

## **2.Schrifttum**

### ***2.1. Kehlkopfpfeifererkrankung beim Pferd***

Kehlkopfpfeifen wird auch unter anderem als Pfeiferdampf, Hartschnaufigkeit oder Rohren bezeichnet. Nach der Definition ist ein Pferd als Kehlkopfpfeifer anzusehen, wenn es eine durch einen chronischen und unheilbaren Krankheitszustand des Kehlkopfes oder der Luftröhre verursachte und durch ein hörbares Geräusch gekennzeichnete Atemstörung besitzt (EIKMEIER et al. 1990). Kehlkopfpfeifen gehörte früher beim Pferd zu den heute nicht mehr vorhandenen Hauptmängeln. Diese Erkrankung ist in erster Linie eine Erkrankung von großrahmigen Pferden. Kleinpferde und Ponys sind nur ganz selten betroffen. Auch eine gewisse Geschlechtshäufigkeit ist vorhanden, da hauptsächlich Hengste und Wallache

betroffen sind. Die Ursachen des hörbaren Tones können sehr vielfältig sein. Hierzu gehören auch Missbildungen des Kehlkopfes, folliculäre Laryngitis und Pharyngitis, Tumoren, Zysten oder ebenso die Dorsalverlagerung des weichen Gaumens. Als Hauptursache in etwa zwei Dritteln der Fälle wird eine Hemiplegia laryngis sinistra, also eine linksseitige vollständige oder teilweise erfolgte Lähmung des N. laryngeus recurrens sinister und eine dadurch verursachte Atrophie der stimmritzenweiternden Muskeln erwartet. Durch diese Lähmung und Muskelatrophie sinkt der linke Gießkannenknorpel in die Kehlkopflüchtung ein. Dadurch wird auch ein Absinken und eine Annäherung zur Gegenseite des betroffenen Stimmbandes verursacht. Diese pathophysiologischen Vorgänge zusammen lassen das typische inspiratorische Stenosegeräusch entstehen (GERBER 1994).

Auch eine rechtsseitige oder sogar beidseitige Lähmung des N. laryngeus recurrens wird in der Literatur beschrieben (KLEIN und DEEGEN 1988). Die unilaterale rechtsseitige Kehlkopflähmung ist nach Ansicht der meisten Autoren selten. So konnte COLE (1946) nie eine unilaterale rechtsseitige Kehlkopfmuskelatrophie nachweisen. PASCOE et al. (1981) endoskopierte 235 Vollblüter und stellten bei einem Pferd rechtsseitige Kehlkopflähmung fest. MARKS et al. (1970) erwähnen 5 Fälle von rechtsseitiger Kehlkopflähmung, die alle nach paravenöser Injektion von gewebsreizenden Medikamenten auftraten. Jeweils einen Fall von rechtsseitiger Kehlkopffunktionsstörung infolge anatomischer Veränderungen des Krikoid- und des Thyreoidknorpels beschrieben COOK (1981) sowie KANNEGIETER et al. (1986). Ebenso wie die unilaterale rechtsseitige ist auch die beidseitige Kehlkopflähmung selten. Nach KRAL (1951) und COOK (1965) sind zwei Prozent aller Kehlkopflähmungen beidseitig. NEAL und RAMSEY (1972) nennen Bleivergiftungen als Ursache von beidseitiger Kehlkopflähmung. Die beidseitige Kehlkopflähmung wurde von SHAPIRO et al. (1979) bei einem Pferd als Folge einer Verknöcherung der Kehlkopfknorpel beschrieben. ROSE (1978) sowie ROSE et al. (1981) beschrieben beidseitige Kehlkopflähmungen bei 5 Araberfohlen infolge einer Vergiftung mit Haloxon, einer organischen Phosphatverbindung.

