cas mais peuvent devenir bilatéraux en s'étendant au-delà du septum ethmoïdal (Head et Dixon, 1999, Textor et al., 2012).

Les signes cliniques rencontrés sont une épistaxis chronique de bas grade, pouvant être associée à une infection bactérienne ou une mycose secondaire opportuniste (Head et Dixon, 1999).

Autrefois, ce type de lésion avait tendance à devenir récurrent et le taux de rémission après traitement était de seulement 33%, mais l'introduction du CT comme méthode de diagnostic semble avoir amélioré significativement ce chiffre (83%) (Tremaine et Dixon, 2001b, Dixon et al., 2012b, Textor et al., 2012). En effet, une meilleure définition de la localisation et de l'extension de la lésion permet de mettre en place un traitement approprié (injection intra-lésionnelle de formol ou résection chirurgicale).

I.2.7. Sinusite traumatique

Un traumatisme au niveau des os de la face peut être à l'origine d'une hémorragie au sein des sinus, qui se résout généralement en quelques semaines (pronostic de 92%) mais peut mener à l'installation d'une sinusite secondaire si un séquestre osseux ou une obstruction du drainage est présent (Dixon et al., 2012b). Lorsque le traumatisme provoque des fractures comminutives des os de la face, une fistule sino-cutanée peut se former et être à l'origine d'une sinusite chronique et d'un aspect cosmétique peu satisfaisant (Charman et Vasey, 2007).

I.3. Diagnostic

Un diagnostic précis des différentes pathologies précédemment décrite est essentiel pour leur traitement et leur pronostic.

Le premier pas pour obtenir un bon diagnostic est d'obtenir une anamnèse et des commémoratifs complets, incluant la race, l'âge, le genre, les signes cliniques et leur durée, ainsi que la réponse à un éventuel traitement préalable. Cette première étape sera suivie par différents tests diagnostiques.

I.3.1. Signes cliniques

En général, les différents signes cliniques rencontrés ne sont pas spécifiques d'une pathologie en particulier mais ils sont habituellement très indicatifs d'une maladie sinusale. Les signes les plus rapportés à l'admission sont un jetage nasal unilatéral dans 91.5% des cas et une déformation de la face au niveau de la région frontale ou maxillaire (60% des cas de néoplasie, 46% des cas de kystes et sinusites traumatiques mais seulement 22% des sinusites primaires) (Tremaine et Dixon, 2001b, Dixon et al., 2012b). En fait, les sinusites sont la première cause de jetage nasal unilatéral chez le cheval (Tremaine et Dixon, 2001a). Il est également à noter qu'une déformation focale de la face n'a pas nécessairement pour origine une atteinte sinusale. Une déformation peut aussi être observée avec les kystes d'éruption dentaire des maxillaires 06-08 ou une exostose des sutures de croissances de la tête (O'Leary et P.M.Dixon, 2011).

Un jetage purulent est suggestif d'une sinusite primaire ou dentaire (plus malodorante étant donné la prolifération bactérienne anaérobie), d'un kyste ou d'une néoplasie (Tremaine et Dixon, 2001a, Woodford et Lane, 2006). Un jetage principalement mucoïde est plutôt en faveur d'un kyste (s'il n'y a pas de surinfection secondaire) (Tremaine et Dixon, 2001a, Beard et Hardy, 2001, Gergeleit et al., 2018). Une épistaxis est en faveur d'un hématome progressif de l'éthmoïdeou d'une sinusite traumatique. Un jetage nasal bilatéral est généralement associé aux infections de l'appareil respiratoire inférieur, mais il peut être présent dans les cas de sinusites bilatérales, de tumeurs ou de variation anatomique des sinus (septum sphéno-palatin incomplet ou dévié par exemple) (Tucker et al., 2016).

Après avoir réalisé un examen complet, une palpation et percussion des sinus frontal et maxillaire sont réalisées. La palpation permet de déterminer la nature d'une déformation de

la face (dure, molle...). La percussion est positive lorsqu'un son mat est entendu, suggérant la présence de liquide ou d'une masse au sein du sinus (Rush et Mair, 2004).

Lorsque cela peut être réalisé, l'aspiration du contenu des sinus peut être diagnostique : un liquide jaune clair indique un kyste alors que l'absence de liquide ou un petit volume de sang, associé à la présence d'une masse, est plus en faveur d'une tumeur, au pronostic très différent (O'Leary et P.M.Dixon, 2011).

Une lymphadénopathie sous-mandibulaire ipsilatérale peut être présente, principalement dans les cas de sinusite fongique (83%), bactérienne primaire (80%), de sinusite dentaire (79%) et de néoplasie (70%) (O'Leary et P.M.Dixon, 2011).

L'épiphora est consécutif à une compression ou un blocage du canal naso-lacrimal le long de son parcours. Il est communément associé aux kystes sinusaux (42% des cas) et aux sinusites dentaires (34%), plus rarement aux néoplasies (24%), sinusites primaires (20%) et hématome progressif de l'éthmoïde (5%) (Tremaine et Dixon, 2001b, Dixon et al., 2012b).

Les signes relativement moins fréquents pouvant être rencontrés sont une exophtalmie, une épistaxis, des fistules, une diminution du flux d'air, des bruits respiratoires anormaux, une perte de poids et des troubles neurologiques (O'Leary et P.M.Dixon, 2011). Dans les cas d'atteinte sinusale, l'exophtalmie peut être secondaire à une fracture de l'orbite ou à la présence d'une masse rétrobulbaire, qui est presque toujours une tumeur (Beard et Hardy, 2001). Une épistaxis est souvent rencontrée dans les cas d'hématome progressif de l'éthmoïde et de trauma mais peut aussi survenir dans les cas de néoplasies (O'Leary et P.M.Dixon, 2011). Les fistules sino-cutanées sont peu rapportées, elles surviennent souvent en tant que complication après une chirurgie ou après un trauma (O'Leary et P.M.Dixon, 2011). La comparaison des colonnes d'air de chaque nasaux peut révéler une obstruction du méat nasal, qui peut être engendré par un kyste sinusal, une tumeur ou une sinusite chronique avec déformation axiale du sinus conchal ventral (Dixon et al., 2012b). Des signes neurologiques peuvent survenir par l'expansion d'une masse au cerveau à travers la lame criblée de l'éthmoïde (adénocarcinome par exemple), de l'infection du sinus sphéno-palatin ou de sinusite fongique (Dixon et al., 2011, Fiske-Jackson et al., 2012).

I.3.2. Endoscopie des voies respiratoires supérieures

La réalisation d'une endoscopie des voies respiratoires supérieures est normalement la première étape diagnostique après l'examen physique (Beard et Hardy, 2001). Elle permet

habituellement d'exclure une provenance nasale primaire, de la trachée ou des poches gutturales et ce faisant de confirmer l'origine sinusale du jetage nasal (Beard et Hardy, 2001). La présence d'un exsudat au niveau de l'ouverture naso-maxillaire est identifiée dans 70-100% des cas de sinusites primaires, dentaires, traumatiques ou néoplasiques, mais seulement dans 50-67% des cas pour les kystes, les sinusites mycotiques et les hématomes progressifs de l'éthmoïde (Dixon et al., 2012a).

La procédure est réalisée sans sédation si cela est possible afin d'évaluer également la fonction du larynx, avec un endoscope flexible de 7 à 10 mm de diamètre qui est introduit le long du méat nasal ventral afin d'évaluer la cavité nasale, ainsi que le pharynx et le larynx (Barakzai, 2007). Une observation minutieuse de la cavité nasale est réalisée, à la recherche d'un rétrécissement, d'une déformation et d'anomalies de la muqueuse (ulcération, hémorragie, nécrose, œdème) et d'un jetage au niveau de l'ouverture naso-maxillaire (O'Leary et P.M.Dixon, 2011).

Dans les cas de tumeurs sinusales, de kystes ou de sinusites du sinus conchal ventral, les cornets nasaux et les sinus conchaux peuvent être déformés axialement et ainsi empêcher ou rendre difficile le passage de l'endoscope (Beard et Hardy, 2001).

L'endoscopie des voies respiratoires supérieures ne permet pas habituellement d'accéder aux sinus, sauf dans les rares cas où l'ouverture naso-maxillaire est élargie. Plusieurs techniques décrivent l'accès aux sinus par endoscopie nasale, en créant une ouverture au niveau des cornets nasaux.

Dans leur étude parue en 2010, (Morello et Parente, 2010) décrivent une technique de vaporisation au laser du cornet dorsal pour évaluer les sinus paranasaux. Cette technique emploie un endoscope flexible et une diode laser pour créer une ouverture au niveau de l'aspect caudomédial du cornet dorsal et ensuite visualiser le SCF et le sinus maxillaire caudal. Les conclusions de cette étude sont que l'ouverture réalisée persiste pendant au moins cinq semaines et peut être utilisée comme alternative aux techniques de sinusotomies classiques, avec moins de complications et de meilleurs résultats cosmétiques.

Cependant, cette technique n'a pas été popularisée car elle est chronophage (temps moyen de 69 min), nécessite un équipement spécifique et ne permet pas d'atteindre tous les sinus. De plus, l'utilisation d'une technique similaire pour la fenestration des sinus en médecine humaine est à l'origine d'un jetage nasal mucoïde persistant et d'une inflammation chronique (Waguespack, 1995).

Cette approche aurait pu être intéressante pour augmenter le drainage des sinus dans les cas de mauvais drainage mais elle ne permet pas en revanche d'accéder aux sinus conchal ventral et sinus maxillaire rostral, qui sont souvent impliqués dans les maladies sinusales.

Dans ce sens, l'équipe de Kolos a rapporté en 2017 une technique de fenestration des cornet nasaux au laser par approche controlatérale (Kolos et al., 2017). La technique consiste à passer un endoscope contenant une diode laser, qui est rétro-fléchi au niveau du naso-pharynx afin de réaliser une ouverture dans le cornet nasal ventral ou dorsal controlatéral, au niveau du sinus conchal ventral ou dorsal, respectivement. Cette approche controlatérale a été choisie dans l'hypothèse qu'en cas d'hémorragie, le sang s'écoulerait par gravité vers les naseaux, et non pas vers l'endoscope, permettant une meilleure visibilité.

Cette méthode a permis d'évaluer le système sinusal caudal par fenestration du cornet nasal dorsal (2 cas) et d'évaluer seulement le sinus conchal ventral après fenestration du cornet nasal ventral dans 3 cas sur 5 (dans deux cas l'évaluation a été empêchée par des saignements). La technique a également permis de réaliser un lavage des sinus et d'améliorer le drainage. L'ouverture réalisée persistait jusqu'à au moins 14 jours, mais le suivi à long terme n'a pas été effectué. Les désavantages principaux de cette méthode comparée aux techniques traditionnelles sont la durée de la procédure engendrée par l'utilisation du laser, les difficultés à positionner l'endoscope de manière adéquate et le manque de visualisation de plusieurs sinus avec chaque abord.

Une fenestration au laser est également décrite dans les cas d'empyèmes des bulles nasales conchales par *Dixon et al* en 2015 (Dixon et al., 2015). Les bulles peuvent être fenestrées au laser au cours de l'endoscopie nasale afin de réaliser un lavage. Mais cette étape ne s'est révélée nécessaire que dans 3 cas sur 8, car une fistule était présente entre la bulle et le méat nasal moyen dans les autres cas (évolution chronique).

I.3.3. Examen dentaire

Un examen détaillé de la cavité orale, à l'aide d'un spéculum et d'un miroir ou d'une caméra (endoscope ou boroscope), devrait être réalisé avant de poursuivre les investigations avec les autres techniques d'imagerie pour identifier des anomalies au niveau des dents ou du palais dur (Beard et Hardy, 2001). La présence d'une fracture dentaire, de caries ou une exposition de la pulpe dentaire peuvent laisser présager une infection apicale à l'origine d'une sinusite secondaire, alors qu'une infection périodontale profonde ou un diastème peut indiquer une

fistule oro-maxillaire/nasale (O'Leary et P.M.Dixon, 2011). Les carcinomes épidermoïdes peuvent également être observés sur l'aspect latéral du palais dur (O'Leary et P.M.Dixon, 2011).

I.3.4. Radiographie

Le contraste produit par la présence d'os et d'air au niveau des cavités nasales et des sinus fait de la radiographie une bonne technique pour détecter la présence d'anomalies dans les sinus (O'Leary et P.M.Dixon, 2011).

La réalisation d'une endoscopie au préalable permet habituellement de localiser la lésion dans les sinus et donc de mieux centrer les clichés (Beard et Hardy, 2001). Ces derniers sont au nombre de quatre au minimum : une vue latéro-latérale, une vue dorso-ventrale et deux vues obliques (30°) latérodorsale-latéroventrale (O'Leary et P.M.Dixon, 2011). Les deux vues obliques permettent de séparer les sinus droit et gauche ainsi que les rangées maxillaires pour visualiser les racines dentaires de chaque côté avec plus de détails (O'Leary et P.M.Dixon, 2011).

De manière générale, les signes radiographiques les plus fréquemment observés chez les chevaux atteints de maladies sinusales sont la présence de lignes de liquide (48% des cas) et une radio-opacité du sinus affecté (61% des cas) (Dixon et al., 2012a).

Des anomalies radiographiques sont rapportées dans pratiquement tous les cas de sinusites primaires (97%) mais ne sont considérées comme utiles au diagnostic définitif que dans 13% des cas (Tremaine et Dixon, 2001a). Elles consistent en la présence de liquide (pus) dans les sinus, parfois associée avec une minéralisation diffuse des cornets nasaux ou avec un déplacement du septum nasal dans les cas où du pus épais est présent dans le sinus conchal ventral. Les anomalies radiographiques principales en fonction du type de maladie sinusale sont rapportées dans le Tableau II.

Les signes radiographiques suggérant une infection dentaire sont : un aspect radiotransparent des racines dentaires, une sclérose de l'os alvéolaire autour de la dent infectée, un agrandissement de l'espace périodontaire avec une perte de définition ou une irrégularité de la *lamina dura denta*, des traits de fracture, la présence de dents surnuméraires, de diastème et de fistule oro-maxillaire (Tremaine et Dixon, 2001a).

Pour interpréter les radiographies chez les jeunes chevaux de moins de cinq ans, il faut tenir compte de la morphologie variable des racines dentaires. L'arcade maxillaire controlatérale devrait toujours être radiographiée à des fins de comparaison (O'Leary et P.M.Dixon, 2011). Les kystes sinusaux vont souvent apparaître sur les radiographies sous la forme de masse d'opacité tissulaire homogène à l'intérieur d'un ou plusieurs sinus, pouvant être partiellement minéralisée, parfois associée à un amincissement, une déminéralisation et une déviation de l'os frontal et de l'os maxillaire, ainsi qu'à une déviation du septum nasal. Tout ou partie de ces changements sont présents chez 97% des chevaux atteints de kyste sinusale mais ne sont considérés comme fortement suggestifs dans 35% des cas seulement (Tremaine et Dixon, 2001a). Les différents taux diagnostiques de la radiographie sont répertoriés dans le Tableau I. Dans les cas d'hématome progressif de l'ethmoïde, une masse bien définie d'opacité tissulaire localisée au niveau de l'ethmoïde ou du sinus sphéno-palatinal peut être visualisée (O'Leary et P.M.Dixon, 2011).

Tableau I. Taux diagnostique de la radiographie en fonctions des types de maladie sinusale (extrapolé de Tremaine et al) (Tremaine et Dixon, 2001a)

Type de maladie sinusale	Primaire	Dentaire	Kyste	Néoplasie	HPE	Traumatique	Fongique
Taux diagnostique des radiographies	13%	57%	35%	23%	8%	64%	100%

Les affections tumorales sont caractérisées par la présence anormale d'une masse d'opacité osseuse ou de tissu mou. Les anomalies radiographiques pouvant être associées sont une lyse ou une prolifération osseuse et une minéralisation des tissus mous. Un déplacement des dents maxillaires ou du septum nasal peut également être observés. Ces anomalies sont identifiées dans 82% des cas de tumeurs sinusales (Tremaine et Dixon, 2001a).

De telles modifications peuvent également survenir lors d'abcès d'une racine dentaire, néanmoins une néoplasie doit être suspectée si plus d'une dent est impliquée.

Dans les cas de traumatisme facial, des lignes de fracture peuvent être visualisées dans les sinus, ainsi que la présence de liquide (sang) dans les sinus.

Tableau II. Changements radiographiques observés en fonction du type de maladie sinusale (extrapolé de Dixon et al) (Dixon et al., 2012a)

Type de sinusite	Primaire subaiguë	Primaire chronique	Dentaire	Fistule oro-maxillaire	Kyste	Traumatique	Néoplasie	Fongique	HPE
Ligne de liquide intra sinus	69%	46%	40%	38%	31%	85%	13%	29%	33%
Opacité intra-sinus	53%	71%	55%	75%	88%	31%	56%	57%	100%
Anomalies apicales	16%	29%	85%	63%	12%	0%	22%	14%	0%
Anomalies des parois osseuses	6%	5%	3%	13%	8%	54%	0%	14%	14%

Deux études ont décrit l'identification radiographique des différentes bulles (Finnegan et al., 2011, Giavitto et Barakzai, 2017).

