

TRAITEMENT CHIRURGICAL PHYSIOLOGIQUE DE L'HÉMIPLÉGIE LARYNGÉE CHEZ LE CHEVAL

PHYSIOLOGICAL SURGICAL TREATMENT OF LARYNGEAL HEMIPLEGIA IN HORSES

Par Fabrice ROSSIGNOL⁽¹⁾
(Communication présentée le 17 Mai 2018,
Manuscrit accepté le 03 Octobre 2019)

RÉSUMÉ

Au cours des dernières années le traitement chirurgical de l'hémiplégie laryngée a considérablement évolué. Bien que la laryngoplastie reste le traitement de référence, la technique de greffe de nerf cervical représente le seul moyen de rétablir physiologiquement la fonction laryngée avec un risque de complications inférieur. Des critères objectifs de sélection puis de suivi des candidats permettent d'offrir un bon pronostic aux chevaux de sport ou de course, bien que plus de recul soit nécessaire sur ces derniers. L'endoscopie au repos et à l'exercice, l'échographie laryngée, et le test d'électro-stimulation du nerf greffé apportent des informations essentielles sur le grade du cornage, sur le degré d'amyotrophie du muscle cricoaryténoïdien dorsal (CAD) ainsi que le suivi de sa réinnervation et de sa récupération fonctionnelle. Cette technique chirurgicale a déjà montré son efficacité dans des grades précoces d'hémiplégie laryngée et lorsque le temps de réhabilitation est compatible avec le programme sportif des chevaux. Ce traitement physiologique de l'hémiplégie laryngée pourrait être élargi dans l'avenir à des grades plus avancés en l'associant avec un neurostimulateur relié à une électrode fixée sur le nerf greffé dans le but d'améliorer la réhabilitation du muscle CAD et la fonction laryngée à l'exercice.

Mots-clés : hémiplégie laryngée, traitement, physiologie, greffe, nerf cervical, cheval.

ABSTRACT

Presently, C1-C2 cervical nerve graft represents the only mean of restoring the physiological laryngeal function, with a low risk of complications, in horses with laryngeal hemiplegia. Selection criteria and follow-up of the candidates make possible for operated horses a return to their initial activity. The endoscopy at rest and at exercise, laryngeal echography and electrostimulation of the grafted nerve give essential information on the severity of the laryngeal hemiplegia, the degree of amyotrophy of the dorsal crico-arytenoideus muscle (CAD), its reinnervation and its functional recovery. This surgical technique already showed its effectiveness in early stages of laryngeal hemiplegia and when the time of rehabilitation is suitable with the activity of the horses. This physiological treatment of laryngeal hemiplegia could be extended to more severely affected horses, in combination with an electrostimulator using an electrode implanted into the grafted C1 nerve. This may improve the rehabilitation of the CAD muscle as well as laryngeal function at exercise.

Keywords: Laryngeal hemiplegia, treatment, physiology, cervical nerve, horse.

INTRODUCTION

L'hémiplégie laryngée (HL) est une neuropathie du nerf laryngé récurrent (NLR) qui entraîne une atrophie et une paralysie progressives du muscle cricoaryténoïdien dorsal (CAD) ipsilatéral.

Ceci conduit à un dysfonctionnement ainsi qu'à un défaut d'abduction du cartilage aryténoïde associé (généralement le gauche) (Duncan *et al.* 1974, Baker 1983, Robinson 2004). Cette

(1) Clinique équine de Grosbois, Domaine de Grosbois, 94470 Boissy Saint Léger,
Courriel : fabricerossignol94@orange.fr

neuropathie atteint les chevaux de tout âge (de quelques mois à plus de 10 ans). Son incidence est particulièrement documentée chez les galopeurs (2,5 % à 8 %) et les races lourdes (17 à 42 %) qui semblent présenter des prédispositions (Goulden *et al.* 1981, Beard *et al.* 1993). Dans notre expérience, cette affection est également fréquente chez les chevaux de sport de grande taille. Les traitements chirurgicaux actuels de la NLR incluent la laryngoplastie (technique de référence) - en général associée à une ventriculo-cordectomie par laryngotomie ou par laser transendoscopique, occasionnellement la ventriculo-cordectomie seule - l'aryténoïdectomie et la réinnervation du CAD. Le principe de toutes ces chirurgies vise à restaurer une ouverture suffisante de la glotte durant l'inspiration. Le choix de la technique d'intervention repose sur différents critères : âge du cheval, race, discipline, niveau d'activité souhaité, signes cliniques, vitesse d'apparition et sévérité du dysfonctionnement laryngé (grades à l'endoscopie au repos et à l'endoscopie à l'exercice (Baker 1983, Kraus *et al.* 2003, Robinson 2004, Rossignol *et al.* 2018) (**Figure 1**). À l'heure actuelle, la laryngoplastie couplée à une ventricu-

lo-cordectomie uni ou bilatérale est largement utilisée. Cette technique a l'avantage de supprimer immédiatement le bruit à l'exercice, de fixer l'aryténoïde en abduction intermédiaire à submaximale (idéalement un grade 3 de Dixon -aryténoïde légèrement au dessus de la position repos- pour les chevaux de sport et un grade 2 -80 à 90% de l'abduction maximale- pour les chevaux de course) et offre un temps de convalescence réduit (Marks *et al.* 1970, Strand *et al.* 2000, Dixon *et al.* 2003a). Depuis plusieurs années la technique a été affinée, permettant ainsi de réaliser l'intervention sur cheval debout et d'obtenir un degré d'abduction du cartilage plus fin et précis (Rossignol *et al.* 2015). La laryngoplastie présente cependant aussi un certain lot de complications à court, moyen et long terme dont la prévalence varie de 13 à 38 % selon les études : dysphagie (**Figure 2**), jetage alimentaire, sérome, infection/déhiscescence de plaie, relâchement/rupture de prothèse (2 à 15 %), toux chronique (14 %), pneumonie par aspiration, bronchopneumonie, chondrite, etc. (Stand *et al.* 2000, Dixon *et al.* 2003a et b, Froydenlund 2014). La prise en compte de ces complications, amène à envisager la