Man unterscheidet zwischen primären und sekundären Ursachen. In der Ätiologie der primären Recurrenslähmung wird eine Prädisposition dadurch erklärt, dass sich der N. laryngeus recurrens sinister aufgrund seines Verlaufes nach der Abspaltung aus dem N. vagus nicht um den Aortenbogen, sondern um den Ductus arteriosus (Botalli) schlägt. Damit ist der linksseitige Nerv kürzer als der rechtsseitige. Während der Weiterentwicklung des Embryos kommt es zur Kaudalverlagerung des Herzens und des Aortenbogens, wodurch es zu einer Nervenzerrung an der Umschlagstelle kommen kann (BERG und DIETZ 1992). Mögliche

Druck- und Dehnungsschäden an dem linken N. laryngeus recurrens können aufgrund der beschriebenen Anatomie und der dadurch bedingten Zerrung diesen Nerven bei der dressurmäßigen Arbeit, zum Beispiel in der Versammlung, entstehen. Eine erbliche Prädisposition der primären Kehlkopflähmung wurde durch die Untersuchungen von OHNSORGE (1990) bestätigt. Die Untersuchung zeigte, dass Fohlen von Elterntieren die nicht an der Hemiplegia laryngis erkrankt waren, deutlich seltener bei der endoskopischen Untersuchung als „Kehlkopfpfeifer“ auffielen, als Fohlen deren beide Elterntiere endoskopisch als „Kehlkopfpfeifer“ beurteilt wurden. Der prozentuale Unterschied bei den betroffenen Fohlen von „gesunden“ Eltern lag bei 39 Prozent, im Gegensatz zu 60,6 Prozent der betroffenen Fohlen deren beide Elterntiere an Hemiplegia laryngis erkrankt waren. In seinen familienpathologischen Feststellungen bearbeitete SCHÄPER (1939) die Nachkommenschaft des rheinisch – deutschen Kaltbluthengstes „Ottfried“, der im Jahre 1923 geboren wurde und dessen Nachkommen zu 78 Prozent an Hemiplegia laryngis erkrankten.

Die sekundäre Entstehung wird im Zusammenhang mit Vergiftungen oder infektiösen Erkrankungen beschrieben. Dazu gehören Vergiftungen mit Blei, Arsen oder Pflanzen (z. B. Leguminosen) oder aber Druse, Luftsackmykosen, Brust- und Beschälseuche, Katarrh der Atemwege mit Vergrößerungen der Lnn. bifurcationes, Tumore oder bakterielle Gifte wie z.B. Toxine von Streptococcus equi. Ganz selten sind iatrogene Ursachen zu erwähnen, wie z.B. Zerrungen der Halsmuskulatur durch zu starkes Strecken des Kopfes bei Operationen in der Rückenlage oder die Durchtrennung der Nerven intraoperationem (VERTER et al. 1999).

Das wichtigste Symptom bei der klinischen Untersuchung auf Hemiplegia laryngis ist ein hörbares, inspiratorisches, laryngeales Stenosegeräusch während der Bewegung. Die Untersuchung des Pferdes sollte gemäß den früheren forensischen Regeln im Ruhezustand, während einer Belastung und nach der Belastung auf einen hörbaren, inspiratorischen Ton erfolgen. Wenn nicht bei der ersten Untersuchung schon eindeutige Ergebnisse vorlagen, musste die Untersuchung an drei aufeinander folgenden Tagen wiederholt werden um den früheren Hauptmangel Kehlkopfpfeifen ausschließen zu können. Hierbei war darauf zu achten, dass das Pferd durch versammeltes Reiten oder durch abwechselndes Longieren auf der rechten und auch auf der linken Hand mit zum Außenkreis ausgebundenem Kopf bis zur angestregten Atmung bewegt wurde. Die Pferde durften dabei nur soweit ausgebunden werden, dass die Stirn senkrecht zum Boden zeigte, um ein stellungsbedingtes Atemgeräusch zu vermeiden (ZELLER 1973). Dieses Geräusch wird mit der Steigerung der Bewegung z.B.

im Galopp lauter. Je lauter das Stenosegeräusch bei höherer Bewegungsbelastung zu hören ist, desto mehr nehmen auch die Atembeschwerden zu. Die Nüstern werden immer weiter, es entsteht eine inspiratorische Dyspnoe die sich sogar in Erstickungsanfällen äußern kann. Nach der Belastung im Ruhezustand verschwinden die Atemgeräusche und die Dyspnoe sehr schnell (LEUTHOLD 1952, HUTYRA et al. 1958, SIBERSIEPE 1986).

Durch eine palpatorische Untersuchung des Kehlkopfes kann in hochgradigen Fällen von Nervenlähmung eine Atrophie und dadurch bedingte Asymmetrie der dorsalen Kehlkopfmuskulatur der erkrankten Seite nachgewiesen werden. Bei der Palpation und seitlicher Kompression des Larynx mit dem Zeigefinger auf dem oberen Larynxrand empfindet man die betroffene Seite schlaffer und nachgiebiger (MÖLLER 1888 und VENNERHOLM 1907).