La première étude, menée par Finnegan en 2011 avait pour objectif de vérifier si la bulle précédemment nommée comme ventrale conchale (plus récemment nommée bulle du septum maxillaire, BSM) était visible sur des vues latérales, obliques et dorso-ventrales de tête de cheval adulte sans affection sinusale (O'Leary et P.M.Dixon, 2011). Les auteurs ont réussi à identifier la BSM dans 70% des vues latérales et ont suggéré que ce taux devrait être augmenté en cas de sinusites avec la présence de matériel purulent et un épaissement des parois de la bulle.

La seconde étude de Giavitto en 2017 proposait une approche expérimentale similaire pour identifier les bulles nasales conchales dorsales et ventrales et a obtenu des bons résultats, en identifiant les BNCD et BNCV sur des vues radiographiques latérales (O'Leary et P.M.Dixon, 2011).

La BNCD apparaît sous une forme ovale irrégulière, avec l'extrémité rostrale plus fine que l'extrémité caudale. Son bord dorsal est identifiable par une ligne radio-opaque parallèle au méat nasal dorsal et à l'os nasal. Son bord caudal est adjacent au sinus conchal dorsal et le

bord rostral apparaît radiographiquement comme une bande d'opacité tissulaire bien définie qui s'étend jusqu'à l'aspect caudal de l'incisure naso-incisive. La BNCV est plus petite et a une forme ovale bien définie. Son bord dorsal se situe le long de la ligne radiotransparente du méat nasal moyen, ses bords rostral et caudal son bien défini par une membrane d'opacité tissulaire.

Ces repères sont intéressants et pourraient permettre de tirer plus d'informations des clichés radiographiques, en revanche il semble difficile de pouvoir différencier les bulles droites et gauches avec les effets de superpositions.

Ainsi, la radiographie est le premier examen d'imagerie utilisé pour évaluer les maladies sinusales. Cependant, son utilité est limitée, notamment par la superposition des structures anatomiques et par la difficulté voire l'impossibilité de visualiser la localisation précise et l'extension des lésions (O'Leary et P.M.Dixon, 2011).

I.3.5. Tomodensitométrie

La tomodensitométrie ou scanner permet de construire en trois dimensions des images obtenues par rayons-X, ce qui permet d'obtenir des coupes détaillées de la cavité nasale, des sinus paranasaux et de la boîte crânienne. Le scanner apporte donc des informations additionnelles considérables dans les affections des sinus et des cavités nasales. En effet, contrairement à la radiographie, il n'y a pas de superposition des structures anatomiques et la résolution spatiale est la plus élevée de toutes les méthodes d'imagerie (Solano et Brawer, 2004). Cela permet une meilleure visualisation de l'anatomie et une meilleure évaluation de la localisation des lésions ainsi que de leur étendue (Solano et Brawer, 2004, Textor et al., 2012). Le sinus sphéno-palatine, par exemple, est difficilement identifiable sur les radiographies alors que le scanner permet de le mettre clairement en évidence (Tucker et al., 2016). La reconstruction des images en trois dimensions avec des logiciels est également un avantage puisqu'elle permet une meilleure définition des tissus.

L'échelle de Hounsfield est une échelle quantitative qui décrit la radiodensité, utilisée pour décrire les images des tissus obtenus par tomodensitométrie. L'unité d'Hounsfield définit l'absorption du faisceau de rayons X par les divers tissus qu'il traverse. Par définition, le 0 correspond à l'eau pure et apparaît en gris, -1000 correspond l'air qui apparaît en noir. Les os apparaissent en blanc et ont une valeur autour de +1000 (Solano et Brawer, 2004).

En général, les différents signes qui peuvent être observés dans les cas de maladies sinusales sont : un épaissement modéré à sévère de la muqueuse sinusale, un contenu d'opacité tissulaire, un rétrécissement ou une occlusion de l'ouverture naso-maxillaire, un déplacement du canal infra-orbitaire, une compression du canal naso-lacrimal, des altérations dentaires, et une déviation du septum nasal. Un épaissement de l'os maxillaire et une sclérose de la crête faciale peuvent être visibles dans les cas de sinusites chroniques sévères (Henninger et al., 2003).

Le scanner est plus efficace que la radiographie pour identifier les infections dentaires et sinusites secondaires car il permet de visualiser des changements subtiles associés à une infection des racines comme la présence de gaz dans l'infundibulum (ce qui peut être normal dans certains cas) ou dans les cavités pulpaires, l'épaississement de la muqueuse sinusale, la fragmentation d'une racine dentaire et l'accumulation de liquide (Solano et Brawer, 2004). Une étude récente a comparé l'efficacité de la radiographie et de la tomodensitométrie dans le diagnostic des infections apicales (Liuti et al., 2017). Les changements pathologiques observés sur les dents une fois extraites avaient été diagnostiqués par la tomodensitométrie dans 97% des cas et dans seulement 53% des cas par la radiographie.

Les tumeurs des tissus mous sont caractérisées par une masse d'aspect homogène, aux contours peu définis, iso- ou légèrement hypoatténuées comparativement au muscle masséter. Les différents critères d'intérêt diagnostique et pronostique pouvant être évalué sont la définition des marges tumorales, l'hétérogénéité, la minéralisation, la déformation des structures environnantes, l'intégrité de la lame criblée de l'éthmoïde, le degré d'ostéolyse et le degré de sclérose osseuse (Cissell et al., 2012). Le scanner procure des informations importantes concernant l'extension des masses tumorales, leur localisation et sur l'atteinte des structures osseuses environnantes, utiles pour planifier des biopsies ou envisager une exérèse chirurgicale dans les cas où le diagnostic est suffisamment précoce.

La différence majeure entre les chevaux présentant une sinusite primaire et ceux atteints de tumeurs est la lyse osseuse. En effet, elle est rare chez les premiers alors que la majorité des chevaux atteints de tumeurs présentent un certain de degré de lyse osseuse (Cissell et al., 2012).

Il semble néanmoins difficile de différencier les néoplasies des kystes ou d'une sinusite sévère en se basant uniquement sur les images du scanner. L'utilisation de l'échelle de Hounsfield ou le contraste intraveineux ou intraartériel peut permettre de les différencier dans certains cas.

Il existe cependant quelques inconvénients à la réalisation d'un scanner (Solano et Brawer, 2004). Tout d'abord, dans la majorité des cliniques nord-américaines, il nécessite que le cheval soit sous anesthésie générale, avec les risques et le coût que cela comporte (Senior, 2013). La réalisation des clichés et leur interprétation impliquent de disposer d'un personnel formé. La configuration des bâtiments doit également respecter un certain nombre de règles de biosécurité et de radioprotection. Enfin, le coût global de la réalisation des clichés est souvent un facteur limitant pour un grand nombre de propriétaires.

Des récentes avancées en imagerie ont permis de mettre au point une technique de tomodensitométrie sur cheval debout (Porter et Werpy, 2014). Elle a pour avantage majeur de supprimer les risques et les coûts liés à l'anesthésie générale. Les principaux inconvénients sont les artéfacts de mouvements qui peuvent altérer la qualité des images si la sédation n'est pas adéquate et une augmentation de l'exposition du personnel aux radiations puisque contrairement aux cas où le cheval est sous anesthésie générale, au moins une personne est nécessaire pour tenir le cheval pendant l'examen. Malheureusement, la disponibilité des appareils et des installations adaptés pour réaliser un scanner debout est pour l'instant limitée en Amérique du Nord, malgré sa popularité en Europe, notamment en Angleterre (Dakin et al., 2014).

De nos jours, le scanner est le meilleur outil pour obtenir un diagnostic précis des maladies sinusales grâce à la qualité des informations fournies et la rapidité à réaliser l'examen.

1.3.6. Imagerie par résonance magnétique

L'imagerie par résonance magnétique (IRM), à l'instar de la tomodensitométrie, est une méthode alternative qui peut apporter des informations additionnelles dans le diagnostic des affections sinusales. Comparée à la tomodensitométrie, l'IRM offre un meilleur contraste (Tucker et Farrell, 2001).

Elle produit des images à partir des différentes propriétés magnétiques des tissus, qui permettent de révéler des modifications de nature anatomique ou physiologique. Les résonances magnétiques de la tête sont composées de différentes séquences d'images

acquises dans au minimum trois plans orthogonaux (sagittal, transverse et dorsal) (Tucker et Farrell, 2001).

L'IRM excelle particulièrement dans la différenciation des changements au niveau des tissus mous, même les plus subtils. Ainsi, elle est rapportée être une excellente méthode pour détecter les lésions sinusales liées aux tissus mous (kystes, néoplasies) mais en revanche son intérêt est limité pour détecter des changements liés à une pathologie dentaire (Tessier et al., 2013).

Les kystes apparaissent comme des masses bien délimitées entourés d'une membrane. L'IRM permet d'obtenir leur localisation précise et de différencier le liquide kystique d'une accumulation de liquide au sein du sinus.

L'IRM rend possible une détection précoce des tumeurs et permet la distinction entre masse tumorale et modifications inflammatoires. Comme avec le scanner, il n'y a pas de superposition des structures anatomiques et la résolution spatiale est plus élevée qu'avec la radiographie (Manso-Diaz et al., 2015). Là où la radiographie permet seulement de révéler une opacité tissulaire dans un sinus, l'IRM permet de déterminer le type de masse et son étendue.

Une étude de 2016 a comparé la qualité des images obtenues par tomодensitométrie et résonance magnétique pour les sinus et la cavité nasale des chevaux (Kaminsky et al., 2016). L'IRM donnait des images de meilleure qualité pour les tissus mous (définition du plexus veineux de la muqueuse nasale, visualisation de l'artère palatine et du nerf infra-orbitaire), et permettait de mieux définir l'interface entre les différents tissus (muqueuse/os cortical, plexus veineux/os cortical/cartilage) et entre la muqueuse et l'air. La tomодensitométrie, en revanche, apporte une meilleure distinction des contours des os et une meilleure finesse de résolution.

Les auteurs ont conclu que ces propriétés font de l'IRM la technique de choix dans le diagnostic des lésions tumorales.

Les inconvénients de l'IRM sont similaires à ceux du scanner : l'anesthésie générale, le coût très élevé des équipements et des installations et la nécessité de disposer d'un personnel qualifié et formé pour la réalisation et l'interprétation des images.

Contrairement à la tomодensitométrie, il n'existe pas pour le moment de technique permettant de réaliser une IRM de la tête debout chez le cheval.

Comparée aux autres techniques d'imagerie, l'IRM est la technique qui offre la meilleure résolution des tissus mous, mais elle est en revanche la technique la plus coûteuse (achat et entretien de l'appareil) et le temps d'acquisition des images est plus long que pour les autres techniques, c'est pourquoi elle est moins populaire que la tomodensitométrie (Porter et Werpy, 2014).

I.3.7. Scintigraphie

Contrairement aux autres techniques d'imagerie décrites ci-dessus, la scintigraphie reflète un processus physiologique ou pathologique actif et non pas une structure anatomique.

Sa réalisation implique l'administration intraveineuse d'un radio-isotope émetteur de rayons gamma comme le technetium-99m (McGorum et al., 2007). Le Technetium est lié à une molécule contenant un phosphate ou diphosphonate, (ex : méthylène-diphosphonate) qui a une affinité pour l'hydroxyapatite contenue dans les os ou les tissus mous. Quand le technetium et le diphosphonate sont attaché à l'hydroxyapatite, les rayons gamma émis sont ensuite captés par une gamma caméra pour ensuite former des images en deux dimensions.

La réalisation d'une scintigraphie nécessite une forte sédation (association d' α 2-agonistes et de butorphanol) afin de pouvoir positionner la gamma caméra le plus près possible de la tête du cheval. Trois vues sont en principe réalisées, deux latérales (droite et gauche) et une dorsale. Les vues latérales sont obtenues en plaçant la gamma caméra perpendiculairement au sol et parallèlement au plan sagittal de la tête, la vue dorsale en positionnant la caméra parallèlement à l'os frontal (McGorum et al., 2007).

L'application principale de la scintigraphie pour les maladies des sinus est l'investigation des infections péri-apicales des dents maxillaires associées à des sinusites secondaires, avec une excellente sensibilité (95-96%) et une spécificité modérée (79-86%) (Weller et al., 2001, Barakzai et al., 2006). Elle est plus sensible mais moins spécifique que la radiographie (sensibilité et spécificité de 50% et 95%, respectivement) et que la tomodensitométrie (sensibilité et spécificité de 76% et 90%, respectivement) dans le diagnostic des affections dentaires (Weller et al., 2001, Townsend et al., 2011).

La scintigraphie possède également une spécificité élevée (92%) et une sensibilité modérée (79%) pour la détection des autres affections des sinus paranasaux (McGorum et al., 2007). Une augmentation du signal est observée dans 80 à 100% des cas de sinusites aiguës,

fongiques, traumatiques, de kystes et d'hématome progressif de l'éthmoïde (Dixon et al., 2012a).

La scintigraphie est rarement indiquée dans les cas de sinusite primaire, de kyste ou d'hématome de l'éthmoïde car l'association de l'endoscopie nasale, des radiographies et de la sinusoscopie permet dans la majorité des cas d'établir un diagnostic plus précis.

Les inconvénients relatifs à l'utilisation de la scintigraphie sont principalement d'ordre réglementaires (licence d'utilisation, stockage et destruction des déchets radioactifs, locaux aux normes de radioprotection...) (Barakzai et Barnett, 2015).

En pratique, la scintigraphie est de moins en moins utilisée dans le diagnostic des affections sinusales, au profit des techniques d'imagerie plus performantes comme la tomodensitométrie. Son utilisation dans le cas des sinusites secondaires à une infection dentaire reste tout de même intéressante, principalement dans les cas où de nombreuses anomalies anatomiques sont présentes au scanner et qu'il est difficile de distinguer lesquelles ont une importance clinique (Barakzai et Barnett, 2015).

1.3.8. Sinusoscopie

Contrairement aux autres techniques d'imagerie décrites ci-dessus, la sinusoscopie est une technique invasive car une intervention chirurgicale (trépanation) est nécessaire à sa réalisation.

La sinusoscopie peut être à la fois utilisée pour le diagnostic (habituellement après radiographies et endoscopie nasale) et pour le traitement (parfois) des affections sinusales. C'est une technique simple et relativement peu coûteuse qui procure des informations diagnostiques dans 70% des cas et ne nécessite pas d'anesthésie générale (Tremaine et Dixon, 2001a).

Elle permet, chez le cheval debout sous sédation, avec un endoscope flexible, de visualiser directement l'ensemble des sinus et de réaliser des biopsies ou un lavage sinusal. Cependant, la visibilité reste légèrement plus limitée qu'avec les techniques d'imagerie de pointe (scanner et IRM) car certaines régions sont peu accessibles avec cette technique.

Une fois que la zone à évaluer est déterminée, la zone de trépanation est préparée de manière aseptique et un anesthésique local est injecté en sous-cutané. Une incision linéaire d'environ 1,5 à 2,5 cm ou en croix ou en demi-lune de la peau et du périoste est réalisée puis l'os est

trépané en utilisant un foret en acier de 1 à 1,5cm de diamètre ou un trépan de Galt (Barakzai et Dixon, 2014). L'endoscope est ensuite introduit dans le sinus par l'ouverture créée.

Les différents sites de trépanations rapportés sont :

- L'accès par le sinus frontal est en général le plus utile et permet l'examen des sinus concho-frontal, maxillaire caudal et sphéno-palatins. Le point utilisé pour la trépanation se situe à 60% de la distance depuis la ligne médiane vers le canthus médial ipsilatéral, 0,5 cm à 1 cm caudalement au canthus médial (J.A.Auer et J.A.Stick, 2011). Le sinus maxillaire rostral et le sinus conchal ventral peuvent être examinés par sinusoscopie par le sinus frontal, si la bulle du septum maxillaire est fenestrée. Elle peut être perforée par des forceps introduits par l'ouverture de trépanation. Après ouverture de la bulle, un endoscope peut être passé médialement au canal infra-orbitaire afin de visualiser le sinus conchal ventral ou latéralement, afin de visualiser le sinus maxillaire rostral (Barakzai, 2007).
- La trépanation du sinus maxillaire caudal (pour la sinusoscopie du sinus maxillaire caudal, sphéno-palatins et concho-frontal) est réalisée 2 cm rostralement et 2 cm ventralement au canthus médial de l'œil.
- La trépanation du sinus maxillaire rostral donne aussi accès au sinus conchal ventral. Elle est réalisée à 40% de la distance entre la partie rostrale de la crête faciale et du cantus médial de l'œil et 1cm ventralement à une ligne passant par le foramen infra-orbitaire et le canthus médial de l'œil (Barakzai et al., 2008).