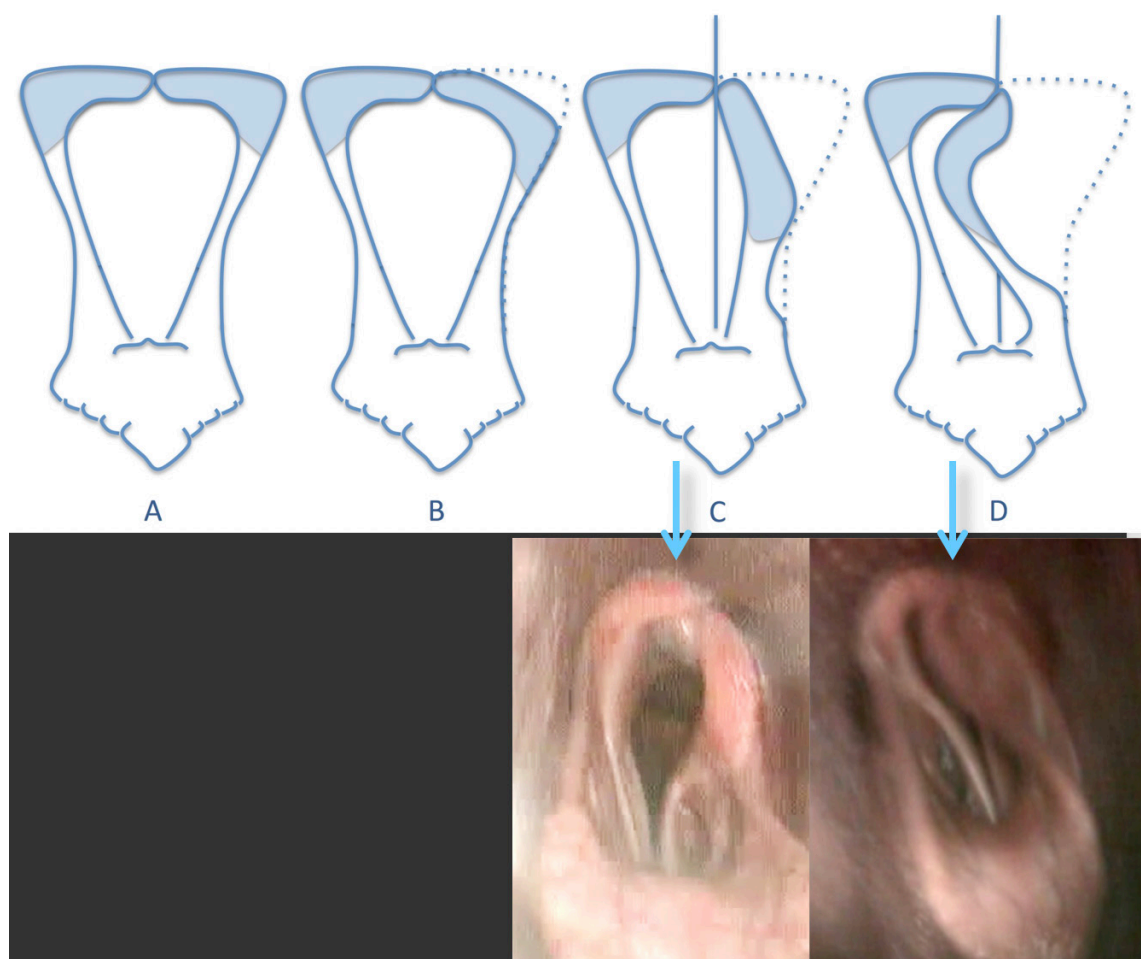


Figure 1 : Les quatre grades d'hémiplégie laryngée à l'endoscopie dynamique (D'après Rossignol *et al.* 2018)

Grade A : abduction totale des aryténoïdes.

Grade B : abduction partielle de l'aryténoïde (entre l'abduction totale et la position au repos).

Grade C : abduction inférieure à l'état normal au repos, sans collapsus.

Grade D : collapsus de l'aryténoïde gauche vers le côté opposé de la rima glottidis.



Figure 2 : Exemples de complications après une laryngoplastie : dysphagie d'origine laryngée. Jetage alimentaire (2a) ; vue externe (2b)

mise au point d'une technique correctrice plus respectueuse de la physiologie laryngée. Différents travaux ont été menés dans l'espèce équine avec mise au point d'une technique de réinnervation du larynx *via* l'implantation de pédicules neuro-musculaires (PNM) du premier nerf cervical dans le muscle CAD (Ducharme *et al.* 1989a, Fulton *et al.* 1991) sur le modèle de la technique de Tucker (1982,1990) développée chez l'homme. Une technique simplifiée de neurotisation (implantation de rameaux nerveux directement dans le muscle sans pédicule musculaire) a été décrite (Ducharme *et al.* 1989b ; Rossignol *et al.* 2018). Cette technique, au moyen d'une implantation simplifiée et peu invasive, permet son application sur cheval debout. Enfin, une technique d'anastomose d'un rameau nerveux sur le nerf récurrent a été étudiée et reste pour le moment du domaine expérimentale (Ducharme *et al.* 1989c). Une autre technique évaluée sur des modèles animaux puis appliquée chez l'Homme est la stimulation électrique fonctionnelle du larynx. Dans le cadre des paralysies laryngées bilatérales, elle consiste en la stimulation directe du muscle crico-aryténoïdien postérieur (CAP), analogue du CAD chez le Cheval, *via* une électrode implantée dans ce muscle, ou encore en la stimulation électrique du nerf laryngé inférieur (NLI) ou d'un nerf greffé. Actuellement, la plupart des spécialistes s'accordent sur le fait que les techniques de réinnervation et de stimulation électrique du larynx ne sont pas antago-

nistes mais peuvent être envisagées conjointement, en particulier dans le but d'éviter la mise en œuvre d'une trachéotomie et de réduire l'incidence de la complication majeure des techniques de réinnervation, soit le phénomène de synkinésie, ou réinnervation aberrante des muscles antagonistes, qui peut perturber ou annuler le résultat fonctionnel de la procédure chirurgicale. De manière similaire, diverses études ont commencé à évaluer l'efficacité de la stimulation électrique fonctionnelle (SEF) du larynx du cheval *via* l'implantation d'électrodes (Mespoullès *et al.* 2010). Diverses approches ont été effectuées soit par stimulation du nerf récurrent, soit par stimulation du muscle CAD, soit par stimulation du 1er-2^{ème} nerf cervical greffé. Comme en chirurgie humaine, l'association de la greffe et de la SEF fait l'objet d'études approfondies dans le but d'optimiser l'effet de la greffe, tant pour réduire le temps de réhabilitation que pour restaurer une abduction laryngée optimale lors de l'effort. Récemment notre équipe a évalué l'efficacité de l'association de la greffe du 1er-2^{ème} nerf cervical avec ou sans stimulation électrique du CAD au travers d'une longue étude prospective avec groupe contrôle, effectué sur près de deux années (Mespoullès *et al.* 2016). Enfin, l'effet de la SEF du nerf greffé lui-même est en cours d'évaluation. Lors de la présentation orale, les indications, la technique chirurgicale de la greffe de nerf cervical, le suivi postopératoire, ainsi que les complications ont été décrits. Puis

les possibilités d'association de la greffe avec une stimulation fonctionnelle électrique ont été brièvement exposés

GREFFE DE NERF CERVICAL

Des travaux ont été initiés il y a une trentaine d'années (Ducharme *et al.* 1989) et trois différentes possibilités de réinnervation avaient été testées sur l'espèce équine : par anastomose nerveuse, par greffe de pédicules neuromusculaires (PNM) ou par implantation nerveuse. Par la suite, seule la technique des PNM a été développée et appliquée en pratique courante par Fulton pendant les années suivantes et a révélé des taux de réussite similaires à la laryngoplastie, moins de morbidité mais un temps de convalescence post opératoire nettement plus long (Fulton 1991, 2003). Cette technique s'avérant complexe d'exécution, elle est restée peu appliquée. De plus, les travaux de Fulton sont restés basés sur un échantillon de jeunes chevaux, sur leurs résultats de courses et non sur des critères cliniques ; la réussite objective et les indications de cette chirurgie sont ainsi restés mal définis, d'où une certaine réticence des chirurgiens à l'appliquer plus fréquemment. Chez l'homme, l'implantation directe du nerf dans le muscle défectueux est couramment réalisée depuis les années 2000 (Marie 2010). Dans le cadre de l'hémiplégie laryngée humaine, sont transplantés des rameaux du nerf phrénique issu du nerf cervical 3. Chez le cheval, du fait de la taille du cou de l'animal, les travaux se sont concentrés sur l'utilisation des nerfs cervicaux 1 et 2. Cette technique a ainsi été développée et mise en application ces dernières années au cheval. Ces nerfs innervent notamment le muscle omohyoïdien, muscle accessoire mobilisé lors de la respiration à l'effort.