Einfacher und sicherer ist die heute übliche endoskopische Untersuchungsmethode die zur objektiven Beurteilung der Kehlkopffunktion immer herangezogen werden sollte. Sie wird je nach Kooperation des Pferdes ohne Zwangsmittel, mit Oberlippenbremse oder mit zusätzlicher Sedierung durchgeführt. ZELLER (1973) ist kein Fall bekannt, in dem eine Hemiplegia laryngis durch eine vorschriftsmäßige Sedierung vorgetäuscht wurde. COOK et al. (1988a u. 1988b) und OHENESORGE et al. (1993) sind der Meinung, dass durch eine Sedierung keine Asymmetrie des Kehlkopfes oder asynchrone Bewegungen der Aryknorpel hervorgerufen werden, da eine systemisch wirksame Substanz beidseitig wirksam ist.

Eine unvollständige linksseitige Kehlkopflähmung erkennt man anfänglich bisweilen nur an einem einwärts gerichteten, leicht bogenförmigen Verlauf des bereits erschlafften, meist gleich am Anfang sich weniger ausgiebig und auch träge bewegenden linken Stimmbandes, zusammen mit einer bereits angedeuteten Asymmetrie der Stimmritze. Bei vollständiger Lähmung zeigt sich der linke Gießkannenknorpel mitsamt dem Stimmband bewegungslos, er zeigt höchstens noch eine geringe ruckartige Bewegung (MAREK u. MOCSY 1951, LEUTHOLD 1952 und HUTYRA 1958).

LANE (1993) hat die endoskopischen Befunde beispielsweise in verschiedene Grade eingeteilt. Diese Einteilung wird auch vor dem Prüfungsausschuss von der Tattersals Versteigerungsfirma Newmarket verwendet.

Grad 1: Alle Bewegungen, Abduktion sowie Adduktion, sind synchron im Stehen und nach Belastung (etwa 10 Minuten).

Grad 2: Alle Hauptbewegungen sind symmetrisch. Abduktion und Adduktion sind uneingeschränkt. Vorübergehende Asynchronität, Flattern und eine verzögerte Abduktion sind sichtbar.

Grad 3: Ständige Asymmetrie, unvollständige Abduktion und eine schwache Slap – Test Reaktion. Mäßige Restmotilität und volle Abduktion möglich.

Grad 4: Deutliche Asymmetrie, unvollständige Abduktion und eine geringe Restmotilität.

Grad 5: Vollständige Hemiplegie: Weder abduktorische noch eine adduktorische Funktion, keine Reaktion auf den Slap – Test.

Grad 3, 4, und 5 werden als klinisch bedeutend gewertet und wenn zusätzlich bei der Belastung ein inspiratorisches Geräusch hörbar ist, wird das Pferd dem Verkäufer zurückgegeben. Mitglieder des Prüfungsausschusses werden einmal im Jahr auf ihr Hörvermögen geprüft.

GREET et al. (1980) beschreiben erstmals die Beurteilung der Kehlkopfadduktion mit Hilfe des Slap – Testes im Zusammenhang mit Fällen der spinalen Ataxie. Der Slap – Test ist ein Schlag auf den Sattellagenbereich hinter dem Widerrist und löst einen cervico – laryngealen Reflex aus. Er führt zum Aufsteigen des Reizes durch die kranialen Brustkorbsegmente und weiter über die cervikalen Spinalbahnen bis zur Medulla oblongata. Von hier erfolgt der Abstieg durch den Nervus vagus und folgend durch den Nervus laryngeus recurrens bis zum Kehlkopf, wo er zu einer reflektorischen Bewegung und zu einer maximalen Adduktion des contralateralen Aryknorpels führt. Auch eine Sedierung mit Acepromazin, welche intramuskulär oder wahlweise intravenös in einer Dosierung von 0,05mg/kg Körpergewicht verabreicht wird, beeinflusst den Reflex nicht. Die Schlagstärke variiert von Pferd zu Pferd

und muss individuell ausprobiert werden. Bei einem zu starken Schlag zeigt das Pferd simultan beiderseits eine Adduktion der Aryknorpel, während bei einem zu schwachen Schlag keinerlei Bewegung registriert werden kann.