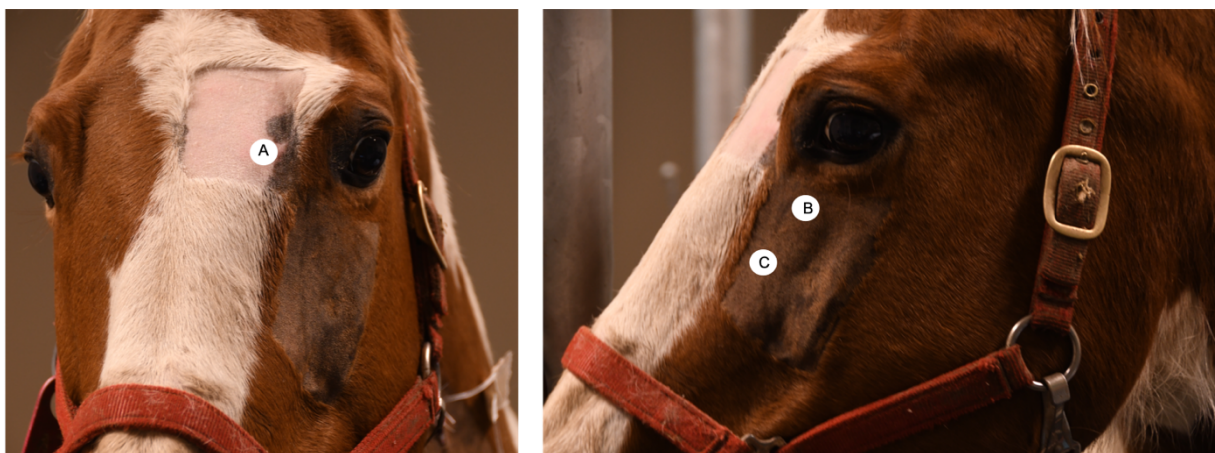


Figure 4. Sites de trépanation du sinus frontal (a), du sinus maxillaire caudal (b) et du sinus maxillaire rostral (c)

L'abord par le sinus maxillaire est peu utilisé chez les jeunes chevaux car la trépanation risque d'endommager les racines dentaires, en particulier l'abord par le sinus maxillaire rostral n'est pas recommandé chez des chevaux de moins de 5 ans (Barakzai et al., 2008).

Une étude publiée en 2009 a comparé six approches différentes possibles pour évaluer les sinus maxillaire rostral et sinus conchal ventral, sur des cadavres (Perkins et al., 2009a). Les résultats ont montré que la trépanation du sinus frontal avec fenestration de la bulle du septum maxillaire procurait un accès adéquat et sécuritaire aux sinus maxillaire rostral et sinus conchal ventral pour le diagnostic et le traitement. Si la bulle du septum maxillaire n'est pas clairement identifiable par l'abord frontal (variations anatomiques), les auteurs recommandent alors de réaliser une trépanation du sinus maxillaire caudal afin de pouvoir fenestrer la bulle du septum maxillaire et évaluer les sinus maxillaire rostral et sinus conchal ventral.

Une suite de cette étude réalisée sur 60 cas cliniques a évalué l'utilité de la sinusoscopie par approche frontale associée à la fenestration de la bulle du septum maxillaire dans la détection et le traitement des affections des sinus conchal ventralet sinus maxillaire rostral (Perkins et al., 2009b). Cette technique permettait une évaluation adéquate des sinus conchal ventral et sinus maxillaire rostral dans 88% des cas mais l'hémorragie provoquée par la fenestration de la bulle du septum maxillaire empêchait la visualisation dans 21% des cas, nécessitant de répéter l'évaluation 24 à 48h plus tard dans plusieurs cas. Les tumeurs, kystes et hématomes de l'ethmoïde étaient facilement identifiés, les affections dentaires, en revanche, nécessitaient d'autres examens complémentaires pour être confirmées. Cette technique de sinusoscopie est la plus couramment utilisée aujourd'hui.

En général, si la partie ventrale des sinus est obstruée par l'accumulation d'un exsudat purulent il est recommandé d'effectuer un lavage des sinus avant de faire la sinusoscopie afin d'obtenir une meilleure visualisation (Beard et Hardy, 2001).

La sinusoscopie permet donc de confirmer la présence d'une inflammation de la muqueuse sinusale, de liquide, de nourriture ou de pus épais dans les sinus, d'un hématome de l'ethmoïde, d'une tumeur, d'un kyste, de plaques fongiques ou d'un granulome en regard d'une alvéole. La présence de nourriture indique une fistule oro-maxillaire (O'Leary et P.M.Dixon, 2011).

La ou les lésions observées peuvent ensuite être prélevées, soit à travers l'endoscope, soit en utilisant des pinces à biopsie de plus grande taille introduites par le même ou un second site

de trépanation. La seconde technique est recommandée car elle permet d'obtenir des échantillons situés plus profondément, plus représentatifs et donc plus susceptibles de mener à un diagnostic de certitude, mais elle est plus invasive si on a besoin d'un second site de trépanation (Barakzai, 2007). Malheureusement, la réalisation d'une biopsie ne permet pas toujours d'obtenir un diagnostic définitif (Dixon et Head, 1999). En effet, le prélèvement, s'il est trop petit, peut ne pas être représentatif histologiquement de la masse ou du tissu enlevé. Il est également possible que le prélèvement soit réalisé en zone saine, ou que la portion prélevée ne contienne que du tissu ulcéré ou nécrotique. Il est donc conseillé de prélever les échantillons le plus profondément possible, à la fois sur les surfaces ulcérées et non ulcérées.

Les kystes peuvent être retirés entièrement par sinusoscopie si leur taille et leur localisation le permet, ce qui diminue le temps de guérison et permet un retour à l'exercice plus rapide. Sinon, leur extraction nécessite de réaliser un volet sinusal (Barakzai et al., 2008).

Les tumeurs sinusales, souvent volumineuses, ne peuvent généralement pas être extraites guidées par sinusoscopie et lorsque l'exérèse est envisageable, la réalisation d'un volet osseux sous anesthésie générale est nécessaire.

La complication peri-opératoire majeure au cours d'une sinusoscopie est l'hémorragie, qui est favorisée par la présence d'une muqueuse épaissie et hyperhémique (Perkins et al., 2009b).

Les sites de trépanation cicatrisent généralement en 3 à 4 semaines, avec un taux de complications post-opératoires d'environ 5% (cellulite, de fistule sino-cutanée et d'exostose de l'os frontal) (Perkins et al., 2009b).

1.4. Traitements

Les objectifs du traitement des affections sinusales sont les suivants (Rush et Mair, 2004) :

- Traiter l'affection sinusale et la cause primaire, s'il y en a une, et retirer les tissus nécrotiques et les fluides
- Restaurer les mécanismes de drainage de la cavité nasale ou créer une voie de drainage alternative
- Permettre une bonne visualisation des sinus au cours du traitement chirurgical

- Minimiser les risques d'hémorragie
- Permettre un retour à l'exercice rapide
- Rétablir le passage normal de l'air
- Obtenir un aspect cosmétique satisfaisant

I.4.1. Traitement médical

Le traitement médical des sinusites primaires aiguës consiste en l'administration systémique d'antibiotiques et éventuellement de mucolytiques afin de rétablir le fonctionnement de l'appareil muco-ciliaire. Il peut être aussi associé à un traitement chirurgical (lavage sinusal).

Les hématomes progressifs de l'ethmoïde peuvent également être traités médicalement, par injection intra-lésionnelle de formol (Rush et Mair, 2004). L'injection d'environ 10 à 20mL de produit est réalisée à travers l'endoscope chez le cheval debout tranquilisé, jusqu'à ce que la solution s'écoule de la masse. Ce traitement résulte en un rétrécissement et une nécrose de l'hématome sur environ 2 à 3 semaines, les injections sont répétées toutes les 3 à 4 semaines jusqu'à résolution.

En général, les autres maladies sinusales nécessitent un traitement chirurgical.

I.4.2. Lavage sinusal

Afin de réaliser un lavage des sinus, un accès direct à ces derniers est nécessaire, soit par trépanation, volet osseux ou par perforation transnasale des sinus conchaux (Morello et Parente, 2010, Kolos et al., 2017). Le lavage avec une solution isotonique peut être utilisé comme traitement primaire ou à la suite d'un traitement chirurgical pour aider à éliminer le pus, le sang et les débris de tissus.

Comme discuté précédemment, la sinusoscopie est une technique qui permet à la fois le diagnostic et le traitement de certaines affections sinusales et elle permet aussi le lavage des sinus.

Le lavage peut être répété plusieurs fois, selon l'évolution clinique du patient, en laissant un cathéter de type Foley en place pour plusieurs jours.

Parce que souvent l'ensemble des sinus peut être atteint lors de sinusite primaire, le traitement est plus efficace lorsque tous les différents compartiments communiquent directement, en perforant la bulle du septum maxillaire (Perkins et al., 2009b). Le lavage seul

n'est généralement pas suffisant pour éliminer le pus aggloméré. Cela peut être accompli par sinusoscopie ou trépanation seulement, ce qui diminue les complications associées avec le volet osseux, réduit le temps de convalescence et améliore l'aspect cosmétique (Perkins et al., 2009b).

Une étude décrit une technique de sinusoplastie à ballonnet pour dilater l'ouverture naso-maxillaire et faciliter le drainage des sinus (Bell et al., 2009). Ce drainage est habituellement compromis lors d'atteinte sinusale en raison d'une inflammation de la muqueuse au niveau de l'ouverture naso-maxillaire ou de la présence d'une masse à l'intérieur des sinus, menant à une accumulation de pus au sein des sinus. Après sédation, un cathéter ballonnet est introduit dans l'ouverture naso-maxillaire sous guidage endoscopique et gonflé à $6,1 \times 10^5$ Pa pendant 30 secondes, trois fois, dilatant ainsi l'ouverture et améliorant le taux de drainage de 150%. Cette technique présente l'avantage d'être moins invasive et moins dispendieuse que les techniques utilisées actuellement pour améliorer le drainage, qui consistent, après réalisation d'un volet ou d'une trépanation, à fenestrer le cornet dorsal ou ventral afin d'obtenir une nouvelle communication entre les sinus et la cavité nasale. Cette méthode permet de maintenir un angle de drainage naturel et de préserver la fonction mucociliaire, ce qui a été démontré être préférable chez l'humain, car la fenestration altère l'écoulement du mucus et n'améliore pas vraiment le drainage (Wagenmann et Naclerio, 1992).

Une fenestration au laser est également décrite dans les cas d'empyèmes des bulles nasales conchales par *Dixon et al* en 2015 (Dixon et al., 2015). Les bulles peuvent être fenestrées au laser au cours de l'endoscopie nasale afin de réaliser un lavage. Mais cette étape ne s'est révélée nécessaire que dans 3 cas sur 8, car une fistule était présente entre la bulle et le méat nasal moyen dans les autres cas (évolution chronique).

I.4.3. Sinusotomie

L'accès chirurgical aux sinus est réalisé par les techniques de trépanation ou de volet osseux. Comme déjà mentionné, certains kystes ou hématomes de l'ethmoïde peuvent être retirés sous sinusoscopie, après avoir réduit leur taille en aspirant leur contenu ou après injection de formol, ou guidé par sinusoscopie à travers une deuxième trépanation (Perkins et al., 2009b). La technique de trépanation a été décrite à la section I.3.8.

Contrairement à la trépanation, les volets osseux permettent une meilleure exposition et visualisation ainsi qu'un accès satisfaisant pour les manipulations chirurgicales. A l'origine, les techniques de volet osseux ont été décrites pour l'exploration du sinus maxillaire, mais elles peuvent également être utilisées pour l'exploration de tous les sinus et de la partie caudale de la cavité nasale (J.A.Auer et J.A.Stick, 2011).

Cette technique peut être effectuée sur un cheval debout sous sédanalgésie ou sous anesthésie générale. La première option est moins coûteuse, évite les risques liés à la réalisation d'une anesthésie générale chez le cheval et diminue le risque d'hémorragies et améliore la visualisation (Barakzai et Dixon, 2014). Elle est en revanche plus limitée dans le cas de lésions tumorales invasives, nécessitant une approche chirurgicale plus agressive, ou pour des chevaux dont le tempérament ne permet pas d'envisager une chirurgie debout.

I.4.3.1. Volet maxillaire

La réalisation d'un volet maxillaire est légèrement plus difficile que la réalisation d'un volet frontonasal car le site est partiellement recouvert par le muscle releveur de la lèvre supérieure, le muscle releveur naso-labial, l'artère et la veine angulaire ophtalmiques (Hawkins, 2014). De plus, l'attachement du septum maxillaire à l'os maxillaire peut rendre l'élévation du volet osseux difficile. Cependant, comparativement à la trépanation du sinus frontal, il procure un meilleur accès aux racines dentaires maxillaires, permet de mieux visualiser la majorité des sinus et une manipulation plus facile des instruments (Hawkins, 2014).

Le volet est délimité comme suit : le bord rostral correspond à la ligne qui s'étend de l'extrémité rostrale de la crête faciale au foramen infra-orbitaire ; le bord dorsal à la ligne passant dessous le foramen infra-orbitaire et le canthus médial de l'oeil ; le bord caudal à la ligne qui s'étend du canthus médial de l'oeil à l'extrémité caudale de la crête faciale, parallèlement au bord rostral ; le bord ventral est délimité par la crête faciale. Cette délimitation permet une exposition maximale du sinus maxillaire (rostral et caudal) tout en protégeant le canal infra-orbitaire et le conduit naso-lacrimal (J.A.Auer et J.A.Stick, 2011). Le sinus conchal ventral est atteint à travers l'ouverture concho-maxillaire ou en perforant la lamelle osseuse sous le canal infra-orbitaire (seulement chez les adultes) (J.A.Auer et J.A.Stick, 2011).

I.4.3.2. Volet frontonasal

Il est délimité caudalement par une ligne perpendiculaire à la ligne qui s'étend de la ligne médiane à un point situé à mi-distance entre le foramen supraorbitaire et le canthus médial de l'oeil. Le bord latéral débute au niveau de la limite caudale, 2 à 2.5cm médialement au canthus médial de l'oeil et s'étend à un point situé à environ aux deux tiers de la distance entre le canthus médial de l'oeil et le foramen infra-orbitaire. La limite rostrale est une ligne perpendiculaire allant de la ligne médiane à l'extrémité rostrale de la limite latérale. La limite médiale est la ligne médiane (J.A.Auer et J.A.Stick, 2011). Comme avec la trépanation, la BSM peut être perforée pour accéder au sinus maxillaire rostral et au sinus conchal ventral.

Une fois les abords repérés, la peau est incisée le long des bordures rostrales, ventrales ou latérales et caudales. L'incision est poursuivie à travers le tissu sous cutané et le périoste puis la peau et le périoste sont rabattus. L'ostéotomie peut être réalisée avec une scie oscillante, une perceuse ou encore un ostéotome, en attaquant l'os avec un angle de 45°. Lorsque l'ostéotomie est achevée sur les trois côtés, le volet osseux peut être lentement élevé jusqu'à ce qu'il fracture le long du bord dorsal ou médial.

Pour l'approche maxillaire, il est nécessaire de découper à l'aide d'un ostéotome le septum qui sépare les deux compartiments du sinus maxillaire (J.A.Auer et J.A.Stick, 2011).

Afin d'assurer l'hémostase, un paquetage de compresses stériles ou un rouleau de gazes peut être inséré dans les sinus et sortir par voie nasale avec l'aide d'un cathéter de Chamber ou directement sortir à travers le volet sinusal. Le paquetage est suturé à la narine si introduit par voie nasale ou à un coin du volet si introduit directement dans les sinus. Il peut rester en place pendant 1 à 4 jours.

Le volet osseux est ensuite remplacé, le périoste est suturé avec des points simples continus et du fil résorbable. Le tissu sous cutané et la peau sont suturés de manière classique, avec un surjet sous cutané et des points cutanés simples ou des agrafes.

L'incision cutanée cicatrise généralement rapidement (J.A.Auer et J.A.Stick, 2011). L'incision peut être suturée partiellement à la fin de la procédure, afin de permettre des lavages ou des changements de mèches après la chirurgie, si nécessaire. La gestion post-opératoire consiste

en l'administration d'antibiotiques et d'anti-inflammatoires par voie générale et des soins de plaie.