Choix des candidats et préparation du cheval

Un examen exhaustif de l'appareil respiratoire doit être réalisé. Les candidats à la greffe sont repérés par le biais de l'endoscopie au repos puis sont sélectionnés selon le grade d'hémiplégie laryngée constaté à l'endoscopie à l'exercice (endoscope embarqué (DRS) ou endoscopie sur tapis roulant à grande vitesse) et selon l'examen échographique transcutané de la région du larynx. Idéalement les grades laryngés 3 au repos sont les candidats idéaux, même si certains grades 4, en particulier les jeunes chevaux peuvent être inclus. La corrélation entre l'augmentation qualitative de l'échogénicité du muscle cricoaryténoïdien latéral (CAL) et la détection d'un défaut d'abduction du cartilage aryténoïde gauche à l'endoscopie à l'effort est excellente (Garrett *et al.* 2011, Chalmers *et al.* 2012). L'examen échographique permet également d'exclure une possible dysplasie du larynx (défaut du 4ème arc branchial) qui n'est pas une indication de chirurgie de greffe. Enfin, l'échographie permet de décider si le CAD receveur n'est pas déjà trop atrophié et fibrosé ce qui pourrait compromettre la prise de la greffe, bien que ceci n'ait pas été objectivé. Chez l'homme, même un muscle très amyotrophié chroniquement peut être réinnervé (Marie 2014). De plus, il reste difficile à l'échographie de faire la différence entre un muscle amyotrophié et un muscle fibrosé, sans effectuer d'examen histologique. La neurostimulation du nerf récurrent

en peropératoire, nous semble aussi intéressante pour affiner la sélection du candidat à la greffe de nerf. Notre démarche initiale était d'exclure les chevaux présentant un muscle CAL et cricoaryténoïdien dorsal (CAD) très amyotrophiés, et de préférer la laryngoplastie. Actuellement nous intégrons plus de chevaux à grade avancé - en particulier si le cheval est jeune - mais nous signalons au propriétaire que le temps de convalescence peut être plus long. Le cheval reste hospitalisé pendant 3 à 5 jours et un traitement antibiotique (pénicilline procaïne, 22 000 IU/kg, par voie intramusculaire, deux fois par jour) et anti-inflammatoire (phénylbutazone 2 mg/kg, par voie intraveineuse (IV), une fois par jour / dexaméthasone 0,04 à 0,16 mg/kg, IV, une fois par jour) sont administrés au cheval pendant 5 jours.

Technique chirurgicale

Intervention sous anesthésie générale

Jusqu'en janvier 2018, la plupart des interventions de réinnervation étaient réalisées sous anesthésie générale, le cheval étant positionné en décubitus latéral droit, la tête en extension. La région laryngée est préparée de manière aseptique. L'abord chirurgical est identique à celui utilisé pour une laryngoplastie, ventral à la veine linguo-faciale. Le nerf C1-C2 et ses rameaux sont ensuite visualisés en direct et/ou sont identifiés à l'aide d'un stylet relié à un neurostimulateur portable (**Figure 3**) (Rappel du trajet du nerf C1 : **Figure 4**). L'application du stylet sur le nerf entraîne des contractions cycliques du muscle omohyoïdien qu'il innerve ; elle permet d'identifier et de sélectionner les branches nerveuses les plus « fortes » reliées au muscle qui sont alors isolées pour la greffe (**Figure 5**). Le CAD est ensuite abordé par myotomie partielle du muscle cricopharyngé ou en passant caudalement à celui-ci. La branche principale du nerf sélectionnée est ensuite tunnélisée au travers du chef latéral du CAD à l'aide d'une aiguille de Reverdin et l'extrémité libre suturée dans le muscle (**Figure 6**). Une seconde branche est également greffée selon la technique d'implantation directe utilisée en chirurgie humaine (Marie 2010). Le muscle cricopharyngé est ensuite suturé (lors d'approche latérale) et la voie d'abord est classiquement refermée en 3 plans comme pour une laryngoplastie. Une ventriculo-cordectomie au laser est réalisée juste après ou le lendemain de l'intervention afin de réduire le bruit inspiratoire causé par le collapsus de la corde vocale ipsilatérale et d'augmenter partiellement le diamètre de la *rima gottidis* en région ventrale.

Intervention sur cheval debout

Actuellement nous effectuons uniquement l'intervention sur cheval debout, exceptés les très jeunes chevaux (yearlings). Dans ce cas, la ventriculocordectomie au laser est effectuée préalablement à la chirurgie de greffe. La tête du cheval est positionnée comme pour une laryngoplastie en extension modérée grâce au support de tête, et est maintenue en position sagittale par un assistant. Un masque aveuglant l'œil gauche est appliqué. La zone chirurgicale est isolée par une chemise élastique couvrant l'encolure et ouverte au niveau de la partie gauche de la gorge.

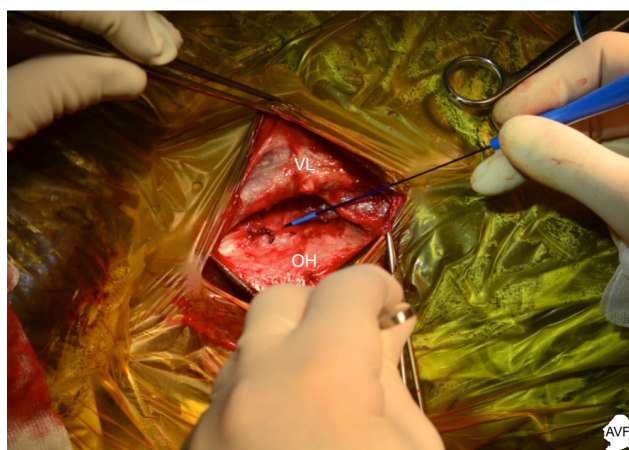


Figure 3 : Identification et isolement des branches du nerf C1 à l'aide d'un stylet relié à un neurostimulateur. VL : veine linguofaciale ; OH : muscle omohyoïdien.

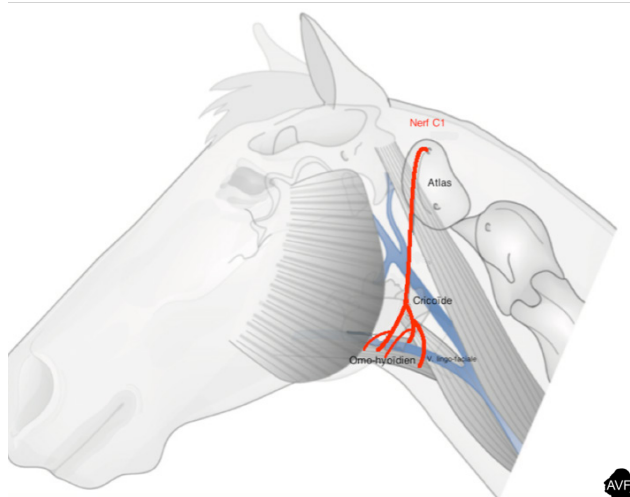


Figure 4 : Trajet du nerf C1 de son émergence au niveau du foramen alaire de l'atlas jusqu'au muscle omohyoïdien.