Eine andere Untersuchungsmethode ist die Elektromyographie, mit der Ruhepotentiale und Höhe sowie Frequenzen von Muskelaktionspotentialen extrazellulär abgeleitet und registriert werden können. Hierbei wird eine Potentialdifferenz zwischen der Erdungselektrode und einer in der Muskulatur platzierten Messelektrode aufgezeichnet. Eine Durchführung ist sowohl an anästhesierten Pferden (GOULDEN et al. 1976) als auch während einer Operation in Vollnarkose (DUCHARME et al. 1989 a, b, c) möglich.

Das physiologische Elektromyogramm der Kehlkopfmuskeln verdeutlicht, dass das Einsetzen der Muskeldepolarisation des Musculus cricoarytaenoideus dorsalis gefolgt von einer Kontraktion simultan mit der Inspiration erfolgt. Eine Depolarisation beispielsweise des Musculus arytaenoideus transversus hingegen setzt mit Beginn der Expiration ein (GOULDEN et al. 1976, DUNCAN u. BAKER 1987).

Das Elektromyogramm ist ein diagnostisches Hilfsmittel, um z.B. Probleme am Musculus cricoarytaenoideus dorsalis frühzeitig zu erkennen. Ein vermindertes Einsetzen der Aktivität wird auf eine reduzierte Anzahl von gesunden Muskelfasern und damit auf eine Membranstabilität zurückgeführt (KIMURA 1983).

Um eine Denervation und die darauf erfolgte operative Reinnervation objektiv beurteilen zu können, benutzten TUCKER et al. (1970) und HENGERER u. TUCKER (1973) die Elektromyographie.

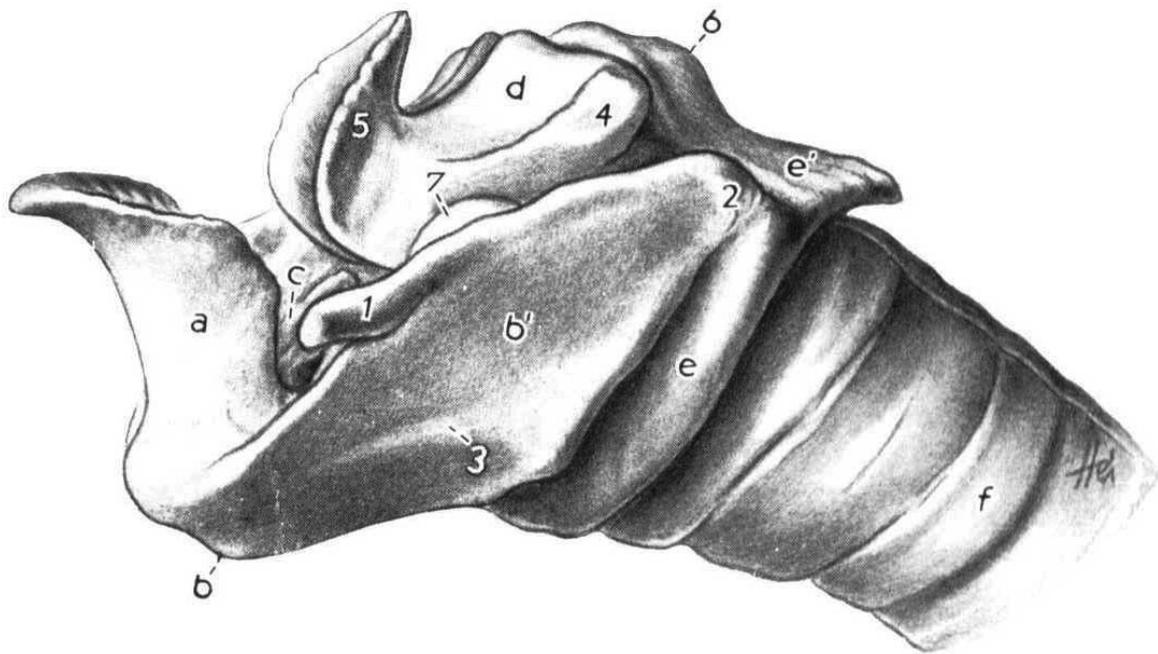
DUCHARME et al. (1989 a) benutzten die Elektromyographie um zeigen zu können, dass beim Pferd der Schulter – Zungenbeinmuskel, Musculus omohyoideus und der Brustbein – Schildknorpelmuskel, Musculus sternothyreoideus bei forcierter Einatmung in Vollnarkose, hervorgerufen durch einen CO<sub>2</sub> – Anstieg, synchron mit dem Musculus cricoarytaenoideus dorsalis kontrahieren.