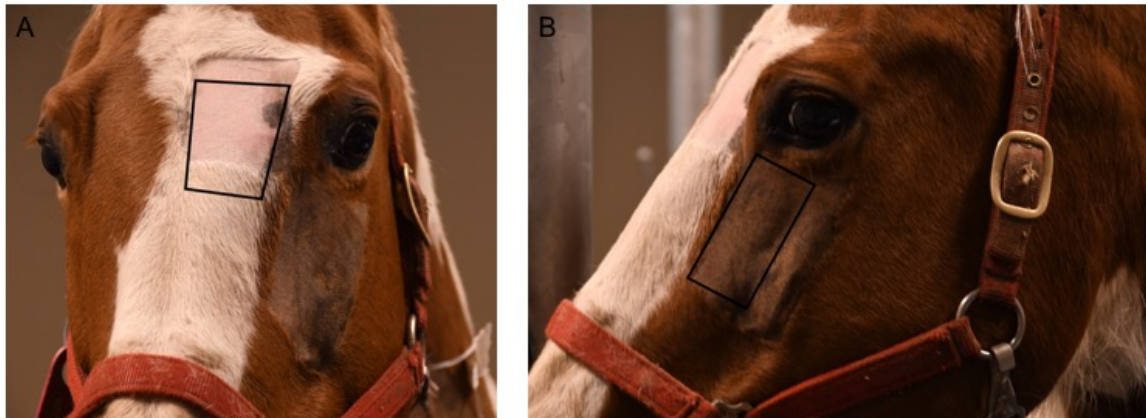


Figure 5. Sites de réalisation des volets osseux du sinus frontal (A) et maxillaire (B)

Il existe une méthode alternative de volet osseux du sinus frontal décrite par Quinn en 2005, où un trépan de plus grand diamètre (5cm) est utilisé pour extraire un disque osseux qui n'est pas remis en place à la fin de la procédure (Quinn et al., 2005). Les avantages d'une telle méthode sont une diminution des hémorragies et de l'engorgement des muqueuses, un repérage plus aisé des structures anatomiques et un temps de chirurgie réduit. L'aspect cosmétique semble satisfaisant malgré le retrait du disque osseux de plus grand diamètre.

Après la chirurgie, des lavages sont recommandés une à deux fois par jour avec 3 à 5L de solution isotonique pour éliminer les résidus de pus, de sang et autres débris (J.A.Auer et J.A.Stick, 2011). La muqueuse sinusale étant extrêmement sensible, l'utilisation d'antiseptiques irritants doit être évitée. Ainsi, le lavage avec une solution de chlorure de sodium à 0,9% ou de lactate de Ringer est recommandé. La povidone iodée peut être employée mais à faible dilution (0,05%) (Barakzai et Dixon, 2014).

Nourrir le cheval au sol facilite le drainage et diminue les contaminations par le foin et les poussières. La plaie peut également être protégée par la mise en place de compresses stériles maintenues par une stockinette ou un bandage adhésif (J.A.Auer et J.A.Stick, 2011).

Les pathologies bilatérales sont très rares (3% des cas), mais si une intervention chirurgicale est nécessaire il est recommandé d'espacer les deux procédures d'au moins trois semaines (Tremaine et Dixon, 2001b, Easley et Freeman, 2013b). Une autre solution est d'employer une

technique alternative de volet frontonasal bilatéral, décrite chez un cheval miniature présentant un mucocèle bilatéral par Easley en 2013 (Easley et Freeman, 2013a). La procédure s'est déroulée debout sous sédation. Le volet frontonasal réalisé présentait les mêmes limites rostrales et latérales que celles décrites précédemment, mais était basé caudalement (ouverture rostrale) et s'étendait à droite et à gauche. Cette technique a permis un excellent accès simultané aux deux sinus conchofrontaux sans complications particulières.

I.4.4. Répulsion dentaire

Afin de résoudre les sinusites secondaires à une infection ou à une fracture dentaire ou encore dans certains cas à une fistule oro-maxillaire, les dents impliquées doivent être retirées soit par extraction orale, par buccotomie latérale ou par répulsion dentaire (Coomer et al., 2011, Dixon et al., 2000, O'Neill et al., 2011). La répulsion dentaire est la technique utilisée classiquement et sera discutée ici car elle est réalisée par les sinus. Cependant cette procédure tend à être remplacée par les techniques d'extraction orale car elle est invasive et présente de nombreuses complications (voir section 1.4.5).

La répulsion dentaire est généralement pratiquée debout ou sous anesthésie générale après la réalisation d'un volet ou d'une trépanation maxillaire (Coomer et al., 2011). La racine de la dent infectée (08, 09, 10 ou 11) est directement visualisable (volet) ou identifiée par radiographie (trépanation) et est repulsée à l'aide d'un repulseur dentaire (punch) et d'un marteau. Des radiographies per-opératoires sont utiles et nécessaires pour vérifier le placement correct des instruments et éviter les dommages iatrogènes, ainsi qu'à la fin de la procédure, pour s'assurer de l'extraction complète de la dent et de l'absence de débris dans l'alvéole. Le sinus est ensuite rincé abondamment.

A la fin de la procédure, après avoir séché la partie orale de l'alvéole, il est recommandé de placer une prothèse dentaire en polyvinyl siloxane (PVS) ou en cire imprégnée ou non d'antibiotiques, afin d'éviter la formation d'une fistule oro-maxillaire et permettre la guérison de l'alvéole. Le patient devrait recevoir une couverture antibiotique de large spectre étant donnée la présence fréquente de bactéries anaérobies.

I.4.5. Complications des chirurgies sinusales

Les chirurgies des sinus sont sujettes à de nombreuses complications. La première à prévoir lors de chirurgie des sinus est le risque d'hémorragie, étant donnée l'importance de l'irrigation de la muqueuse sinusale. Ce risque est diminué lorsque l'intervention est réalisée sur un cheval debout et que la tête peut être maintenue vers le haut (Barakzai et Dixon, 2014). En prévention, un prélèvement de sang peut être réalisé avant la chirurgie afin de réaliser une autotransfusion si besoin, sinon du sang d'un donneur compatible devrait être disponible (Barakzai et Dixon, 2014).

Les autres complications possibles sont une infection de la plaie, une nécrose de la peau recouvrant le volet osseux, la formation d'un séquestre osseux ou d'une fistule, une exostose des sutures crâniennes, un traumatisme du canal infra-orbitaire et une récurrence ou une résolution incomplète du processus pathologique (Ahern et Parente, 2008, Barakzai et Dixon, 2014, Tremaine, 2006).

L'exostose peut survenir de manière idiopathique ou bien à la suite d'un traumatisme ou d'une intervention chirurgicale (Dixon, 2014). Elle se caractérise par une déformation ferme, irrégulière, diffuse et non douloureuse localisée soit entre les deux yeux lorsqu'elle affecte les sutures nasofrontales, soit rostralement au canthus médial de l'œil lorsqu'elle atteint les sutures nasolacrimalales, maxillolacrimalales et frontolacrimalales. Dans ce dernier cas, un épiphora est généralement associé, suite à une obstruction du canal naso-lacrimal (Dixon, 2014). Ces lésions se résolvent généralement d'elles-mêmes en plusieurs mois mais certains cas peuvent nécessiter une intervention chirurgicale (Manso-Diaz et Taeymans, 2012).

Une dyspnée inspiratoire peut se développer suite à une réaction inflammatoire importante provoquant une diminution du diamètre de la cavité nasale (Coomer et al., 2011). Des complications peuvent également survenir avec le paquetage s'il a été mal placé (Ahern et Parente, 2008). En effet, en présence d'une fistule sino-nasale, il peut migrer caudalement et éventuellement être avalé dans l'œsophage (Ahern et Parente, 2008).

Une étude de 2013 rapporte cinq cas de neuropathie du nerf trijumeau chez des chevaux apparus dans les 45 jours après une chirurgie des sinus, avec des dommages causés au canal infra-orbitaire clairement établis pour deux d'entre eux (Gilsenan et al., 2014). Des complications neurologiques sévères ont également été rapportées chez le cheval après

injection intra-lésionnelle de formol dans un adénocarcinome de l'éthmoïde ou dans un hématome ethmoïdal (Maischberger et al., 2014, Frees et al., 2001). Des méningites bactériennes peuvent également survenir suite à une chirurgie des sinus, cinq cas ont été rapportés dans l'étude de *Bach* en 2013 (Bach et al., 2014). Cette infection, fatale, peut se propager au cerveau de quatre façons : par ostéite ou érosion de la lame criblée de l'éthmoïde ou du bord dorsal du sinus sphéno-palatinal ; par voie vasculaire ; le long des nerfs crâniens ou bien par inoculation directe à la suite d'un traumatisme. Le faible nombre de cas dans cette étude n'a pas permis de statuer sur d'éventuelles mesures préventives mais les facteurs de risque suivants ont été établis : traumatisme chirurgical des tissus, diminution du drainage, proximité anatomique avec la voûte crânienne et les nerfs crâniens et la présence de bactéries multirésistantes.

Enfin, le développement d'un pneumocéphale a été rapporté en 2009 chez un Quarter Horse de 2 ans suite au retrait d'un ostéome, mais sans conséquence clinique (Ragle et al., 2009).

En ce qui concerne la répulsion dentaire, elle va détruire l'alvéole dentaire et créer une communication entre la cavité orale et le sinus maxillaire rostral ou caudal et comporte un risque accru de complications comparé aux autres techniques. Le taux de complication se situe entre 32 et 70% et comprend l'infection d'une dent adjacente, la formation d'un séquestre osseux, l'installation ou la persistance d'une sinusite chronique, la formation d'une fistule oro-maxillaire, l'impaction de nourriture dans l'alvéole ou le sinus, en plus des complications liées à l'approche chirurgicale (Coomer et al., 2011).

Dans l'étude de *Coomer* (2011) où une technique de répulsion dentaire est réalisée sur le cheval debout, le taux de complications est comparativement un peu moins élevé (46%) et consistaient en des sinusites persistantes, résolues après traitement antibiotique ou lavages (Coomer et al., 2011). Cela pourrait être associé au fait que, pour tous les cas, il avait été tenté au préalable d'extraire la dent par voie orale afin d'essayer de la détacher, ce qui facilite ensuite la répulsion.

1.5. Conclusion

L'ensemble des articles rapportés et commentés ici permettent de rendre compte de plusieurs points. Tout d'abord, les affections sinusales sont relativement courantes chez le cheval, et

les différentes pathologies sont bien décrites. Ensuite, les différents outils diagnostiques à la disposition du praticien sont de valeurs inégales en termes d'utilité diagnostique, de disponibilité, de coûts et de praticité de réalisation. La difficulté à établir un diagnostic précis explique que le traitement puisse être laborieux selon la pathologie sous-jacente, et requiert encore souvent l'utilisation de techniques invasives et traumatiques, avec un taux de complications non négligeable.

Mais de plus en plus d'articles décrivent des techniques visant à améliorer le diagnostic et le traitement de manière moins invasive, afin d'améliorer le taux de succès des différentes procédures et diminuer les complications. Le développement d'une technique de sinusotomie peu invasive s'inscrit clairement dans cette démarche novatrice.

Comme mentionné précédemment, la tomodensitométrie est la technique la plus performante pour diagnostiquer les maladies sinusales mais son coût élevé, sa faible disponibilité et les risques liés à l'anesthésie sont des freins majeurs à la démocratisation de son utilisation. La sinusoscopie traditionnelle, présente un bon taux diagnostique mais reste une technique invasive qui peut se révéler laborieuse lorsque de multiples trépanations sont nécessaires. C'est pourquoi nous pensons que la mise au point d'une technique de sinusoscopie peu invasive serait d'une grande utilité pour les différents praticiens équinés et permettrait d'améliorer le diagnostic des affections sinusales de manière simple et moins invasive.

1.6. Hypothèses et objectifs

Nous supposons qu'en combinant une technique de mini-sinusotomie (2 mm de diamètre) avec l'utilisation d'un nouvel endoscope flexible de 2 mm nous pouvons obtenir une évaluation exhaustive des différents sinus paranasaux sur des cadavres et aussi sur des chevaux debout sous sédation. En raison de la simplicité de la procédure, nous supposons également que cette technique de sinusoscopie peu invasive (TSPI) peut être facilement réalisée avec succès et sécurité dans plusieurs sinus au cours de la même procédure, sans répercussions néfastes.

Les objectifs sont :

- 1) Déterminer des repères anatomiques détaillés pour accéder aux différents sinus paranasaux via une mini-sinusotomie et obtenir une évaluation complète des sinus, basée sur les informations recueillies après dissection de têtes de chevaux (phase 1),
- 2) Décrire la technique chirurgicale et déterminer le champ de visualisation du TSPI sur des spécimens cadavériques (phase 2) et chez des chevaux sains (phase 3),
- 3) Rapporter les limites ou complications associées à la procédure.

II. Article

En révision, soumis le 14 août 2018 à *Veterinary Surgery*.

Validation of a 2 mm videoendoscope for the evaluation of the paranasal sinuses using a minimally invasive technique

Morgane Pouyet¹, DMV

Alvaro G. Bonilla¹, DMV, MS, Diplomate ACVS

¹Department of Clinical Sciences, College of Veterinary Medicine, Université de Montréal, Saint-Hyacinthe, Québec, Canada

Corresponding author

Alvaro G. Bonilla, DMV, MS, Diplomate ACVS, Department of Clinical Science, College of Veterinary Medicine, 3200 Rue Sicotte, Saint-Hyacinthe, QC J2S 2M2, Canada

E-mail: aa.garcia.bonilla@umontreal.ca

II.1. Abstract

Objective: To describe the technique, experience and limitations using a 2 mm flexible endoscope to perform standing minimally invasive sinoscopy.

Study design: Phase 1 and 2 used cadaveric heads. Phase 3 used unaffected horses.

Animals: Five cadaveric equine skulls in phase 1 and 10 in phase 2. Six horses older than 5 years-old in phase 3.

Methods: In phase 1, the specimens were used to determine the suitability of the endoscope for sinoscopy and the ideal landmarks to approach the different sinuses through a mini-sinusotomy performed with the aid of a 14 G needle. In phase 2, the visualization of the different sinus compartments was evaluated, and a score was attributed to each structure. Video recordings from the procedure were obtained and compared with direct visualization of the paranasal sinuses after performing frontal and maxillary flaps. In phase 3, the technique was validated on healthy horses under sedation.

Results: The landmarks determined in phase 1 allowed an exhaustive exploration of the sinuses in phase 2 and 3. Sinoscopy findings were confirmed after direct visualization of the sinuses via frontal and maxillary bone flaps in phase 2. All horses tolerated well the procedure without any major complications.

Conclusion: Minimally invasive sinoscopy was readily performed without relevant complications in standing horses. After determination of precise landmarks, an exhaustive evaluation of most sinus structures was obtained using the frontal and the rostral maxillary portals.

Clinical significance: Minimally invasive sinoscopy offers an alternative diagnostic tool to veterinarians. Nonetheless, a specialized endoscope and appropriate training is necessary to perform it.

II.2. Introduction

Paranasal sinus disease is the most common cause of unilateral nasal discharge in horses; however, the diagnosis of sinus pathology remains a challenge mainly due to their complex anatomy and the diagnostic limitations of traditional imaging techniques (Tremaine and Dixon, 2001a). Upper airway endoscopy allows to identify the origin of discharge in 50 to 100% of cases depending on the pathology and radiography yields a definitive diagnosis in less than 40% of affected horses, which contributes to the chronic presentation and high recurrence rate frequently observed with sinus affections (Dixon et al., 2012a, Tremaine and Dixon, 2001a). Hence, advanced imaging diagnostic or sinoscopy are often needed to reach a complete diagnosis. Computed tomography (CT) can identify apical infections in 97% of cases and is the current gold standard to diagnose sinus diseases and its use is progressively becoming more popularized (Kaminsky et al., 2016, Liuti et al., 2017). Nevertheless, the need for general anesthesia in most hospitals, especially in North America, the cost and the availability only in referral centers still limit the benefits and accessibility of CT.

Sinoscopy allows direct visualization of the paranasal sinuses and reaches a diagnostic rate of approximately 70% (Tremaine and Dixon, 2001a). Unfortunately, the technique is invasive as it requires surgical trephination (10 to 25 mm) of the skull and in some instances, may even require multiple trephine holes for a thorough evaluation of all sinuses (Easley and Freeman, 2013, Barakzai et al., 2008, Perkins et al., 2009a). Accordingly, the development of a minimally invasive sinoscopic technique (MIST) may simplify the surgical approach and the invasiveness of the procedure, especially if multiple trephines are performed, add versatility to the technique and generalize the use of sinoscopy as a basic diagnostic tool. Thus, this technique could serve as a diagnostic alternative to traditional sinuscopy and/or when CT, the gold standard, is not available.

The aim of our study was to describe the technique, experience and limitations using a 2 mm flexible endoscope to perform standing minimally invasive sinoscopy in horses. We hypothesize that a 2 mm flexible endoscope could be used to achieve an exhaustive evaluation of the paranasal sinuses in standing horses. We also hypothesize that this MIST can be easily and successfully performed in multiple sinus compartments during the same procedure without any detrimental repercussions.

II.3. Material and methods

The study was designed in 3 phases. In phase 1, cadaveric heads were used to determine ideal landmarks to perform the MIST. In phase 2, cadaveric heads were used to assess sinus evaluation while using the MIST and in phase 3, the MIST was performed on healthy horses.

II.3.1. Equipment

A flexible 2 mm diameter and 18 cm long endoscope was designed in cooperation with a veterinary endoscopy company (BioVision Technologies, Golden, CO) based on a 0.9 mm diameter endoscope already commercially available by the company (Fig 6). This flexible endoscope is compatible with the Next Generation Needle view arthroscope suite used in horses for standing arthroscopy (Frisbie et al., 2014, Bonilla, 2017). This flexible endoscope is re-usable, requires manual manipulation to be guided (absence of control knob) and lacks a flush system or instrument channel.