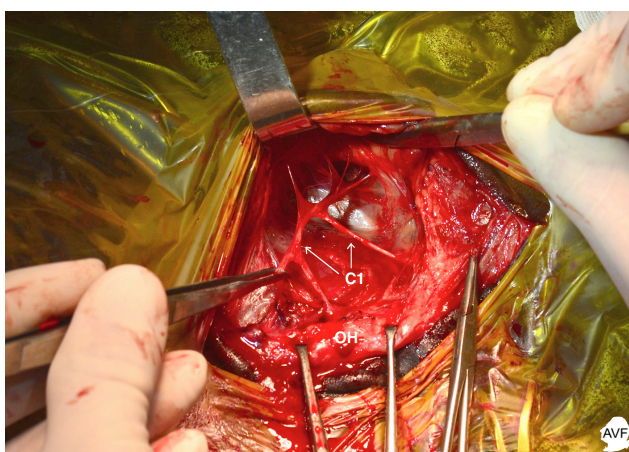


Figure 5 : Isolement des branches du nerf C1 se terminant dans le muscle omohyoïdien (OH).

Cette protection permet d'éviter la contamination du site lors des possibles mouvements du cheval en particulier lors de la mise en place des champs (**Figure 7**). Un large champ imperméable avec fenêtre transparente adhésive est placé sur la région laryngée

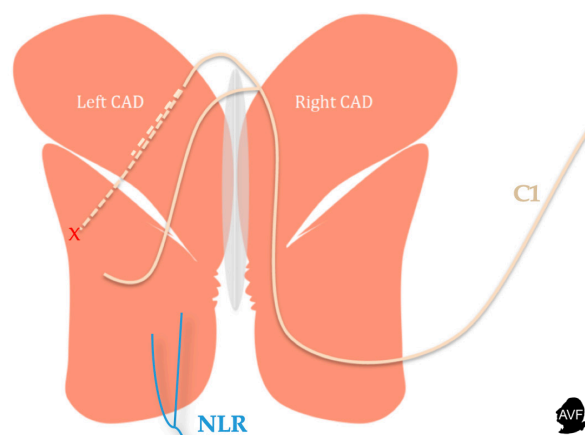


Figure 6 : Schématisation des rameaux du nerf greffé. En pointillés : partie tunnelisée ; X : le nerf est suturé sur la partie latérale du CAD ; Une branche supplémentaire est suturée en technique directe sur la partie latérale du CAD ; Left CAD : muscle cricoaryténoïdien dorsal gauche ; right CAD : muscle cricoaryténoïdien dorsal droit ; NLR : trajet du nerf laryngé récurrent (nerf laryngé caudal) dans la partie caudale du muscle CAD.



Figure 7 : Cheval préparé dans la barre de chirurgie. Un support de tête réglable permet de positionner la tête en extension modérée ; une chemise élastique ouverte au niveau du site chirurgicale est placée pour limiter le risque de contamination lors des mouvements éventuels du cheval.

gauche et fixée par des pinces à champ au licol et à la chemise. La veine linguo-faciale est matérialisée à l'aide d'un feutre chirurgical et 30 ml d'un mélange de lidocaïne à 2% et de mépivacaïne est infiltré en sous-cutané en V inversé dorsalement au site d'incision. Une puissante lampe frontale est utilisée pour éclairer les tissus pendant l'intervention. L'approche et la technique sont les mêmes que sous anesthésie générale. La neurostimulation du nerf est très bien tolérée sur cheval debout et la contraction nous semble subjectivement plus importante. La dissection du nerf est facilitée par la mise sous tension naturelle grâce à la position plus ventrale du muscle omohyoïdien. L'exposition du CAD s'effectue caudalement au muscle cricopharyngé et est meilleure que sur cheval couché de part une rotation plus facile du processus musculaire. Enfin, la visualisation du nerf et sa suture sont également facilités de par la position de la tête du chirurgien à hauteur du larynx.

Post opératoire et suivi

Le cheval suit une activité limitée et contrôlée pendant les 6 premières semaines suivant l'intervention. Ensuite, une endoscopie de contrôle, au repos, est réalisée afin de vérifier la bonne cicatrisation de la ventriculo-cordectomie. La reprise du travail et de l'entraînement sont repris 6 semaines après la chirurgie. Des périodes d'entraînement intense sont rapidement réintroduites afin de stimuler le nerf et améliorer la réhabilitation fonctionnelle du CAD.

Les premiers signes de réinnervation ont généralement lieu entre le 4^{ème} et 6^{ème} mois après l'intervention (Fulton 2003, Rossignol et al. 2018). La réussite de la greffe est ensuite confirmée par un test de stimulation directe du nerf C1. Ce test consiste à introduire, sous guidage échographique, une aiguille reliée à un neurostimulateur jusqu'au nerf C1, au niveau de son passage dans le foramen alaire de l'atlas (Mespoullhès 2016) (**Figure 8**). La réinnervation est effective lorsqu'une abduction

de l'aryténoïde est constatée à l'endoscopie et ce, de manière synchrone aux impulsions électriques (Mespoullhès *et al.* 2016). Le contrôle endoscopique au repos montre généralement des images similaires à celles prises avant l'intervention car le nerf C1-C2 est toujours inactif au repos. L'endoscopie à l'exercice est réalisée une première fois 6 mois puis une seconde fois 12 mois après la chirurgie et permet de confirmer le retour de la fonction du CAD par une amélioration significative de l'ouverture de l'aryténoïde gauche (**Figure 9**). Un système de grades adapté à cette intervention a été développé dans l'étude de Rossignol (2018) (**Figure 1**).

Complications

Très peu de complications sont associées à cette intervention en comparaison avec la laryngoplastie. La plus fréquente est la présence d'un sérome en période postopératoire immédiate, conséquence de la section de vaisseaux lymphatiques lors de l'intervention. Les risques liés à l'anesthésie générale et au réveil