## 2.2. Anatomische Verhältnisse des Kehlkopfes

Der Kehlkopf stellt einen verschließbaren Eingang zu den nachfolgenden Atemwegen dar. Seine Schutzfunktion wird beim Ablauf des Schluckaktes deutlich. Zur Erzeugung von Tönen enthält er den Stimmapparat. Er liegt im Kehlgang am Halsanfang, ventral des kaudalen Schlundkopfabchnitts und der Speiseröhre.

Der Kehlkopf besteht aus einem knorpeligen Skelett und beinhaltet den Schildknorpel, den Ringknorpel, die paarigen Gießkannenknorpel und den Kehldeckel (Abb. 1). Die Bestandteile des Kehlkopfes sind durch Bänder mit sich, mit dem Zungenbein und der Luftröhre verbunden (Abb. 2). Die Bewegung der Kehlkopfknorpel erfolgt durch quergestreifte Muskulatur, wobei die Knorpel so gegeneinander verschoben werden, dass es zur Erweiterung und Verengung der Stimmritze (*Rima glottidis*) kommt (Abb. 3). Zugleich verändern sich auch die Lage, die Dicke und die Spannung der Stimmfalten. Der *Musculus cricoarytaenoideus dorsalis* funktioniert als Stimmritzenerweiterer, indem er den *Processus vocalis* des Aryknorpels nach lateral anhebt. Als Stimmritzenverenger funktionieren der *Musculus cricoarytaenoideus lateralis*, der eine Annäherung der Aryknorpel und eine Erschlaffung der Stimmfalte bewirkt, der *Musculus vocalis*, der *Musculus ventricularis* und der *Musculus cricothyreoideus*. Der *Musculus arytaenoideus transversus* funktioniert sowohl als Stimmritzenverenger wie auch als Stimmritzenerweiterer, den *Musculus cricoarytaenoideus dorsalis* unterstützend (NICKEL et al. 1987).

Die Innervation des Kehlkopfes erfolgt durch Nervenäste des Nervus vagus. Der Halsteil des Nervus vagus verbindet sich nach dem Abgang des Nervus laryngeus cranialis, welcher den *Musculus cricothyreoideus* innerviert, mit dem Nervus sympathicus zum Truncus vagosympathicus. Er zieht am dorsomedialen Rand der Arteria carotis communis zum Brusthöhleneingang. Dort trennen sich die beiden Nerven voneinander. Vom Brustteil des Nervus vagus geht der Nervus laryngeus recurrens an der rechten Seite dicht kaudal von der Ansa subclavia ab und schlägt sich um den Truncus costocervicalis. Danach verläuft er an der ventrolateralen Fläche des Truncus bicaroticus, der Trachea und ventral von der Arteria carotis communis erneut kopfwärts. Auf der linken Seite zweigt der Nervus laryngeus recurrens erst über der Herzbasis vom Vagusstamm ab. Hier verläuft er, medial von den großen Arterienstämmen zum Brusteingang um das Ligamentum arteriosum und die Aorta herum. Von hier aus zieht er, wie auf der rechten Seite, an der ventrolateralen Fläche der Arteria carotis communis wieder kopfwärts. Am Kehlkopf angekommen, innervieren die