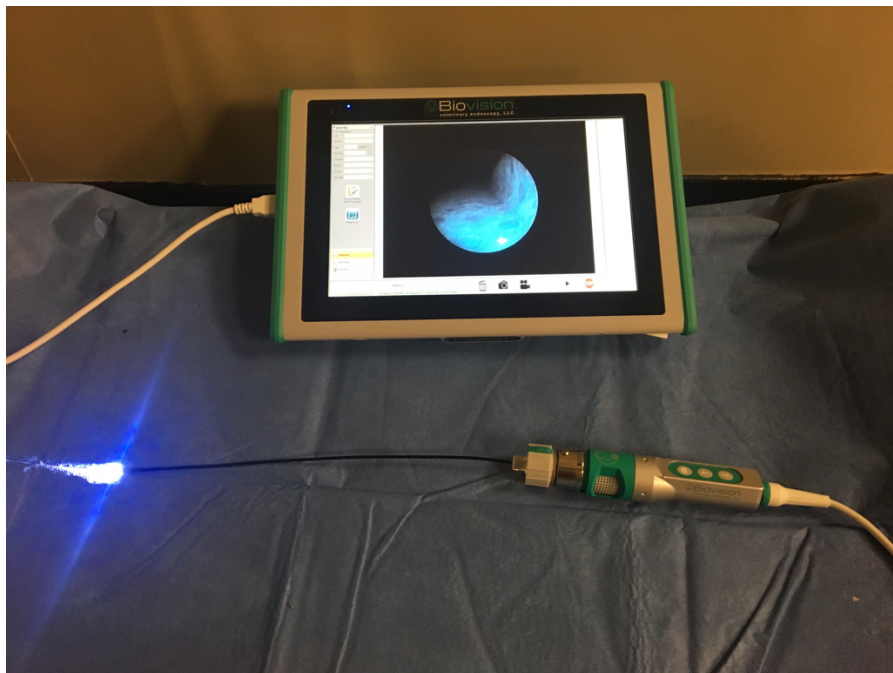


Figure 6. Image depicting the novel 2 mm flexible endoscope attached to the camera and the monitor.

II.3.2. Phase 1

Five equine heads collected from medium-size horses older than 5 years old and euthanized for reasons unrelated to the study (4 client-owned horses donated to research after euthanasia and one horse enrolled in another research study (IACUC: 18-RECH-1578) were included in this phase. These specimens were used to determine the suitability of the flexible endoscope for sinoscopy and to determine the ideal landmarks to approach the frontal, caudal and rostral maxillary sinuses.

Based on previously reported landmarks, a mini-sinusotomy was performed to access the frontal, caudal maxillary and rostral maxillary sinuses (Perkins et al., 2009a, Barakzai et al., 2008). Briefly, the skin overlying the paranasal sinuses was clipped and a 3 mm incision was performed through the skin and subcutaneous at the reported landmarks with a #11 scalpel blade. Then, a mini-sinusotomy was performed by advancing, with the aid of a mallet, a 3.8-cm long, 14-gauge needle (2.1-mm outer diameter) through the frontal (frontal sinus, FS), zygomatic or lacrimal (caudal maxillary sinus, CMS) or maxillary bones (rostral maxillary sinus, RMS) (Fig 2). The needle used to perform the mini-sinusotomy was then removed with the aid of circular movements and sinoscopy was performed.

II.3.3. Phase 2

Only heads of adult horses older than 5 years were included in this phase as the teeth reserve crown in younger animals precludes a thorough evaluation of the maxillary sinuses (Barakzai et al., 2008). Six heads from horses older than 10 years old with no history of sinus disease were collected from client-owned horses donated to research after euthanasia (5/6) or from horses (1/6) euthanized at the end of another research study (IACUC: 18-RECH-1578), and frozen at -20°C until the study was performed. Four heads from horses aged 5-10 years old were collected with permission from a nearby abattoir due to the lack of specimens of those ages available at our institution during the study period. These specimens were utilized either fresh (2) or they were frozen (2) at -20°C until the study was performed.

Specimens included in this phase were obtained from four males and six females of different breeds (4 Standardbreds, 3 Quarter Horses, 1 Percheron, 1 Hanoverian, 1 Welsh pony). Heads from horses other than medium-size breeds were included to ensure the suitability of the procedure in horses of most sizes.

The procedure was evenly and randomly performed as previously described, in the left or right paranasal sinuses in both age groups. Video recordings from each procedure were obtained and later compared with direct visualization of the paranasal sinuses after performing frontal and maxillary flaps.

A grading score made by the authors was assigned for each structure that should be visualized during sinoscopy: 2 for complete visualization, 1.5 for sub-complete, 1 for partial or limited and 0 for no visualization. The information was then recorded and tabulated in an Excel Spreadsheet (Microsoft, WA). For each horse, the scores of each structure that should be visible from an individual approach (see below) were added up and expressed in percentage (global score for each approach). If a structure was not present within the sinuses due to anatomic variability (i.e: tooth 08), the individual score was not considered, in order to prevent negatively affecting the global score of visualization (Brinkschulte et al., 2013). The structures graded from each approach were:

- From the FS: ethmoid, caudal recess of the frontal sinus (FS “cul de sac”), caudo-medial aspect of the dorsal conchal sinus, fronto-maxillary opening, maxillary septal bulla (MSB), caudal aspect of the caudal maxillary sinus, infra-orbital canal, entrance to the sphenopalatine sinus, roots of maxillary teeth 110/210 and 111/211.
- From the CMS: ethmoid, fronto-maxillary opening, MSB, infra-orbital canal, entrance to the sphenopalatine sinus, caudal aspect of the caudal maxillary sinus and roots of maxillary teeth 110/210 and 111/211.
- From the RMS: roots of maxillary teeth 108/208, 109/209 and 110/210, infra-orbital canal, MSB and ventral conchal sinus.

Whenever any of these structures had a score of 1 or less during the MIST, the mini-sinusotomy was enlarged by using a 5-mm Steinmann pin with the aid of a Jacobs chuck. Sinoscopy and grading was then repeated through the enlarged hole to determine if it would improve visualization of the different sinus structures.

Only during this phase and after enlarging the frontal mini-sinusotomy with a 5-mm Steinmann pin, the MSB was fenestrated. For this purpose, the endoscope and a bended 14G catheter trocar were simultaneously introduced through the slightly enlarged sinusotomy (5-mm) and the MSB was fenestrated endoscopically-guided by piercing the MSB with the catheter trocar. After fenestration, the opening on the MSB was slightly enlarged by performing rotational movements with the catheter trocar. The fenestration was made at the

level of the infra-orbital canal (medial to lateral direction) and as dorsal and rostral as possible in the segment of the MSB protruding through the fronto-maxillary opening. The flexible endoscope was then inserted through the newly created opening and the rostral maxillary and ventral conchal sinuses were evaluated.

II.3.4. Phase 3

Six horses without history of sinus diseases from a research herd at the Faculty of Veterinary Medicine of the Université de Montréal were enrolled to validate the technique in alive animals and to report safety and complications associated to the procedure. Animal use was approved by the local institutional animal care committee (IACUC: 18-RECH-1578). Horses included were 4 females and 2 males from various breed (3 Paint, 2 Quarter Horse and one Arabian), aged from 9 to 18 years old and of approximately 500kg.

After complete physical examination, horses were lightly sedated with detomidine (0.01 mg/kg, intravenous (IV)) or xylazine (0.4 mg/kg, IV) and radiographically screened (latero-lateral and dorso-ventral radiographic projections of the skull) to rule-out any obvious or severe sinus pathology. Horses were then premedicated with procaine penicillin (22000 UI/kg intramuscular (IM)) and phenylbutazone (2.2mg/kg, IV), sedated with detomidine (0.01mg/kg, IV) and butorphanol (0.01mg/kg, IV) and restrained in standing stocks. The surgical sites were clipped and aseptically prepared. Skin and subcutis were anesthetized with 1 mL of lidocaine 2% at the selected landmarks. Access to the right (3 horses) or left (3 horses) FS, CMS and RMS was performed as previously described and randomly distributed with a research randomizer software (dcode.fr). First, the mini-sinusotomy was performed in the 3 selected locations and then the different sinuses were evaluated with the flexible endoscope as described in phase 2 (Fig 2). A Steinman pin was not used to enlarge the mini-sinusotomy in this phase. Video recordings were obtained for each procedure. The endoscope was cleaned and disinfected solely with alcohol between horses.

At the end of the procedure, the sinuses were flushed with 300-500 mL of a sterile isotonic solution by introducing a 14G needle through the FS and RMS mini-sinusotomy. Skin closure was not performed, and a light head bandage was applied before horses were returned to their stalls. Horses received one more dose of phenylbutazone (2.2mg/kg, IV) 12 hours post-operatively and were kept on stall rest for 2 days before returning to small pasture turn out.

Horses were monitored twice a day for 7 days, then once a day for 7 more days. Wound healing and the presence of any complications during the post-operative period were recorded.

II.3.5. Statistical analysis

A Wilcoxon-signed rank test (Prism, GraphPad Software, San Diego, CA) was performed to determine the best approach to examine the CMS (FS versus CMS) and to compare sinus evaluation with mini-sinusotomy versus pin hole. A P-value of less than 0.05 was considered statistically significant.

II.4. Results

II.4.1. Phase 1

The first 2 specimens were performed with a 0.9 mm flexible endoscope commercially available. However, we concluded that the light output was insufficient for adequate sinus visualization. The endoscope was then modified and the diameter increased to 2 mm for the remaining specimens which allowed increased light output and appropriate sinus visualization. The endoscope was easily guided within the sinuses by means of manual manipulation.

Standard landmarks for mini-sinusotomy/sinoscopy were slightly modified to allow an exhaustive examination of the sinuses with the 2 mm endoscope:

1. To access the frontal sinus, the mini-sinusotomy was performed at 40% of the distance from the medial canthus of the eye to midline and 2cm caudal to the rostral aspect of the rostral lacrimal tubercle, with the needle inserted perpendicular to the bone (Fig 2). The rostral lacrimal tubercle is a boney prominence palpable just rostral and slightly dorsomedial to the medial canthus and serves as the insertion point for the orbicular muscle.
2. To access the caudal maxillary sinus, the mini-sinusotomy was performed 1cm rostral and 3 cm ventral to the rostral aspect of the rostral lacrimal tubercle, with the needle inserted perpendicular to the bone (Fig 7).

3. To access the rostral maxillary sinus, the mini-sinusotomy should be performed 40% of the distance from the rostral end of the facial crest to the level of the medial canthus and 1 cm ventral to a line joining the infraorbital foramen and the medial canthus, with the needle directed slightly upwards (approximately 30 degrees) (Fig 2). This needle orientation facilitates advancement of the scope over the infraorbital canal.

Dissection after sinoscopy revealed mild fragmentation of the maxillary bone around the needle insertion in one specimen. It was also noted that circular movements of the 14G needle would slightly enlarge the mini-sinusotomy if additional space to maneuver the endoscope was required.



Figure 7. Image depicting needle placement to perform mini-sinusotomy in the frontal, caudal maxillary and rostral maxillary sinuses. The needle introduced in the rostral maxillary sinus is oriented slightly upwards to allow the endoscope to pass over the infra-orbital canal and visualize the ventral conchal sinus. The white star shows the position of the rostral lacrimal tubercle.

II.4.2. Phase 2

The scores obtained for the different approaches in phase 2 are presented in Table 3. No differences were found when sex or breed were considered. As previously reported, we found that the maxillary septum was mostly oblique and changes in position with age (Brinkschulte et al., 2013). The maxillary septum was completely absent in specimen 7.

Most structures were assigned a score of 2 for the FS and CMS (global score of 81% or above). Partial to no visualization of the FS “cul-de-sac” and the caudo-medial aspect of the dorsal conchal sinus was noted when the 14G needle was used to perform the FS mini-sinusotomy in 2 specimens. Nevertheless, complete or sub-complete visualization was achieved in 9/10 for FS “cul-de-sac” and in all specimens for the caudo-medial aspect of the dorsal conchal sinus after the mini-sinusotomy was enlarged with a 5 mm Steinmann pin. The lowest score (81%)

through the CMS approach was related to a specimen where the BSM was completely vertical and not initially visualized (score=0) but completely visualized when the pin was used to enlarge the mini-sinusotomy. We did not find a significant difference in the scores between the FS and CMS approaches for evaluation of the CMS ($p>0.99$ for the mini-sinusotomy and for the pin).

As with traditional sinusoscopy, maneuverability of the endoscope within the RMS was limited due to the smaller size of this sinus and the amount of structures present within it (Easley and Freeman, 2013, Barakzai et al., 2008, Perkins et al., 2009a). We obtained partial to no visualization of the tooth roots of 108/208 in 6 cases, of the ventral conchal sinus in 2 cases and of the MSB in 3 cases. Visualization of these structures was improved after enlarging the portal with a 5 mm Steinmann pin in all horses (Table 1). The scores obtained after enlarging the frontal and the rostral maxillary portals with the pin were significantly higher ($p=0.0156$ and $p=0.0157$, respectively), but this was not the case for the caudal maxillary portal ($p=0.250$).

Table III. Visualization scores (in %) obtained for each approach during phase 2 with the needle and the pin. For each portal, scores obtained for each structure were added up to represent the global visualization achieved with the approach. FS: frontal sinus, CMS: caudal maxillary sinus, RMS: rostral maxillary sinus.

Head	FS		CMS		RMS	
	needle	pin	needle	pin	needle	pin
1	86	93	100	100	70	100
2	98	100	100	100	92	100
4	84	91	100	100	80	90
5	95	100	100	100	100	100
6	98	100	100	100	100	100
7	98	100	100	100	100	100
8	93	93	97	100	54	96
9	89	100	81	100	70	85
10	98	98	94	100	67	92
11	95	95	97	97	71	83
Mean	93	97	97	100	80	95

Perforation of the MSB was deemed difficult (specimens 1, 4, 7, 8) or impossible (specimen 6) when the MSB was not protruding through the fronto-maxillary opening. Complete visualization of the rostral maxillary and/or ventral conchal sinuses after fenestration of the MSB was only achieved in 3/9 specimens. Once the endoscope was introduced through the perforated MSB, we were unable to easily direct the endoscope due to the small size of the perforation performed and the lack of a control knob in this device. Due to all these limitations, perforation of the MSB was not pursued during phase 3.

MIST findings were confirmed in all instances after direct visualization of the sinuses via frontal and maxillary bone flaps. No complications were detected during the procedure other than iatrogenic damage of the infraorbital canal in one specimen where pin entry was performed inappropriately fast.

II.4.3. Phase 3

The scores obtained for the different approaches in phase 3 are presented in Table 2.

A score of 91% or above was obtained in all horses which represented complete visualization of most structures and validated the MIST (Fig 8, 9 and 10). Visualization of the FS “cul-de-sac” and of the caudal part of the dorsal conchal sinus was partial (4/6 horses) or better (2/6) and sub-complete (4/6 horses) or better (2/6), respectively.

In agreement with phase 2, there was no significant difference for the visualization of the structures within the CMS when the FS approach and the CMS approach were compared ($p=0.32$). In this regard, the most relevant difference was seen in 3 horses. In these animals, a voluminous MSB prevented visualization of the rostral tooth roots of 110/210 during the FS approach.

Tableau IV. Visualization scores (in %) obtained for each approach during phase 3. For each portal, scores obtained for each structure were added up to represent the global visualization achieved with the approach. FS: frontal sinus, CMS: caudal maxillary sinus, RMS: rostral maxillary sinus.

Horse	FS	CMS	RMS
1	98	94	100
2	95	97	100
3	93	94	100
4	95	97	100
5	95	94	100
6	91	94	100
Mean	95	95	100

In comparison with phase 2, the results obtained for the RMS approach were excellent (100% score) for all horses. The most significant difference was associated to the roots of 108/208. Based on radiography and sinusoscopy, the roots of 108/208 were inside the RMS in 2/6 horses and visible with the MIST in both of them. In contrast, it was inside the RMS in 8/10 specimens in phase 2 and visible after needle mini-sinusotomy in only 3/10 heads.