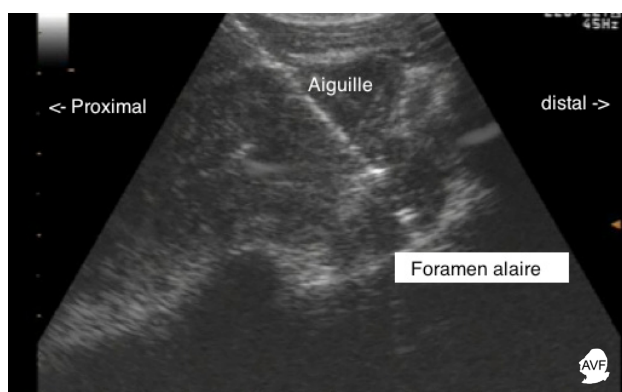
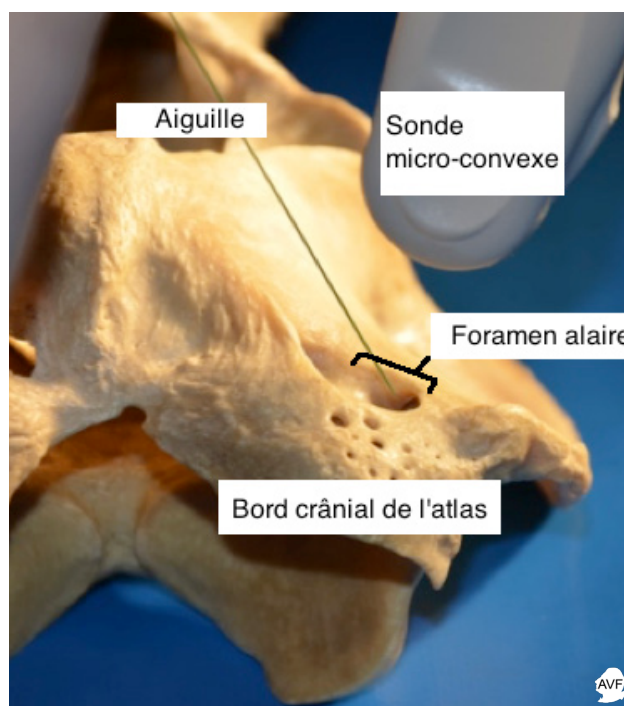
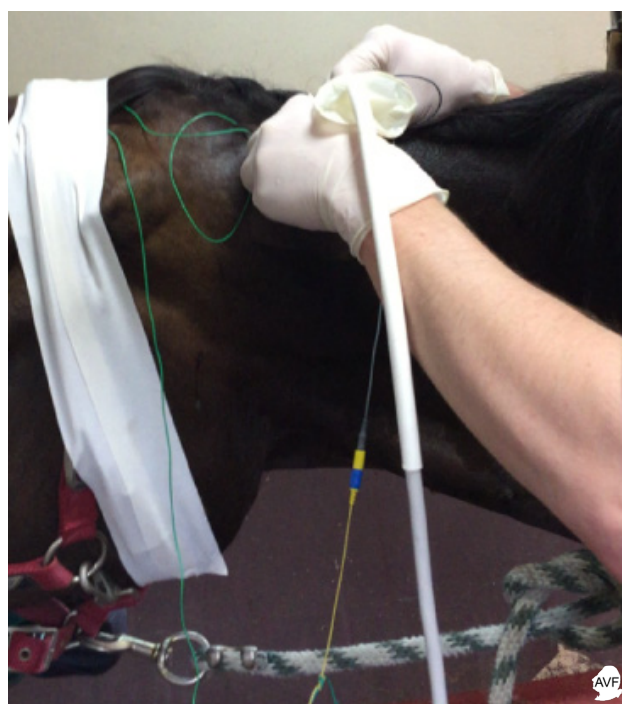


Figure 8 : Technique de stimulation du nerf C1 greffé : en pratique (8a) ; illustration sur pièce anatomique (8b) et visualisation échographique (8c) de l'insertion de l'aiguille reliée au stimulateur.

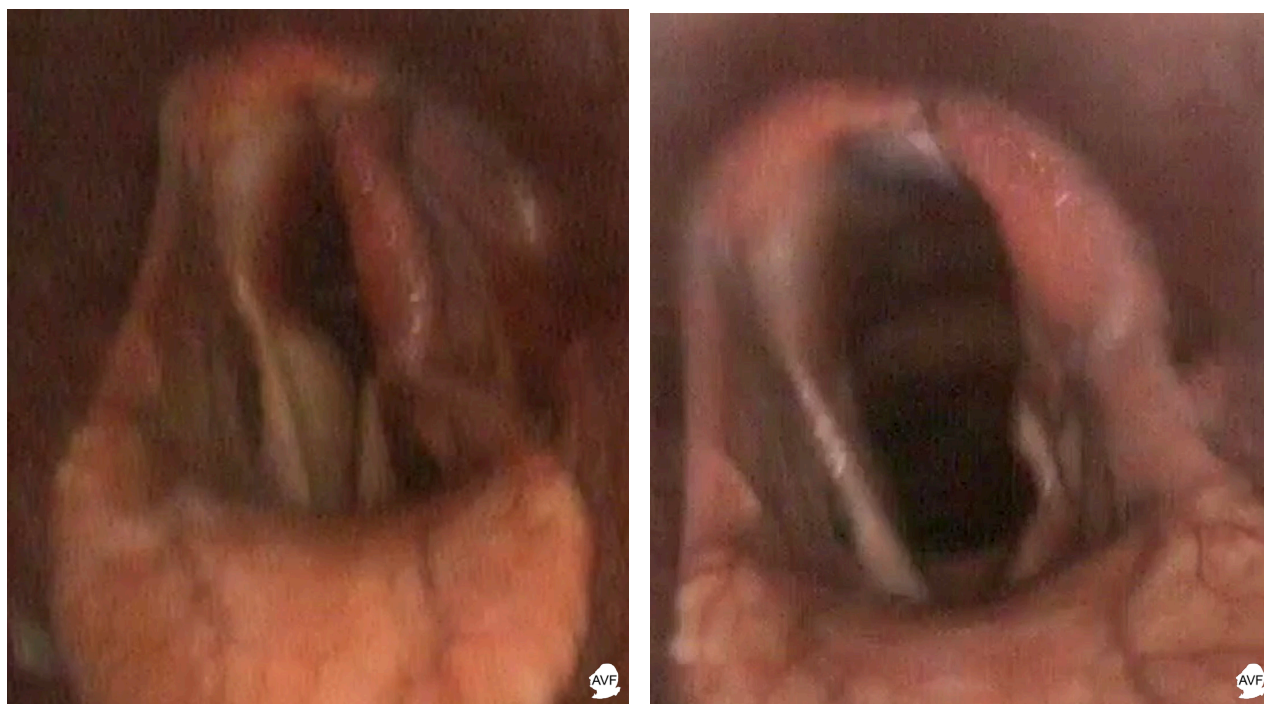


Figure 9 : Comparaison des endoscopies à l'exercice en préopératoire (9a) et 12 mois après la greffe de nerf (9b).

sont prévenus par la possibilité de réaliser l'intervention sur cheval debout. Les risques infectieux sont potentiellement plus importants sur cheval debout et sont prévenus par une technique de drapage chirurgical adapté. À long terme, il est possible d'observer un défaut de réinnervation ou, en particulier sur les chevaux de course, un degré de contraction du CAD insuffisant pour permettre au cartilage aryténoïde de maintenir une ouverture suffisante et contrer ainsi les forces inspiratoires négatives intenses. En cas d'échec de la réinnervation, il est intéressant de noter que, secondairement, une laryngoplastie est toujours possible avec un taux de succès identique à celui obtenu avec une laryngoplastie de première intention.