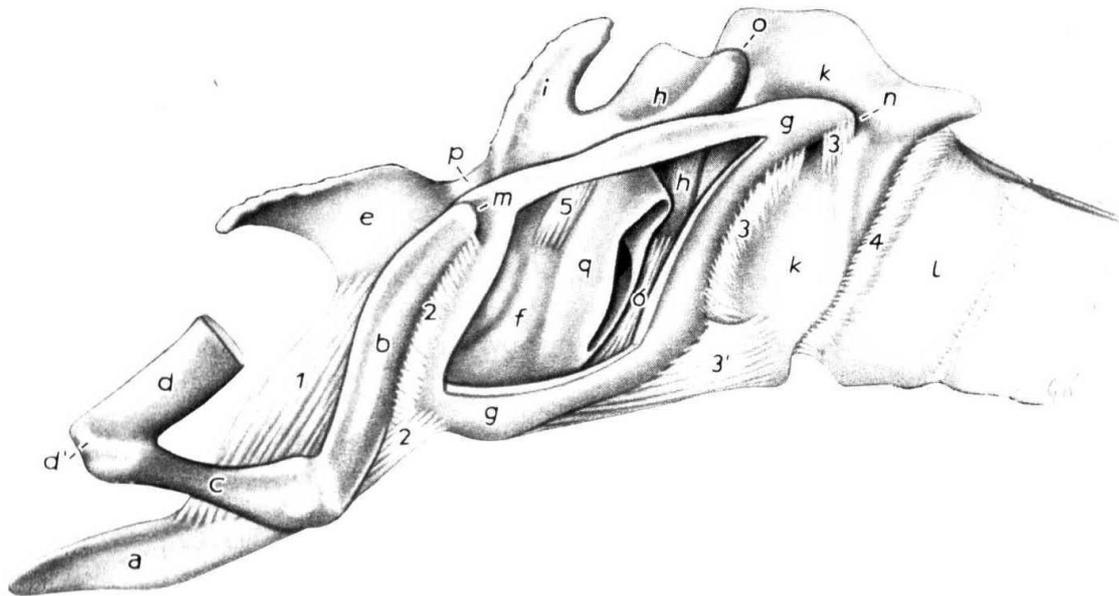


a Cartilago epiglottica; b Cartilago thyreoidea, b' Lamina; c rechter Proc. cuneiformis; d linke Cartilago aryaenoidea; e Cartilago cricoidea, Arcus, e' Lamina; f Trachea

1 Cornu rostrale, 2 Cornu caudale, 3 Linea obliqua der Cartilago aryaenoidea; 4 Proc. muscularis der Cartilago aryaenoidea; 5 Proc. corniculatus; 6 Crista mediana der Cartilago cricoidea; 7 Ventriculus laryngis

Abb. 1

Kehlkopfknorpel eines Pferdes. Linke Seitenansicht (nach Abb. 403. NICKEL et al. 1987).

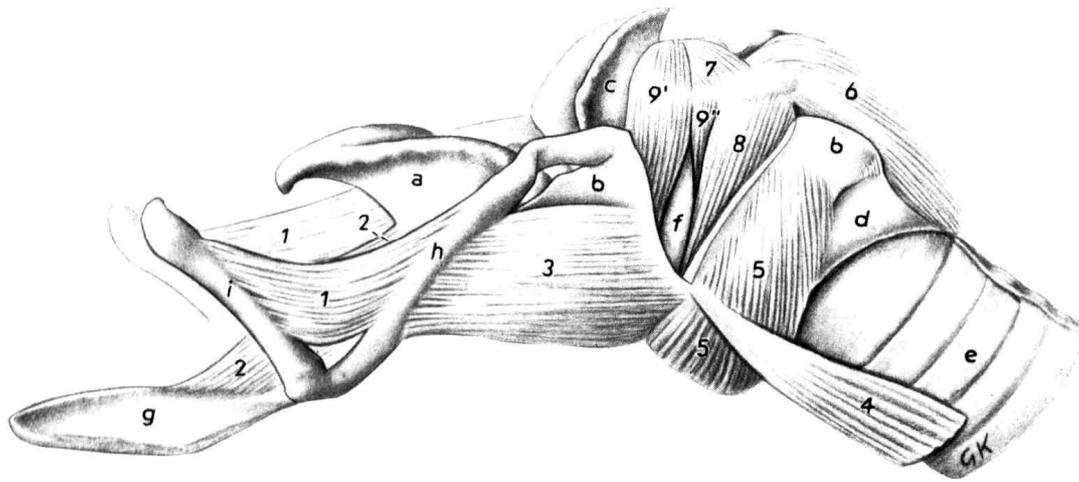


a – d am Os hyoideum: a Proc. lingualis, b Thyreohyoideum, c Ceratohyoideum, d Stylohyoideum, d' mit diesem verwachsenes Epihyoideum; e Cartilago epiglottica; f Proc. cuneiformis; g Cartilago thyreoidea, Platte (gefenstert); h Cartilago arytaenoidea; i Proc. corniculatus; k Cartilago cricoidea; l 1. Knorpelspange der Trachea; m Art. thyreohyoidea; n Art. cricothyreoidea; o Art. cricoarytaenoidea; p Plica aryepiglottica; q Ventriculus larynges (geöffnet)