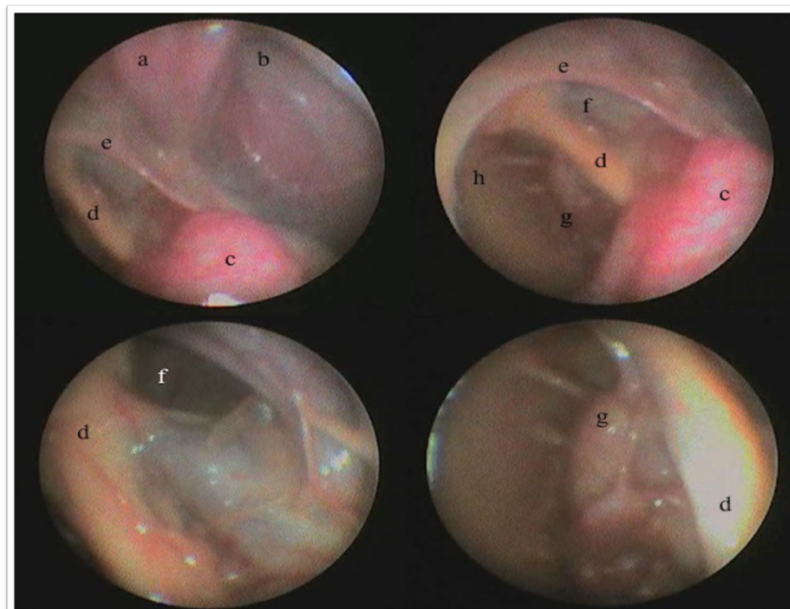


Figure 8. Endoscopic images highlighting the structures visualized during the MIST in the right frontal sinus of a horse: ethmoid (a), caudal aspect of the dorsal conchal sinus (b), MSB (c), infra-orbital canal (d), fronto-maxillary opening (e), entrance to the sphenopaltine sinus (f) and roots of the 111 tooth (g).

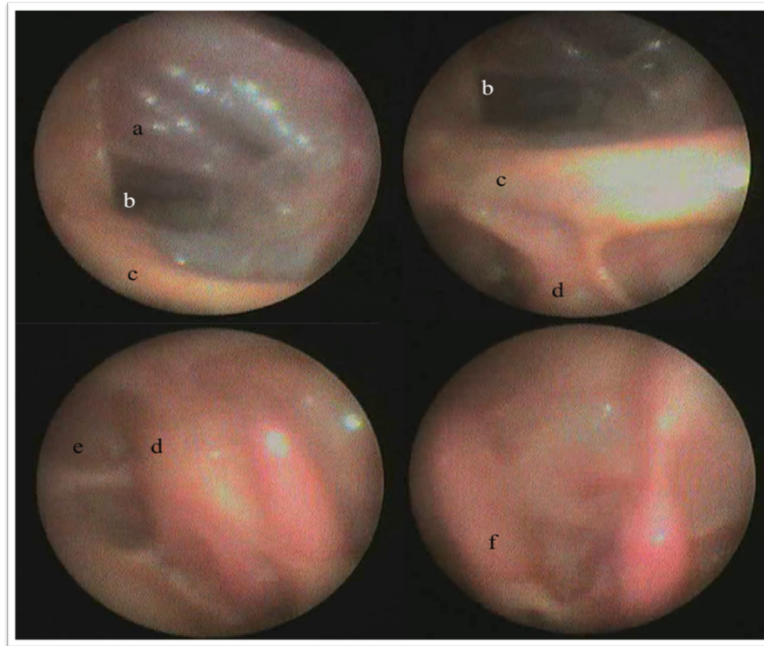


Figure 9. Endoscopic images highlighting the structures visualized during the MIST in the caudal maxillary sinus of a horse: ethmoid (a), entrance to the sphenopalatine sinus (b), infra-orbital canal (c), roots of the 111 tooth (d), « cul-de-sac » of the caudal maxillary sinus (e) and roots of the 110 tooth (f).

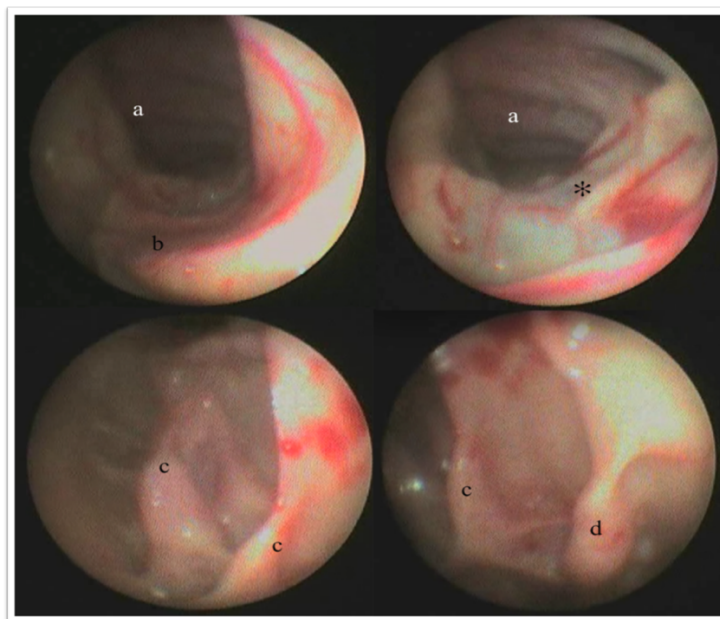


Figure 10. Endoscopic images highlighting the structures visualized during the MIST in the right rostral maxillary sinus of a horse: ventral conchal sinus (a), infra-orbital canal (b), roots of the 109 tooth (c) and roots of the 108 tooth (d). Note the mild mucosal petechiation at the level of the roots of 109. This petechiation was seen in some cases after contact of the endoscope was made with the sinus mucosa to clean the lens. Note that the ventral aspect of the ventral conchal sinus is collapsed and covered by mucosa in the right upper image (black asterisk). This was commonly seen during phase 3 in healthy horses.

For the RMS approach, special attention to prevent damage to the levator nasolabialis and the levator labii superioris muscles as well as the angularis oculi vein was given. The structures were dorsally displaced with a finger at the time of performing the mini-sinusotomy. We also recommend gentle needle insertion while performing the mini-sinusotomy of the RMS. This will prevent iatrogenic damage to the infra-orbital canal as it is located close to the maxillary bone at this level.

The complete MIST took approximately 30 minutes to be performed. Manipulation of the endoscope was deemed easy in all cases and all horses tolerated well the procedure. Fogging or darkening of the field of view was quickly resolved when encountered by contacting an adjacent mucosal surface or by cleaning the endoscope and reintroducing it. No personnel or equipment damage occurred.

No intra-operative complications were noted during the procedures other than mild petechiation in the RMS mucosa in 3/6 horses. This was believed to be associated to contact of the endoscope with the sinus mucosa to clean the endoscopic lens. All horses developed mild (2 cm diameter or less) subcutaneous emphysema at the level of the mini-sinusotomies within a few hours of the procedure and lasted between 12 to 24 hours. In one horse, moderate emphysema (4 cm diameter around the RMS mini-sinusotomy) extended rostrally and ventrally after the MIST and persisted for 72h. Bandages were removed 48h after the procedure and at that time, all incisions were macroscopically healed. The cosmetic appearance was considered excellent for all horses but one. This horse developed local thickening (1.5 cm x 1.5 cm) at the FS mini-sinusotomy which resolved after two weeks. No signs of sinus or incisional infection were noted post-operatively.

One horse was euthanized 20 days after the procedure for reasons unrelated to the study. At necropsy, we identified partial filling of the mini-sinusotomies with fibrous tissue and a 2 mm circular rim of bone remodeling at the internal surface of the perforated bones.

II.5. Discussion

This report describes and validates the use of a novel 2 mm endoscope to perform minimally invasive sinoscopy in standing horses through a mini-sinusotomy performed with a 14 G needle. The mini-sinusotomy per se is easy to perform and does not require special expertise or instrumentation. The first phase of the study allowed development of accurate landmarks to perform the MIST. The use of an endoscope without a control knob through a small entry point required precise landmarks to maximize sinus visualization. Subsequent phases validated the use of the MIST in cadaveric heads and healthy horses. The flexible endoscope was easy to manipulate and allowed a rapid evaluation (30 min) of the paranasal sinus without significant complications.

The use of the MIST allowed exhaustive visualization of most structures from all approaches but the RMS in phase 2. Visualization difficulties on the RMS approach were eliminated when a 5 mm Steinmann pin was used. This technique could be used in cases where visualization of any structure is insufficient or if mini-sinusotomy location is suboptimal. However, this difference was not observed during phase 3. First, the bone was softer on alive horses which facilitated farther enlargement of the mini-sinusotomy hole by circular movement of the 14G needle. This enlargement creates more room to manipulate the endoscope and hence, allows better visualization of the different structures. Second, we determined the presence of 108/208 tooth roots inside the RMS in 2/6 horses by radiography and sinoscopy. We are unaware of any studies reporting the accuracy of radiography detecting the presence of 108/208 within the RMS but intuitively, it should be high. In fact, radiographic determination for accurate placement of a trephine portal within the RMS is between 93-100% (Perkins et al., 2009a). Independently, visualization of 108/208 is proven to be challenging even during traditional sinoscopy and their presence within the RMS is variable and often age dependent. A success rate of visualization of 29-65% was reported by Perkins et al when 6 different portals to access the RMS were investigated (Perkins et al., 2009a). This study also reported that the RMS portals provided poor visibility (0-13 %) of the VCS due to interference from the infra-orbital canal and the cheek tooth roots. Accurate portal location and the small size and flexibility of our endoscope may have allowed us to navigate over the infra-orbital canal more easily than previously reported. Also, we did not experience any interference issues with the

tooth roots, but unlike Perkins et al, our study only used horses older than five years old (Perkins et al., 2009a).

No specific attempts were made to explore the FS from the CMS approach although we anticipate that it could be difficult due to intrinsic limitations of the endoscope. No difference between the CMS and the FS approach to explore the commonly affected CMS was noted, and the difference found in phase 2 between the mini-sinusotomy and the pin hole for the FS approach was considered not clinically relevant. Based on that and the previously mentioned ease to enlarge the mini-sinusotomy with circular movements of the 14 G needle in alive horses, only the mini-sinusotomy was performed in phase 3. Results from phase 3 (table 2) showed that the use of the MIST through a FS and RMS approach should suffice exploration of the ensemble of the paranasal sinuses. Nevertheless, use of the CMS approach should not be completely discarded and could be used on a case-by-case basis. For example, it was beneficial to visualize the rostral roots of 110/210 in cases with a voluminous MSB.

In phase 2, the MSB was perforated to access the RMS as it has been associated to improve visualization of most structures within the RMS and VCS (Perkins et al., 2009a). In agreement with other studies, we found that the MSB varied in shape and size among horses and that lack of protrusion through the frontomaxillary opening will render perforation of the MSB difficult to impossible (Perkins et al., 2009a, Perkins et al., 2009b). In the few cases where optimal perforation was achieved, visualization of the VCS and the RMS was inconsistent and therefore, we cannot recommend this approach at the moment.

Nasal and paranasal mucosa is well vascularized, and damage can lead to profuse bleeding and visualization issues (Barakzai and Dixon, 2014). In fact, this could be exacerbated in horses affected by sinus pathology where the sinus mucosa is inflamed (Perkins et al., 2009b). In an effort to promote clotting and minimize bleeding inside the sinuses, the needle mini-sinusotomy to the FS, CMS and RMS were done sequentially before performing the MIST.

Only minor complications (emphysema) were found during phase 3. As previously reported, emphysema occurred in all cases after sinoscopy and resolved spontaneously within a few days (Ruggles et al., 1991). Other complications commonly associated with sinoscopy such as wound infection, bone sequestrum or suture exostosis were not found and are unlikely to

occur with the MIST considering the invasiveness of the technique (Barakzai and Dixon, 2014). Also, cosmetic outcome was excellent in all horses and only temporary thickening at one mini-sinusotomy site occurred in one horse. No sinus infection was seen post-operatively despite the lack of sterilization of the endoscope between horses, only alcohol cleaning was performed between patients. Regardless, the use of liquid disinfectants is likely recommended if used in clinical patients under the presence of infection.

The MIST is conceived as a diagnostic tool for horses with sinus disease but as traditional sinuscopy, it could also be employed to assist during treatment. The mini-sinusotomy technique can be used to perform sinus lavage and we routinely use it at our institution for this purpose. Additionally, the MIST could be used to perform endoscopically-guided trephine holes to treat a specific lesion or to perform endoscopically-guided tooth repulsion. Regardless, the MIST will likely require a more invasive follow-up procedure such a bone flap or a bigger trephination to successfully treat the sinus problem as traditional sinuscopy also often does.

Several limitations, mainly associated to the 2 mm endoscope, are present in our study. First, the flexible endoscope lacks a control knob and although it can be guided manually, the tip of the endoscope cannot be remotely bent once inside the sinus. This feature may limit the visualization of the lateral roots of 109/209 and can make visualization of the most ventral aspect of the VCS impossible. However, we found that in healthy horses the ventral aspect of the VCS is often collapsed and cannot be easily accessed (Figure 3). In addition, this lack of remote maneuverability also limits the possibility of reliably performing upper airways endoscopy or accessing the sinuses directly through the nasomaxillary opening without the need of a trephination. Second, the field of view is smaller than a 10 mm endoscope which will require some adaptation to the new user. However, the learning curve is not steep. Third, the endoscope is not equipped with an instrument portal or a flushing system. Cleaning of the lens during the procedure was rapidly obtained and was not considered problematic. However, this could be an issue on clinical cases despite the lack of visibility problems seen on the 3 clinical cases performed up to this date. Furthermore, the creation of a second portal for suction/irrigation could be also beneficial to improve visibility when exudate in the sinuses is present in clinical cases. Last, sinoscopic grading was not blinded due to the difficulty to find

a blind-observer familiarize with the images obtained with this novel endoscope, and a bias effect may have played a role. In an effort to prevent this situation, grading of all structures was agreed between both authors and confirmation of sinoscopic visualization was obtained after performing a bone flap in phase 2. Unfortunately, the same could not be performed in phase 3 as the animals were enrolled in another study.

The goal of the study was not to directly compare our technique with traditional sinoscopy as both techniques offer different benefits/limitations associated to the different endoscopes used for each one. MIST was neither conceived to replace CT as the current gold standard to diagnose sinus pathology. At this point, the MIST should be considered as another diagnostic tool for the diagnosis of paranasal disease until further studies with clinical cases could determine if it is a suitable alternative to traditional sinoscopy. Thus, we decided to use direct anatomic visualization of the sinuses (gold standard) via bone flap as a control group in phase 2 rather than traditional sinoscopy to prevent identification errors and validate the technique in cadavers. The degree of sinus visualization obtained with sinoscopy greatly depends on the size of the endoscope use, the location of the trephination and the experience and anatomic knowledge of the operator which could have introduced a new bias to the study.

Small diameter flexible veterinary endoscopes with a control knob, flush port and instrument channel are currently available in the market, and their use could by pass the limitations present in the device used in this study. However, they are expensive and the smallest one available has a 3 mm external diameter which would not fit through our mini-sinusotomy portal. Otherwise, the human field counts with standard endoscopes for pediatrics or ureteroscopy that can reach up to 1.8 mm external diameter and could be used with the MIST. Unfortunately, these devices are both expensive and fragile, and procedure-cost is a major concern. In the past 5 years, several studies comparing the repair cost of small endoscopic equipment have been published in man (Ozimek et al., 2017, Tosoian et al., 2015). These reports concluded that maintenance and repair fees associated with ureteroscopes are between \$355-605 USD/case which would not be cost effective in veterinary medicine. The 2 mm endoscope used in this study performed well for at least 10 uses, but we anticipate that it has a limited life span. Thus, it can be considered as a limited-life reusable endoscope,

combining the advantage of being less expensive (\$595 USD) than a standard reusable endoscope and not requiring maintenance and/or repair fees.

In conclusion, we found that the MIST provided detailed examination of the different paranasal sinuses, is simple and has no detrimental effects. A combination of a FS and RMS approach should allow a thorough sinus evaluation and can be performed rapidly. The technique reported has the benefits of being minimally invasive and not requiring expensive equipment which could help to the popularization of the technique. We are currently conducting a prospective clinical study to determine the benefits and limitations of the MIST in clinical cases.

Disclosure

BioVision provided partial funding for this study through donated equipment. The authors declare no financial or other conflicts related to Biovision or this study.

II.6. Acknowledgements

This study was performed thanks to the financial support of the Equine Health Funds and the Centenary Funds of the College of Veterinary Medicine of the University of Montreal and a donation from Zoetis. We specially thank Dr. Lavoie for the use of horses from his research heard in phase 3.