RÉSULTATS

L'étude menée par Fulton (1991) sur 165 pur-sang de course ayant subi une greffe par pédicules neuromusculaires, avait mis en évidence un succès de la réinnervation dans 80 % des chevaux et, parmi eux, 60 % ont remporté, ensuite, au minimum une course et 45 % ont vu leurs performances améliorées. La complexité de la technique initiale, les critères de sélection incertains et les résultats hétérogènes récoltés sur de jeunes chevaux de course et par des critères subjectifs, ont fait que cette intervention a été souvent écartée des stratégies thérapeutiques ces dernières années. Récemment, notre équipe (Rossignol *et al.* 2018) a réalisé une étude sur la technique simplifiée de greffe du nerf C1-C2 par neurotisation et tunnellisation médiolatérale dans le CAD. Le but de cette étude était de démontrer l'efficacité de la technique à l'aide de critères cette fois-ci objectifs, tels que : l'échographie laryngée, la réalisation d'endoscopies embarquées à intervalles réguliers et à des vitesses standardisées, ainsi que le

test de stimulation directe du nerf C1. L'intervention a été initialement réalisée sur 17 chevaux (10 chevaux de selle et 7 chevaux de course, âgés de 2 à 11 ans), suivis ensuite par un contrôle endoscopique à l'exercice et par des tests de stimulation à l'aiguille. Après 6 mois ; quatre-vingt-douze pourcent des chevaux ont présenté une réponse positive au test de stimulation; 93 % ne présentaient plus aucun collapsus de l'aryténoïde gauche à l'exercice et 65 % ont montré une amélioration d'au moins un grade lors de l'endoscopie à l'exercice. L'évaluation endoscopique de l'efficacité de la greffe de nerf a été réalisée à l'aveugle par des observateurs neutres pour écarter tout biais de subjectivité. Dans cette étude, les modalités d'entraînement (durée, fréquence des séances d'exercice intense) n'ont pas été répertoriées et la durée de la période de repos ou d'exercice de faible intensité a varié entre les différents chevaux. Étant donné que le nerf C1-C2 est stimulé à l'effort, il est possible que certains chevaux aient eu une activité suboptimale et que la réhabilitation continue parallèlement à la reprise ou à la poursuite de son activité. Tous les chevaux suivis ont pu atteindre le niveau d'activité souhaité à l'issue de la chirurgie. Depuis cette étude, plus de 60 greffes de nerf cervical ont été réalisées au sein de la clinique de Grosbois. Tous les chevaux ont été évalués objectivement en période préopératoire et postopératoire et ont présentés des résultats similaires aux chevaux de l'étude. La technique chirurgicale a été progressivement améliorée, avec mise en place de plusieurs rameaux nerveux dans le même tunnel, une approche plus directe caudalement au nerf impliquant moins de tension sur ce dernier, et enfin une réalisation sur cheval debout. Une trentaine de chevaux ont été opérés avec cette technique. Il nous semble subjectivement que ces améliorations ont été associées à une réhabilitation plus rapide (certains chevaux réinnervés de

manière fonctionnelle dès le quatrième mois) mais plus de cas ainsi qu'une évaluation standardisée sont nécessaires.

DISCUSSION

Indications

L'une des contraintes majeures de cette intervention reste le temps de convalescence, assez long, surtout en comparaison avec celui d'une laryngoplastie qui se résume à 6 à 8 semaines avant une pleine reprise de l'entraînement. Le temps de réinnervation varie selon le degré d'atrophie du muscle CAD au moment de la greffe, de 4 à 12 mois (Fulton 2003, Rossignol *et al.* 2018). On peut postuler que les meilleurs candidats à la greffe de nerf sont donc les jeunes chevaux de courses (2 ans) ou les chevaux de sport bénéficiant déjà de la ventriculo-cordectomie et pour lesquelles les échéances de résultats sont moins strictes. Pour les jeunes chevaux, la restauration fonctionnelle du CAD selon un moyen physiologique, sans prothèse et qui préserve leur condition respiratoire sur le long terme est d'autant plus à valoriser. Rappelons aussi qu'originellement, les chevaux de sport et certains chevaux de courses en grade 3, qui présentent un début de maladie avec un collapsus seulement partiel du cartilage aryénoïde (grade B et C) sont candidats à une ventriculo-cordectomie seule. La laryngoplastie est effectuée alors dans un second temps, lorsque l'hémiplégie évolue en grade 4. Pour cette catégorie de chevaux, la combinaison d'une greffe de nerf avec une ventriculo-cordectomie, pourrait donc permettre de prévenir l'évolution de la maladie et l'intolérance à l'effort en suppléant le nerf récurrent déficient (maintien d'un volume musculaire suffisant). Le délai de convalescence est alors de 4-6 semaines. Le nerf récurrent continue à jouer son rôle jusqu'à la mise en fonction du nerf cervical alors que la ventriculo-cordectomie offre une augmentation de la *rima glottis* en région ventrale et permet une utilisation immédiate du cheval. Cette forme d'anticipation dans les premiers stades de la maladie est non seulement une technique séduisante mais aussi un traitement qui pourrait permettre d'éviter d'avoir recours à la laryngoplastie à terme. De plus, des chevaux présentant un grade 3 sont susceptibles de répondre plus vite et plus efficacement à la greffe de nerf. La réalisation et l'efficacité de la greffe de nerf passent donc par la détection précoce de la maladie. Il faut ainsi souligner l'importance cruciale des examens pré- et post-opératoires (endoscopie embarquée, échographie, test de stimulation) qui offrent des critères objectifs de sélection et qui ont une valeur pronostique. Une ventriculo-cordectomie est associée à la greffe de nerf, tout comme avec une laryngoplastie (tie back), et vise essentiellement à annuler ou diminuer le bruit qui persiste en général quand l'aryénoïde est en position intermédiaire (grade 3) pour un cheval de sport, ou submaximale (grade 2) pour un cheval de course. Ni le nerf récurrent - cheminant le long de la crête sagittale du cricoïde avant de rejoindre les compartiments neuromusculaires du CAD - ni les plaques motrices du CAD ne sont compromis par la technique de greffe de nerf par tunnellation (Cheetham *et al.* 2008). Ainsi, tant que le nerf récurrent

est fonctionnel l'innervation par ce dernier peut continuer à être effective et le muscle peut être innervé par les 2 nerfs.

Complications et limites

Les complications à court et long terme associées à la greffe de nerf sont mineures et moins fréquentes que celles impliquées par la laryngoplastie : sérome, infection. Une restauration nulle ou insuffisante de la fonction du CAD peut dépendre d'un défaut technique, d'une faiblesse des rameaux nerveux greffés ou encore d'une dégénérescence trop avancée du muscle. Une limite à l'application de cette technique est constituée actuellement par la sévérité de l'hémiplégie au moment où elle est prise en charge et l'état du muscle CAD à ce moment. Une atrophie et une fibrose trop importantes semblent compromettre l'intervention. Ceci est peut-être aussi lié au fait que l'omohyoïdien est un muscle accessoire de la respiration et que la stimulation générée par le C1 est probablement moins intense que celle générée par un nerf récurrent. D'autre part, le C1 est activé uniquement pendant les phases d'exercice, contrairement au nerf récurrent qui est activé à chaque inspiration ce qui génère donc une quantité de stimuli également inférieurs sur une journée. L'électrostimulation en péri-opératoire après mise en place d'une électrode sur le nerf C1 connectée à un neurostimulateur pourrait permettre d'améliorer l'intensité par entraînement du muscle. Les critères limites d'amyotrophie musculaire et de chronicité permettant ou non d'obtenir une réhabilitation fonctionnelle après greffe de nerf C1 chez le cheval restent à affiner. Chez l'homme, il semble qu'une réhabilitation fonctionnelle après greffe soit parfois possible même lors de paralysie ancienne et chronique (Marie 2014). De plus, d'un point de vue échographique, il est difficile de faire la différence entre fibrose et amyotrophie. Il est également important de noter que l'abduction du cartilage aryénoïde à l'exercice générée par le nerf C1 n'est pas maximale comme chez un cheval sain, mais partielle, et correspond à l'abduction à l'exercice générée par une laryngoplastie. Cette abduction partielle permet de maintenir un flux d'air suffisant lors de l'effort et de prévenir le collapsus du cartilage et des membranes à l'intérieur de la lumière glottique. La différence entre les deux techniques est qu'après laryngoplastie le cartilage est également en position ouverte d'abduction au repos, alors qu'à la suite de greffe de nerf C1, il ne s'ouvre que lors de l'exercice et permet donc une fermeture glottique facilitée lors de la déglutition. Lors d'un résultat insatisfaisant ou d'un grade trop avancé de l'affection, une laryngoplastie peut toujours être réalisée secondairement afin de permettre au cheval de poursuivre sa carrière sportive.

Technique debout

Comme la technique de la laryngoplastie, la greffe de nerf est actuellement pratiquée sur cheval debout, ce qui permet de lever le risque associé à l'anesthésie générale. Une telle pratique semble, tout comme pour la laryngoplastie, permettre un abord plus facile et une exposition optimale du muscle CAD. Cette évolution a permis également d'améliorer la technique d'implantation.

ASSOCIATION AVEC STIMULATION ÉLECTRIQUE FONCTIONNELLE DU LARYNX

Association avec la stimulation électrique fonctionnelle du larynx (SEF)

Un muscle privé de son innervation subit une atrophie progressive, avec une récupération possible par réinnervation, qu'elle soit spontanée ou iatrogène. En cas d'atrophie prolongée, les chances de succès d'une réinnervation peuvent se réduire. Lors d'atrophie neurogène, on constate une modification du phénotype musculaire avec une augmentation de la proportion en fibres de type II, ce qui est associé à une fatigabilité supérieure. L'électromyostimulation a pour but de conserver ou de restaurer la masse musculaire du muscle dénervé (Marqueste *et al.* 2002, Mödlin *et al.* 2005). Le courant appliqué est biphasique, et les différents paramètres modifiables sont la durée (durée de la phase en ms), l'amplitude (intensité en mA ou parfois tension en V selon les auteurs) et la fréquence des chocs électriques. Le but de la technique est d'appliquer le courant moyen nécessaire le plus bas possible afin d'éviter des dommages tissulaires (Duchateau *et al.* 1988). Zealear souligne cependant que les effets de l'électromyostimulation sont transitoires, et qu'en l'absence de réinnervation, le muscle s'atrophie de nouveau si les phases de stimulation sont interrompues (Zealear *et al.* 2000).

Un autre effet potentiellement recherché avec la technique de SEF intramusculaire est l'amélioration de la qualité ou de la vitesse de la réinnervation d'un muscle dénervé. Une alternative à la SEF intramusculaire est la stimulation indirecte du muscle *via* la stimulation de son innervation. Cette technique délocalisée présente l'avantage de ne pas intervenir sur le corps musculaire lui-même, et d'éviter des possibles réactions fibreuses dues aux implants, mais nécessite une innervation fonctionnelle. Beaucoup d'études ont été effectuées chez les animaux de laboratoire et chez l'homme et sont toujours en cours. Contrairement au cheval, la problématique rencontrée chez l'homme est la restauration de la voix et de la respiration au repos, en particulier lors d'atteinte bilatérale. Cela nécessite une synchronisation des impulsions par des *stimuli* générés par le muscle controlatéral (atteinte unilatérale) ou l'entrée d'air dans le nez ou la trachée (atteinte bilatérale). La problématique est différente chez le cheval où on recherche une abduction stable du côté gauche lors de l'exercice uniquement.

Dans le domaine de la SEF du larynx chez l'homme, Broniatowski (1985) a innové par la combinaison des techniques de greffe et de SEF, appliquant la technique de SEF à la branche du nerf XII des PNM de Tucker, puis en développant le concept de l'arc réflexe artificiel, la dépolarisation d'un nerf sensitif implanté dans le pharynx servant de stimulus pour déclencher en retour la stimulation des nerfs laryngés récurrents et l'adduction des cordes vocales. Nous nous sommes inspirés de sa recherche pour le développement de nos techniques combinées de greffe et SEF chez le cheval. Notre équipe

a travaillé sur deux techniques : la combinaison de la greffe de nerf cervical et la SEF intramusculaire du CAD comparée à la greffe de nerf seule. Ce travail qui s'est étendu sur plus de deux ans a été décrit dans une thèse de doctorat d'état (Mespoullhès 2011, 2016). Une autre étude, toujours en cours, vise à comparer l'effet de la stimulation du nerf greffé lui-même et de le comparer à un groupe de chevaux greffés mais non stimulés. L'objectif de l'étude était la quantification des résultats chirurgicaux et fonctionnels après application de la technique de réinnervation du CAD pathologique à l'aide du nerf C1, et l'évaluation de la combinaison de cette réinnervation avec une stimulation électrique fonctionnelle (SEF). Onze chevaux atteints de NLR ont été inclus dans l'étude et répartis en deux groupes. La réinnervation a été testée chez 9 chevaux à l'aide de la technique de stimulation électrique du C1, avec obtention d'un résultat positif chez 4 chevaux par groupe. L'évolution de l'excitabilité du CAD, testée dans le groupe recevant la SEF, était en faveur d'une réinnervation. Dans le même groupe, une amélioration de la force de contraction du CAD au cours du temps a été objectivée *via* la détermination de l'angle d'abduction maximale (AAM). La fonction native du larynx a été améliorée chez tous les chevaux. L'angle d'abduction de l'aryténoïde (AA) lors de la stimulation électrique à l'exercice s'est amélioré au cours du temps, et était significativement différent de l'AA natif en fin de protocole chez les chevaux traités par électrostimulation. L'analyse histopathologique effectuée sur les muscles CAD et CAL du groupe stimulé a révélé un effet protecteur de la stimulation avec conservation du diamètre des fibres musculaires dans les régions stimulées, et une évolution du phénotype musculaire avec augmentation de la proportion en fibres de type I. La conclusion de cette étude était que la combinaison des techniques permettait une amélioration fonctionnelle du larynx supérieure à celle de la réinnervation seule, et semblait applicable au cheval. Les difficultés techniques de maintien dans le temps des implants et les complications associées à l'implantation à long terme dans le CAD ayant été identifiées, la suite logique, dans l'esprit des travaux de Broniatowski (1985) est la stimulation directe du C1 greffé dans le CAD. Dans le but d'éloigner au maximum les implants du muscle cible et sa réinnervation, la meilleure approche pour la mise en place d'un programme de SEF semble l'abord employé pour le test de réinnervation. Une nouvelle étude est en cours, dans le but d'évaluer la faisabilité de l'implantation à long terme d'une électrode le long de la branche ventrale du C1 dans le foramen alaire, le nerf étant ensuite implanté dans le CAD. Le principe est d'utiliser une technique d'implantation mini-invasive en regard du foramen alaire, l'électrode étant ensuite couplée à un neurostimulateur. Celui-ci permet de stimuler électriquement le C1 durant la phase de dissection avant implantation dans le CAD, et sera par la suite activé pour la réalisation du programme de SEF dans la période post-opératoire immédiate. Cinq chevaux ont déjà été opérés avec cette technique et la stimulation a semblé augmenter l'efficacité de la greffe. Ces études seront publiées prochainement.

PERSPECTIVES ET CONCLUSION

Le succès de la technique réinnervation est comparable à celui constaté jusqu'à maintenant pour la laryngoplastie comme traitement de l'hémiplégie laryngée.