II.7. References

- BARAKZAI, S. Z. & DIXON, P. M. 2014. Standing equine sinus surgery. *Vet Clin North Am Equine Pract*, 30, 45-62.
- BARAKZAI, S. Z., KANE-SMYTH, J., LOWLES, J. & TOWNSEND, N. 2008. Trephination of the equine rostral maxillary sinus: efficacy and safety of two trephine sites. *Vet Surg*, 37, 278-82.
- BONILLA, A. 2017. Use of a needle-arthroscope to perform standing arthroscopy of the fetlock in clinical cases: preliminary results. *ACVS Symposium*. Indianapolis, USA.
- BRINKSCHULTE, M., BIENERT-ZEIT, A., LUPKE, M., HELDIGE, M., STASZYK, C. & OHNESORGE, B. 2013. Using semi-automated segmentation of computed tomography datasets for three-dimensional visualization and volume measurements of equine paranasal sinuses. *Vet Radiol Ultrasound*, 54, 582-90.
- DIXON, P. M., PARKIN, T. D., COLLINS, N., HAWKES, C., TOWNSEND, N., TREMAINE, W. H., FISHER, G., EALEY, R. & BARAKZAI, S. Z. 2012. Equine paranasal sinus disease: a long-term study of 200 cases (1997-2009): ancillary diagnostic findings and involvement of the various sinus compartments. *Equine Vet J*, 44, 267-71.
- EASLEY, J. T. & FREEMAN, D. E. 2013. New Ways to Diagnose and Treat Equine Dental-Related Sinus Disease. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*, 29, 467-485.
- FRISBIE, D. D., BARRETT, M. F., MCILWRAITH, C. W. & ULLMER, J. 2014. Diagnostic stifle joint arthroscopy using a needle arthroscope in standing horses. *Vet Surg*, 43, 12-8.
- KAMINSKY, J., BIENERT-ZEIT, A., HELDIGE, M., ROHN, K. & OHNESORGE, B. 2016. Comparison of image quality and in vivo appearance of the normal equine nasal cavities and paranasal sinuses in computed tomography and high field (3.0 T) magnetic resonance imaging. *BMC Vet Res*, 12, 13.
- LIUTI, T., SMITH, S. & DIXON, P. M. 2017. Radiographic, computed tomographic, gross pathological and histological findings with suspected apical infection in 32 equine maxillary cheek teeth (2012-2015). *Equine Vet J*.
- OZIMEK, T., SCHNEIDER, M. H., HUPE, M. C., WIESSMEYER, J. R., CORDES, J., CHLOSTA, P. L., MERSEBURGER, A. S. & KRAMER, M. W. 2017. Retrospective Cost Analysis of a Single-Center Reusable Flexible Ureterorenoscopy Program: A Comparative Cost Simulation of Disposable fURS as an Alternative. *J Endourol*, 31, 1226-1230.
- PERKINS, J. D., BENNETT, C., WINDLEY, Z. & SCHUMACHER, J. 2009a. Comparison of sinoscopic techniques for examining the rostral maxillary and ventral conchal sinuses of horses. *Vet Surg*, 38, 607-12.
- PERKINS, J. D., WINDLEY, Z., DIXON, P. M., SMITH, M. & BARAKZAI, S. Z. 2009b. Sinoscopic treatment of rostral maxillary and ventral conchal sinusitis in 60 horses. *Vet Surg*, 38, 613-9.
- RUGGLES, A. J., ROSS, M. W. & FREEMAN, D. E. 1991. Endoscopic examination of normal paranasal sinuses in horses. *Vet Surg*, 20, 418-23.
- TOSOIAN, J. J., LUDWIG, W., SOPKO, N., MULLINS, J. K. & MATLAGA, B. R. 2015. The effect of repair costs on the profitability of a ureteroscopy program. *J Endourol*, 29, 406-9.
- TREMAINE, W. H. & DIXON, P. M. 2001. A long-term study of 277 cases of equine sinonasal disease. Part 1: details of horses, historical, clinical and ancillary diagnostic findings. *Equine Vet J*, 33, 274-82.

III. Discussion générale

Les résultats de notre étude ont permis de valider nos deux hypothèses initiales, puisque nous avons obtenu une évaluation complète des différents sinus paranasaux avec l'endoscope flexible de 2 mm de diamètre, sur des chevaux debout sous sédation et sans répercussions néfastes. Les conclusions principales sont que l'association de l'abord frontal et de l'abord maxillaire rostral est dans un premier temps suffisant pour une exploration complète des sinus paranasaux, et que la TSPI peut être utilisée comme technique complémentaire minimalement invasive pour diagnostiquer les affections sinusales.

La mise au point de repères spécifiques et précis pour les différents points d'entrée de la mini-sinusotomie s'est avérée essentielle pour obtenir une visualisation optimale des différentes cavités sinusales. L'endoscope flexible s'est révélé facile à manipuler et permet de réaliser une évaluation rapide (environ 30 min) des différents sinus, sans complications.

Cette discussion générale abordera des points qui n'ont pas été approfondis dans l'article présenté dans la deuxième partie de ce mémoire concernant les limites de la méthode les techniques de chirurgie minimalement invasives.

La méthode développée a été mise au point chez des chevaux adultes âgés de plus de cinq ans et de taille moyenne. Nous n'avons pas utilisé de chevaux plus jeunes pour deux raisons : premièrement, l'objectif de l'étude étant de déterminer le degré de visibilité obtenu avec le mini-endoscope, la présence des racines dentaires dans les sinus maxillaires des jeunes chevaux aurait limité notre évaluation pour des raisons liées au patient et non à l'endoscope lui-même. Deuxièmement, la sinusoscopie des sinus maxillaires chez les jeunes chevaux n'est pas recommandée dans la littérature, à cause du risque de dommage aux racines dentaires. Bien que les affections sinusales soient plus rares chez les jeunes chevaux, il aurait effectivement pu être intéressant de former un groupe de chevaux âgés de moins de cinq ans pour la 2^e phase, afin de déterminer si l'utilisation d'un abord minimalement invasif serait plus sécuritaire. Cependant, le risque d'endommager les racines dentaires est également présent avec l'utilisation d'une aiguille 14G et il est à prévoir que la manipulation de l'endoscope sera limitée par le manque d'espace et que donc la visualisation des structures sera réduite.

Les repères pour aborder les différents sinus ont été déterminés chez des chevaux d'environ 500 kg, mais ils devraient pouvoir être adaptés à des chevaux de taille différente en modifiant les valeurs proportionnellement au poids du cheval. Une limite est cependant à prévoir chez les poneys et surtout les chevaux miniatures, qui ont souvent des défauts de conformation et chez lesquels il pourrait être plus difficile d'ajuster les valeurs.

Les techniques de chirurgie minimalement invasives se sont considérablement développées au cours des dernières décennies en médecine humaine. Les avantages principaux sont une diminution du temps d'hospitalisation, un meilleur aspect cosmétique et une diminution du trauma chirurgical, en particulier chez les patients à risques, permettant une récupération plus rapide.

Plusieurs inconvénients liés à l'utilisation de ces techniques en médecine humaine ont été mis en évidence (Fuchs, 2002), les plus importants étant d'une part un temps d'apprentissage plus long pour les chirurgiens et d'autre part une augmentation des coûts lié à l'investissement nécessaire dans un équipement spécialisé, à l'utilisation de matériel non réutilisable et à l'augmentation du temps de chirurgie. L'ensemble de l'équipement utilisé pour cette étude représente un investissement d'environ \$15,600 USD (\$15,000 USD pour la console et \$600 USD pour l'endoscope flexible), la console peut être également utilisée pour le système d'arthroscopie minimalement invasive.

L'augmentation du temps d'apprentissage peut s'expliquer en plusieurs points.

Tout d'abord, il est nécessaire de s'habituer à un champ de visualisation limité. Ensuite, l'utilisation d'un endoscope/arthroscope entraîne une perte de perception de la profondeur et de la trois-dimensionnalité, à l'origine d'une altération de la coordination main-œil, d'une perte de sensation tactile et de mouvements inappropriés. Les instruments utilisés en chirurgie minimalement invasive sont plus longs et plus difficiles à manipuler que les instruments standards. Un entraînement spécifique est donc nécessaire afin de maîtriser ces techniques. Différents systèmes (utilisant des images virtuelles ou en réalité augmentée) ont été mis au point pour permettre l'entraînement des chirurgiens, en médecine humaine et vétérinaire (Chen et al., 2017, Tonutti et al., 2017).

L'utilisation d'endoscope/arthroscope avec une bonne luminosité et offrant des images en haute résolution est très importante. Deux types de sources lumineuses sont couramment employées, les lampes au Xénon ou les lampes à diode électroluminescentes (LED). Les lampes au Xénon procurent une luminosité optimale mais ont l'inconvénient d'être onéreuses et d'avoir une durée de vie relativement courte (300-500 heures). Les LED ont une durée de vie plus longue (30 000 heures), permettant des économies non négligeables (Auer et Stick, 2012). L'endoscope utilisé dans notre étude est composé de fibres optiques, éclairées par une LED. Le premier endoscope utilisé dans le cadre du projet, d'un diamètre de 0.9mm, ne permettait pas d'obtenir une luminosité suffisante. La quantité de fibres optiques a été augmentée afin d'obtenir une luminosité adéquate, pour un diamètre final de l'endoscope flexible de 2mm. Cette augmentation du diamètre n'a pas eu d'impact négatif sur la maniabilité de l'endoscope, et permet toujours d'utiliser une aiguille 14G pour la trépanation (diamètre externe de 2.1mm).

Dans le cadre de ce projet, la technique de sinusoscopie minimalement invasive a été principalement mise au point dans un but diagnostique et ne nécessite pas de manipuler d'autres instruments chirurgicaux. La phase d'apprentissage se limite à l'adaptation à un écran plus petit et au champ de visualisation diminué comparé aux techniques de sinusoscopie traditionnelles. Une fois passé ce cap, la manipulation de l'endoscope peut être rapidement maîtrisée, ce qui rend cette technique utilisable par tous les praticiens après quelques séances d'entraînement ; la condition limitante étant une parfaite connaissance de l'anatomie pour pouvoir se déplacer dans les sinus et interpréter les images.

La complexité de ces techniques est à l'origine de l'augmentation de la durée des procédures. La technique de fenestration des cornet nasaux au laser par approche controlatérale mise au point par Kolos (Kolos et al., 2017) en est l'exemple, la durée de la procédure est plus longue que les procédures d'abord direct par trépanation.

En médecine humaine, l'imagerie de pointe (résonance magnétique et tomodensitométrie) est utilisée pour planifier et assister les procédures minimalement invasives, afin d'augmenter la précision, la rapidité et la sécurité de l'intervention. Le développement de robots spécialisés a également permis de supprimer certains inconvénients (difficultés de manipulation) puisque lors d'une chirurgie assistée par robot, les instruments ne sont pas tenus par le chirurgien mais

par le robot (Tonutti et al., 2017). Ces robots sont extrêmement dispendieux et les avantages cliniques de leur utilisation ne sont pas prouvés. De plus, la possibilité d'un dysfonctionnement électronique est un inconvénient majeur de ce type de technologies.

Dans certains cas en revanche, les techniques minimalement invasives permettent un meilleur accès à certaines régions anatomiques.

En médecine humaine, certaines opérations (appendicectomies, cholecystectomies, prostatectomies...) sont maintenant réalisées à plus de 90% par des techniques minimalement invasives (Tonutti et al., 2017). Cela permet une diminution du taux de complications, de la douleur post-opératoire et du temps d'hospitalisation, un aspect cosmétique amélioré et un impact psychologique moindre pour le patient. Si ce dernier aspect est à priori moins important en médecine vétérinaire, les autres points sont transposables. La diminution de la taille des incisions permet souvent un retour plus rapide des chevaux à l'exercice. L'aspect cosmétique a également son importance pour les chevaux de compétition. L'aspect cosmétique obtenu avec la technique mise au point dans notre étude est excellent. L'inconfort causé par notre technique semblait faible, les chevaux de l'étude n'ont pas exprimé de signes de douleur particuliers dans heures/jours ayant suivis la procédure.

Un avantage majeur de la plupart des techniques minimalement invasives en chirurgie équine, est la possibilité de réaliser des procédures chirurgicales debout et donc de supprimer les risques liés à l'anesthésie générale chez le cheval. En effet, le risque anesthésique est bien plus élevé chez le cheval que chez l'homme ou le chien. Le taux de mortalité associé à l'anesthésie est d'environ 1% (0.08-1.8% selon les études) pour les chirurgies électives réalisées sur des chevaux sains, contre 0.01 à 0.001% chez l'humain (Dugdale et Taylor, 2016, Davis et al., 2002, Jones, 2001). La période la plus critique est le réveil, avec des risques de fracture, de myopathie, neuropathie et d'obstruction respiratoire.

La réalisation de procédures debout sous sédation chez le cheval permet également de diminuer les coûts. L'utilisation de matériel chirurgical dispendieux est compensée par l'absence de coûts liés à l'anesthésie générale. La récupération post-opératoire est également plus rapide, ce qui permet de diminuer la durée d'hospitalisation. Plusieurs techniques ont été développées dans ce sens, comme la laparoscopie debout sous sédation (ovariectomie,

cryptorchidectomie, fermeture de l'espace néphrosplénique) et plus récemment des techniques d'arthroscopie debout (articulation métacarpo/métatarso-phalangienne).

Ainsi, le développement de techniques minimalement invasive semble pouvoir avoir un impact bénéfique sur la santé des chevaux. La limitation des coûts est cependant crucial en médecine vétérinaire, le défi à relever est donc de réussir à développer des méthodes peu dispendieuses, accessibles et efficaces.

IV. Conclusions et perspectives

La technique de sinusoscopie mise au point peut offrir la possibilité d'effectuer une évaluation diagnostique des sinus paranasaux avec une technique chirurgicale plus simple et moins invasive que la sinusoscopie traditionnelle, en utilisant des équipements abordables et réutilisables spécialisés.

La TSPI pourrait également être utilisée dans le futur comme outil de traitement. Une fois l'atteinte d'un sinus spécifique diagnostiquée par TSPI, le sinus peut être lavé à travers le trou de la mini-sinusotomie. La TSPI pourrait également être utilisée comme guide pour réaliser des extractions de masse ou des répulsion dentaire de manière minimalement invasive : l'endoscope pourrait permettre de choisir l'endroit approprié pour effectuer un trou de trépan de 1 cm au-dessus de la dent malade. Ensuite, un petit poinçon sera introduit à travers le trou de trépan sur la dent à repulser tout en étant guidé par l'endoscope flexible.

La technique développée est facile à réaliser et offre une nouvelle alternative diagnostique qui peut faciliter le diagnostic et aider au traitement des affections sinusales par les vétérinaires spécialistes et de terrain après sa validation dans des cas cliniques.

Bibliographie

- AHERN, B. J. & PARENTE, E. J. 2008. Surgical complications of the equine upper respiratory tract. *Vet Clin North Am Equine Pract*, 24, 465-484, vii.
- AUER, J. A. & STICK, J. A. 2012. *Equine surgery*, St. Louis, Mo., Elsevier/Saunders.
- BACH, F. S., BODO, G., KUEMMERLE, J. M., BIENERT-ZEIT, A., HAINISCH, E. K. & SIMHOFER, H. 2014. Bacterial meningitis after sinus surgery in five adult horses. *Vet Surg*, 43, 697-703.
- BARAKZAI, S. 2007. *Handbook of Equine Respiratory Endoscopy*, Elsevier.
- BARAKZAI, S., TREMAINE, H. & DIXON, P. 2006. Use of scintigraphy for diagnosis of equine paranasal sinus disorders. *Vet Surg*, 35, 94-101.
- BARAKZAI, S. Z. & BARNETT, T. P. 2015. Computed tomography and scintigraphy for evaluation of dental disease in the horse. *Equine Vet Educ*, 27, 323-331.
- BARAKZAI, S. Z. & DIXON, P. M. 2014. Standing equine sinus surgery. *Vet Clin North Am Equine Pract*, 30, 45-62.
- BARAKZAI, S. Z., KANE-SMYTH, J., LOWLES, J. & TOWNSEND, N. 2008. Trephination of the equine rostral maxillary sinus: efficacy and safety of two trephine sites. *Vet Surg*, 37, 278-282.
- BEARD, W. L. & HARDY, J. 2001. Diagnosis of conditions of the paranasal sinuses in the horse. *Equine Vet Educ*, 13, 265-273.
- BELL, C., TATARNIUK, D. & CARMALT, J. 2009. Endoscope-guided balloon sinuplasty of the equine nasomaxillary opening. *Vet Surg*, 38, 791-797.
- BONILLA, A. 2017. Use of a needle-arthroscope to perform standing arthroscopy of the fetlock in clinical cases: preliminary results. *ACVS Symposium*. Indianapolis, USA.
- BRINKSCHULTE, M., BIENERT-ZEIT, A., LUPKE, M., HELDIGE, M., OHNESORGE, B. & STASZYK, C. 2014. The sinonasal communication in the horse: examinations using computerized three-dimensional reformatted renderings of computed-tomography datasets. *BMC Vet Res*, 10, 72.
- BRINKSCHULTE, M., BIENERT-ZEIT, A., LUPKE, M., HELDIGE, M., STASZYK, C. & OHNESORGE, B. 2013. Using semi-automated segmentation of computed tomography datasets for three-dimensional visualization and volume measurements of equine paranasal sinuses. *Vet Radiol Ultrasound*, 54, 582-590.
- BUDRAS, K.-D., SACK, W. O., RÖCK, S., HOROWITZ, A., BERG, R. & WÜNCHEN, A. 2011. *Anatomy of the horse*, Hannover, Schlütersche.
- CARUSO, M., 3RD, SCHUMACHER, J. & HENRY, R. 2016. Perineural Injection of the Ethmoidal Nerve of Horses. *Vet Surg*, 45, 494-498.
- CHARMAN, R. E. & VASEY, J. R. 2007. Repair of sinocutaneous fistulae in two horses. *Aust Vet J*, 85, 341-344.
- CHEN, C. Y., RAGLE, C. A., LENCIONI, R. & FRANSSON, B. A. 2017. Comparison of 2 training programs for basic laparoscopic skills and simulated surgery performance in veterinary students. *Vet Surg*, 46, 1187-1197.
- CISSELL, D. D., WISNER, E. R., TEXTOR, J., MOHR, F. C., SCRIVANI, P. V. & THEON, A. P. 2012. Computed tomographic appearance of equine sinonasal neoplasia. *Vet Radiol Ultrasound*, 53, 245-251.
- COOMER, R. P., FOWKE, G. S. & MCKANE, S. 2011. Repulsion of maxillary and mandibular cheek teeth in standing horses. *Vet Surg*, 40, 590-595.