Il s'agit d'un moyen plus respectueux de la physiologie du cheval lui permettant de retrouver une condition respiratoire compatible avec des objectifs d'athlète moyennant, pour le moment, un temps de convalescence supérieur à celui de la laryngoplastie. La réduction des risques de complications à court et long terme

associées à la laryngoplastie est un avantage évident. De plus, le développement de cette intervention sur cheval debout permet d'une part de prévenir les risques liés à l'anesthésie générale et au réveil, mais offre également des avantages techniques améliorant la qualité de l'implantation nerveuse dans le muscle CAD. La réinnervation est ainsi une technique chirurgicale effective et validée qu'il nous semble à promouvoir dans les années à venir sur des cas sélectionnés. L'association avec la neurostimulation est toujours de l'ordre de la recherche mais aura probablement des applications cliniques très intéressantes dans un futur proche.

BIBLIOGRAPHIE

- Baker GJ. Laryngeal hemiplegia in the horse. *Comp Cont Educ Pract Vet.* 1983; 5:S6.
- Beard WL, Hayes HM. Risk factors for laryngeal hemiplegia in the horse. *Prev Vet Med.* 1993; 17:57-63.
- Broniatowski M, Kaneko S, Jacobs G, Nose Y & Tucker H M. Laryngeal pacemaker. II. Electronic pacing of reinnervated posterior cricoarytenoid muscles in the canine. *Laryngoscope.* 1985; 85:1194-1198.
- Chalmers HJ, Yeager AE, Cheetman J *et al.* Diagnostic sensitivity of subjective and quantitative laryngeal ultrasonography for recurrent laryngeal neuropathy in horses. *Vet Radiol Ultrasound.* 2012; 53:660-666.
- Dixon PM, McGorum BC, Railton DI *et al.* Long term survey of laryngoplasty and ventriculocordectomy in an older, mixed-breed population of 200 horses. Part 1: Maintenance of surgical arytenoid abduction and complications of surgery. *Equine Vet J.* 2003a; 35:386-396.
- Dixon PM, McGorum BC, Railton DI *et al.* Long term survey of laryngoplasty and ventriculocordectomy in an older, mixed-breed population of 200 horses. Part 2: owners' assessment of the value of the surgery. *Equine Vet. J.* 2003b; 35:397-401.
- Ducharme NG, Horney FD, Hulland TJ *et al.* Attempts to restore abduction of the paralyzed equine arytenoid cartilage II. Nerve implantation. *Can J Vet Res.* 1989a; 53:210-215.
- Ducharme NG, Horney FD, Partlow GD *et al.* Attempts to restore abduction of the paralyzed equine arytenoid cartilage. I. Nerve-muscle pedicle transplants. *Can J Vet Res.* 1989b; 53:202-209.
- Ducharme NG, Viel L, Partlow GD *et al.* Attempts to restore abduction of the paralyzed equine arytenoid cartilage. III. Nerve anastomosis. 1989c; 53:216-223.
- Duchateau, J. & Hainaut, K. Training effects of sub-maximal electrostimulation in a human muscle. *Med Sci Sports Exerc.* 1988; 20:99-104.
- Duncan ID, Griffiths IR, McQueen A *et al.* The pathology of equine laryngeal hemiplegia. *Acta Neuropath.* 1974; 27:337-348.
- Froydenlund TJ, Dixon PM. A review of equine laryngoplasty complications. *Equine Veterinary journal.* 2014; 26:98-106.
- Fulton IC, Derksen FJ, Stick JA *et al.* Treatment of left laryngeal hemiplegia in Standardbreds, using a nerve muscle pedicle graft. *Am J Vet Res.* 1991; 52:1461-1467.
- Fulton IC, Stick JA, Derksen FJ. Laryngeal reinnervation in the horse. *Vet Clin North. Am Eq Pract.* 2003; 19:189-208.
- Garrett KS, Woodie JB, Embertson RM. Association of treadmill upper airway endoscopic evaluation with results of ultrasonography and resting upper airway endoscopic evaluation. *Equine Vet J.* 2011; 43:365-371.
- Goulden BE, Anderson LJ. Equine laryngeal hemiplegia: Part 1. Physical characteristics of affected animals. *N Z Vet J.* 1981; 29:151-154.
- Kraus BM, Parente EJ, Tulleners EP *et al.* Laryngoplasty with ventriculotomy or ventriculocordectomy in 104 draft horses (1992-2000). *Veterinary Surgery.* 2003; 32:530-538.
- Marie JP. Nerve reconstruction. In: *Surgery of Larynx and Trachea.* Remacle M & Eckel HE, eds. London-New York: Springer; 2010, pp 279-294.
- Marie JP. Reinnervation: New frontiers. In: *Diagnosis and treatment of voice disorders.* Rubin JS, Sataloff RT, Korovin GS eds. Plural publishing. San Diego. 2014:855-870.
- Marks D, Mackay-Smith MP, Cushing LS *et al.* Etiology and diagnosis of laryngeal hemiplegia in horses. *J Am Vet Med Asso.* 1970; 157:429-436.
- Marqueste T, Decherchi P, Douset E, Berthelin F & Jammes Y. Effect of muscle electrostimulation on afferent activities from tibialis anterior muscle after nerve repair by self-anastomosis. *Neuroscience.* 2002; 113:257-271.
- Mespoullès-Rivière C, Rossignol. F. Equine laryngeal neurostimulator: development and implantation technique. Poster. *ECVS Ghent.* 2011.
- Mespoullès-Rivière C, Brandeberger O, Rossignol F *et al.* Feasibility, repeatability and safety of ultrasound-guided stimulation of the first cervical nerve at the alar foramen in horses. *Am J Vet Res.* 2016; 77:1245-1251.
- Mespoullès-Rivière C. Technique de stimulation du muscle crico-aryténoïdien dorsal gauche pour le traitement de l'hémiplégie laryngée chez le cheval: développement et validation clinique. Intérêt de la combinaison avec la ré-innervation laryngée. Thèse Université de Rouen. 2016.
- Mödlin M, Forstner C, Hofer C *et al.* Electrical stimulation of denervated muscles: First results of a clinical study. *Artif. Organs.* 2005; 29: 203-206.
- Robinson NE. Consensus Statements on Equine Recurrent Laryngeal Neuropathy: Conclusions of the Havemeyer Workshop. *Equine Veterinary Education.* 2004; 16:333-336.
- Rossignol F, Vitte A, Boening J *et al.* Laryngoplasty in standing horses. *Veterinary Surgery.* 2015; 44:341-347.
- Rossignol F, Brandeberger O, Perkins JD *et al.* Modified nerve transplantation technique for treatment of recurrent laryngeal neuropathy in horses by tunnelling the first or second cervical nerve through the crico-arytenoïdeus dorsalis muscle. *Equine Veterinary Journal.* 2018; 50:457-464
- Strand E, Martin GS, Haynes PF *et al.* Career racing performance in Thoroughbreds treated with prosthetic laryngoplasty for laryngeal neuropathy: 52 cases (1981-1989). *J Am Vet Med Assoc.* 2000; 217:1689-1696.
- Tucker HM Nerve-muscle pedicle reinnervation of the larynx: avoiding pitfalls and complications. *Ann Otol Rhinol Laryngol.* 1982; 91:440-444.
- Tucker HM. Combined laryngeal framework medialization and reinnervation for unilateral vocal fold paralysis. *Ann Otol Rhinol Laryngol.* 1990; 99:778-781.
- Zeale DL, Billante C L, Chongkolwatana C & Herzon G D. The effects of chronic electrical stimulation on laryngeal muscle physiology and histochemistry. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec.* 2000; 62:87-95.