- CURTIS, A. A., LAI, G., WEI, F. & VAN VALKENBURGH, B. 2015. Repeated loss of frontal sinuses in arctoid carnivorans. *J Morphol*, 276, 22-32.
- DAKIN, S. G., LAM, R., REES, E., MUMBY, C., WEST, C. & WELLER, R. 2014. Technical set-up and radiation exposure for standing computed tomography of the equine head. *Equine Vet Educ*, 26, 208-215.
- DAVIS, J. L., GILGER, B. C., SPAULDING, K., ROBERTSON, I. D. & JONES, S. L. 2002. Nasal adenocarcinoma with diffuse metastases involving the orbit, cerebrum, and multiple cranial nerves in a horse. *J Am Vet Med Assoc*, 221, 1460-3, 1420.
- DE ZANI, D., BORGONOVO, S., BIGGI, M., VIGNATI, S., SCANDELLA, M., LAZZARETTI, S., MODINA, S. & ZANI, D. 2010. Topographic comparative study of paranasal sinuses in adult horses by computed tomography, sinuscopy, and sectional anatomy. *Vet Res Commun*, 34 Suppl 1, S13-6.
- DIXON, P. M. 2014. A review of swellings of the frontal region of the equine head. *Equine Vet Educ*, 26, 365-371.
- DIXON, P. M., FROYDENLUND, T., LUITI, T., KANE-SMYTH, J., HORBAL, A. & REARDON, R. J. 2015. Empyema of the nasal conchal bulla as a cause of chronic unilateral nasal discharge in the horse: 10 cases (2013-2014). *Equine Vet J*, 47, 445-449.
- DIXON, P. M. & HEAD, K. W. 1999. Equine nasal and paranasal sinus tumours: part 2: a contribution of 28 case reports. *Vet J*, 157, 279-294.
- DIXON, P. M., PARKIN, T. D., COLLINS, N., HAWKES, C., TOWNSEND, N., TREMAINE, W. H., FISHER, G., EALEY, R. & BARAKZAI, S. Z. 2012a. Equine paranasal sinus disease: a long-term study of 200 cases (1997-2009): ancillary diagnostic findings and involvement of the various sinus compartments. *Equine Vet J*, 44, 267-271.
- DIXON, P. M., PARKIN, T. D., COLLINS, N., HAWKES, C., TOWNSEND, N., TREMAINE, W. H., FISHER, G., EALEY, R. & BARAKZAI, S. Z. 2012b. Equine paranasal sinus disease: a long-term study of 200 cases (1997-2009): treatments and long-term results of treatments. *Equine Vet J*, 44, 272-276.
- DIXON, P. M., PARKIN, T. D., COLLINS, N., HAWKES, C., TOWNSEND, N. B., FISHER, G., EALEY, R. & BARAKZAI, S. Z. 2011. Historical and clinical features of 200 cases of equine sinus disease. *Vet Rec*, 169, 439.
- DIXON, P. M., TREMAINE, W. H., PICKLES, K., KUHNS, L., HAWKES, C., MCCANN, J., MCGORUM, B. C., RAILTON, D. I. & BRAMMER, S. 2000. Equine dental disease part 4: a long-term study of 400 cases: apical infections of cheek teeth. *Equine Vet J*, 32, 182-194.
- DUGDALE, A. H. & TAYLOR, P. M. 2016. Equine anaesthesia-associated mortality: where are we now? *Vet Anaesth Analg*, 43, 242-255.
- EASLEY, J. T. & FREEMAN, D. E. 2013a. A single caudally based frontonasal bone flap for treatment of bilateral mucocele in the paranasal sinuses of an American miniature horse. *Vet Surg*, 42, 427-432.
- EASLEY, J. T. & FREEMAN, D. E. 2013b. New Ways to Diagnose and Treat Equine Dental-Related Sinus Disease. *Vet Clin North Am: Equine Pract*, 29, 467-485.
- FINNEGAN, C. M., TOWNSEND, N. B., BARNETT, T. P. & BARAKZAI, S. Z. 2011. Radiographic identification of the equine ventral conchal bulla. *Vet Rec*, 169, 683.
- FISKE-JACKSON, A. R., POLLOCK, P. J., WITTE, T. H., WOOLFORD, L. & PERKINS, J. D. 2012. Fungal sinusitis resulting in suspected trigeminal neuropathy as a cause of headshaking in five horses. *Equine Vet Educ*, 24, 126-133.
- FREES, K. E., GAUGHAN, E. M., LILLICH, J. D., COX, J., GORONDY, D., NIETFELD, J. C., KENNEDY, G. A. & CASH, W. 2001. Severe complication after administration of formalin for

- treatment of progressive ethmoidal hematoma in a horse. *J Am Vet Med Assoc*, 219, 950-2, 939.
- FRISBIE, D. D., BARRETT, M. F., MCILWRAITH, C. W. & ULLMER, J. 2014. Diagnostic stifle joint arthroscopy using a needle arthroscope in standing horses. *Vet Surg*, 43, 12-8.
- FROYDENLUND, T. J., DIXON, P. M., SMITH, S. H. & REARDON, R. J. 2015. Anatomical and histological study of the dorsal and ventral nasal conchal bullae in normal horses. *Vet Rec*, 177, 542.
- FUCHS, K. H. 2002. Minimally invasive surgery. *Endoscopy*, 34, 154-159.
- GERGELEIT, H., BIENERT-ZEIT, A. & OHNESORGE, B. 2018. Cytologic and Microbiological Examination of Secretions From the Paranasal Sinuses in Horses and Other Species. *J Equine Vet Sci*, 61, 22-31.
- GIAVITTO, A. E. & BARAKZAI, S. Z. 2017. Radiographic identification of the equine dorsal and ventral nasal conchal bullae. *Equine Vet Educ*, 31, 264-270.
- GILSENAN, W. F., GETMAN, L. M., PARENTE, E. J. & JOHNSON, A. L. 2014. Headshaking in 5 horses after paranasal sinus surgery. *Vet Surg*, 43, 678-684.
- HAWKES, C. S., EASLEY, J., BARAKZAI, S. Z. & DIXON, P. M. 2008. Treatment of oromaxillary fistulae in nine standing horses (2002-2006). *Equine Vet J*, 40, 546-551.
- HAWKINS, J. F. 2014. *Advances in Equine Upper Respiratory Surgery*, John Wiley & Sons.
- HEAD, K. W. & DIXON, P. M. 1999. Equine nasal and paranasal sinus tumours. Part 1: review of the literature and tumour classification. *The Veterinary Journal*, 157, 261-278.
- HENNINGER, W., FRAME, E. M., WILLMANN, M., SIMHOFER, H., MALLECZEK, D., KNEISSL, S. M. & MAYRHOFER, E. 2003. CT features of alveolitis and sinusitis in horses. *Vet Radiol Ultrasound*, 44, 269-276.
- JONES, R. S. 2001. Comparative mortality in anaesthesia. *Br J Anaesth*, 87, 813-815.
- KAMINSKY, J., BIENERT-ZEIT, A., HELLIGE, M., ROHN, K. & OHNESORGE, B. 2016. Comparison of image quality and in vivo appearance of the normal equine nasal cavities and paranasal sinuses in computed tomography and high field (3.0 T) magnetic resonance imaging. *BMC Vet Res*, 12, 13.
- KEIR, J. 2009. Why do we have paranasal sinuses? *J Laryngol Otol*, 123, 4-8.
- KNOWLES, E. J., TREMAINE, W. H., PEARSON, G. R. & MAIR, T. S. 2016. A database survey of equine tumours in the United Kingdom. *Equine Vet J*, 48, 280-284.
- KOLOS, F., BODECEK, S. & ZERT, Z. 2017. Trans-endoscopic diode laser fenestration of equine conchae via contralateral nostril approach. *Vet Surg*, 46, 915-924.
- LIUTI, T., REARDON, R., SMITH, S. & DIXON, P. M. 2016. An anatomical study of the dorsal and ventral nasal conchal bullae in normal horses: Computed tomographic anatomical and morphometric findings. *Equine Vet J*, 48, 749-755.
- LIUTI, T., SMITH, S. & DIXON, P. M. 2017. Radiographic, computed tomographic, gross pathological and histological findings with suspected apical infection in 32 equine maxillary cheek teeth (2012-2015). *Equine Vet J*, 50, 41-47.
- MAISCHBERGER, E., JACKSON, M. A., KÜHN, K., GREY, P., DE BROU, S. & WEHRLI ESER, M. 2014. Ethmoid adenocarcinoma: Severe neurological complications after combined laser ablation and intralesional formalin injection. *Equine Vet Educ*, 26, 563-567.
- MANSO-DIAZ, G., DYSON, S. J., DENNIS, R., GARCIA-LOPEZ, J. M., BIGGI, M., GARCIA-REAL, M. I., SAN ROMAN, F. & TAEYMANS, O. 2015. Magnetic resonance imaging characteristics of equine head disorders: 84 cases (2000-2013). *Vet Radiol Ultrasound*, 56, 176-187.
- MANSO-DIAZ, G. & TAEYMANS, O. 2012. Imaging diagnosis--nasofrontal suture exostosis in a horse. *Vet Radiol Ultrasound*, 53, 573-575.

- MARQUEZ, S. 2008. The paranasal sinuses: the last frontier in craniofacial biology. *Anat Rec (Hoboken)*, 291, 1350-1361.
- MCCANN, J. L., DIXON, P. M. & MAYHEW, I. G. 2004. Clinical anatomy of the equine sphenopalatine sinus. *Equine Vet J*, 36, 466-472.
- MCGORUM, B. C., P.M.DIXON, N.E.ROBINSON & J.SCHUMACHER 2007. *Equine respiratory medicine and surgery*, Saunders Ltd.
- MORELLO, S. L. & PARENTE, E. J. 2010. Laser vaporization of the dorsal turbinate as an alternative method of accessing and evaluating the paranasal sinuses. *Vet Surg*, 39, 891-899.
- O'LEARY, J. M. & P.M.DIXON 2011. A review of equine paranasal sinusitis. Aetiopathogenesis, clinical signs and ancillary diagnostic techniques. *Equine Vet Educ*, 23, 148-159.
- O'NEILL, H. D., BOUSSAUW, B., BLADON, B. M. & FRASER, B. S. 2011. Extraction of cheek teeth using a lateral buccotomy approach in 114 horses (1999-2009). *Equine Vet J*, 43, 348-353.
- OZIMEK, T., SCHNEIDER, M. H., HUPE, M. C., WIESSMEYER, J. R., CORDES, J., CHLOSTA, P. L., MERSEBURGER, A. S. & KRAMER, M. W. 2017. Retrospective Cost Analysis of a Single-Center Reusable Flexible Ureterorenoscopy Program: A Comparative Cost Simulation of Disposable fURS as an Alternative. *J Endourol*, 31, 1226-1230.
- PERKINS, J. D., BENNETT, C., WINDLEY, Z. & SCHUMACHER, J. 2009a. Comparison of sinoscopic techniques for examining the rostral maxillary and ventral conchal sinuses of horses. *Vet Surg*, 38, 607-612.
- PERKINS, J. D., WINDLEY, Z., DIXON, P. M., SMITH, M. & BARAKZAI, S. Z. 2009b. Sinoscopic treatment of rostral maxillary and ventral conchal sinusitis in 60 horses. *Vet Surg*, 38, 613-619.
- PLATT, H. 1975. Haemorrhagic nasal polyps of the horse. *J Pathol*, 115, 51-55.
- PORTER, E. G. & WERPYP, N. M. 2014. New concepts in standing advanced diagnostic equine imaging. *Vet Clin North Am Equine Pract*, 30, 239-268.
- QUINN, G. C., KIDD, J. A. & LANE, J. G. 2005. Modified frontonasal sinus flap surgery in standing horses: surgical findings and outcomes of 60 cases. *Equine Vet J*, 37, 138-142.
- RAGLE, C. A., DE MIRA, M. C., PEARSON, L. K. & COELHO, J. C. 2009. Pneumocephalus secondary to removal of an osteoma from the paranasal sinuses of a horse. *J Am Vet Med Assoc*, 235, 184-188.
- RUGGLES, A. J., ROSS, M. W. & FREEMAN, D. E. 1991. Endoscopic examination of normal paranasal sinuses in horses. *Vet Surg*, 20, 418-423.
- RUSH, B. & MAIR, T. 2004. *Equine Respiratory Diseases*, Blackwell Science Ltd.
- SENIOR, J. M. 2013. Morbidity, mortality, and risk of general anesthesia in horses. *Vet Clin North Am Equine Pract*, 29, 1-18.
- SOLANO, M. & BRAWER, R. S. 2004. CT of the Equine Head: Technical Considerations, Anatomical Guide, and Selected Diseases. *Clinical Techniques in Equine Practice*, 3, 374-388.
- TATARNIUK, D. M., BELL, C. & CARMALT, J. L. 2010. A description of the relationship between the nasomaxillary aperture and the paranasal sinus system of horses. *Vet J*, 186, 216-220.
- TESSIER, C., BRUHSCHWEIN, A., LANG, J., KONAR, M., WILKE, M., BREHM, W. & KIRCHER, P. 2013. Magnetic resonance imaging features of sinonasal disorders in horses. *Vet Radiol Ultrasound*, 54, 54-60.

- TEXTOR, J. A., PUCHALSKI, S. M., AFFOLTER, V. K., MACDONALD, M. H., GALUPPO, L. D. & WISNER, E. R. 2012. Results of computed tomography in horses with ethmoid hematoma: 16 cases (1993-2005). *J Am Vet Med Assoc*, 240, 1338-1344.
- TONUTTI, M., ELSON, D. S., YANG, G. Z., DARZI, A. W. & SODERGREN, M. H. 2017. The role of technology in minimally invasive surgery: state of the art, recent developments and future directions. *Postgrad Med J*, 93, 159-167.
- TOSOIAN, J. J., LUDWIG, W., SOPKO, N., MULLINS, J. K. & MATLAGA, B. R. 2015. The effect of repair costs on the profitability of a ureteroscopy program. *J Endourol*, 29, 406-409.
- TOWNSEND, N. B., HAWKES, C. S., REX, R., BODEN, L. A. & BARAKZAI, S. Z. 2011. Investigation of the sensitivity and specificity of radiological signs for diagnosis of periapical infection of equine cheek teeth. *Equine Vet J*, 43, 170-178.
- TREMAINE, W. H. Complications Associated with Dental and Paranasal Sinus Surgery. AAEP, 2006 Indianapolis.
- TREMAINE, W. H. 2007. Local analgesic techniques for the equine head. *Equine Vet Educ*, 19, 495-503.
- TREMAINE, W. H. & DIXON, P. M. 2001a. A long-term study of 277 cases of equine sinonasal disease. Part 1: details of horses, historical, clinical and ancillary diagnostic findings. *Equine Vet J*, 33, 274-282.
- TREMAINE, W. H. & DIXON, P. M. 2001b. A long-term study of 277 cases of equine sinonasal disease. Part 2: treatments and results of treatments. *Equine Vet J*, 33, 283-289.
- TUCKER, R., WINDLEY, Z. E., ABERNETHY, A. D., WITTE, T. H., FISKE-JACKSON, A. R., TURNER, S., SMITH, L. J. & PERKINS, J. D. 2016. Radiographic, computed tomographic and surgical anatomy of the equine sphenopalatine sinus in normal and diseased horses. *Equine Vet J*, 48, 578-584.
- TUCKER, R. L. & FARRELL, E. 2001. Computed tomography and magnetic resonance imaging of the equine head. *Vet Clin North Am Equine Pract*, 17, 131-144, vii.
- WAGENMANN, M. & NACLERIO, R. M. 1992. Anatomic and physiologic considerations in sinusitis. *J Allergy Clin Immunol*, 90, 419-423.
- WAGUESPACK, R. 1995. Mucociliary clearance patterns following endoscopic sinus surgery. *Laryngoscope*, 105, 1-40.
- WELLER, R., LIVESEY, L., MAIERL, J., NUSS, K., BOWEN, I. M., CAUVIN, E. R., WEAVER, M., SCHUMACHER, J. & MAY, S. A. 2001. Comparison of radiography and scintigraphy in the diagnosis of dental disorders in the horse. *Equine Vet J*, 33, 49-58.
- WOODFORD, N. S. & LANE, J. G. 2006. Long-term retrospective study of 52 horses with sinusal cysts. *Equine Vet J*, 38, 198-202.