1 Lig. hyoepiglotticum; 2 Membrana thyreohyoidea; 3, 3' Lig. cricothyreoidea; 4 Lig. cricotracheale; 5 Lig. vestibulare; 6 Lig. vocale

## Abb. 2

Bänder des Kehlkopfs eines Pferdes. Linke Seitenansicht (nach Abb. 404. NICKEL et al. 1987).



a – d am Kehlkopf: a Cartilago epiglottica; b Cartilago thyreoidea; c Proc. corniculatus, d Cartilago cricoidea; e Trachea; f Ventriculus laryngis; g – i am Zungenbein: g Basihyoideum, Proc. lingualis, h Thyreohyoideum, i Ceratohyoideum

1 M. ceratohyoideus; 2 M. hyoepiglotticus; 3 M. thyreohyoideus; 4 M. sternothyreoideus; 5 M. cricothyreoideus; 6 M. cricoarytaenoideus dors.; 7 M. arytaenoideus transv.; 8 M. cricoarytaenoideus lat.; 9' M. ventricularis; 9'' M. vocalis

Abb. 3

Kehlkopfmuskeln eines Pferdes. Linke Seitenansicht.

(nach Abb. 405. NICKEL et al. 1987)

Nervi laryngei recurrentes die Kehlkopfmuskulatur mit Ausnahme des Musculus cricothyreoideus (NICKEL et al. 1984).

Bei einem Längenvergleich peripherer Nerven wird klar, dass die Nervi laryngei recurrentes die längsten peripheren Nerven des Pferdes sind (DUNCAN und GRIFFITHS 1973), wobei der linke Nervus laryngeus recurrens im Durchschnitt noch einmal etwa 21,6 cm länger ist als der rechte (COLE 1946).

DUNCAN et al. (1991b) zeigen, dass die zu den Adduktoren abgehenden Äste des Nervus laryngeus recurrens etwa 5 bis 7 cm länger sind als die der Abduktoren. Dadurch sind sie noch empfänglicher für eine Axonopathie.

### **2.3. Operative Behandlung der Hemiplegia laryngis sinistra**

Eine Behandlung der Hemiplegia laryngis sinistra kann nur auf chirurgischem Wege erfolgen. Eine Operation ist notwendig bei Sportpferden, die durch die deutlich größeren Belastungen eine ungehinderte Atemwegspassage benötigen und bei Pferden mit beidseitiger Lähmung, da hier die Atmung ebenfalls deutlich beeinträchtigt wird. Durch die bis heute gängigen Operationsmethoden ist nur eine funktionelle Anpassung möglich.

Das Ziel der Arytenoidektomie ist die Erhöhung des Durchmessers des Rima glottidis und die Erniedrigung des Luftwiderstandes im Atemweg. Die Operation muss so erfolgen, dass sämtliche den Atemluftstrom behindernde, in den Atemweg hereinhängende Bestandteile des Aryknorpels entfernt werden. Am häufigsten wird dieser Eingriff nach misslungenen Laryngoplastiken durchgeführt. Weitere Identifikationen sind zum Beispiel Chondritis, Chondroma, laryngeale Ossifikation oder andere Entartungen und Verletzungen des Aryknorpels. Drei verschiedene Arytenoidektomietechniken sind in der Literatur beschrieben.

1. Die subtotale Arytenoidektomie beinhaltet die Entfernung des Arytenoidkörpers. Hier ist eine Luftpassage ohne Behinderungen nicht gewährleistet (SPEIRS 1987).

2. Die partielle Arytenoidektomie beinhaltet die Entfernung des Arytenoidkörpers und des Processus corniculatus. Hier sollte parallel auch eine Stimmtaschenextirpation erfolgen. Die Kontrollmessung der Luftpassage ist hier beinahe ohne Behinderungen möglich (HAYNES et al. 1984).

3. Die totale Arytenoidektomie beschreibt die operative Entfernung des Aryknorpelkörpers, des Processus muscularis und des Processus corniculatus. Bei dieser Methode ist die Gefahr einer Dysphagie und dadurch die sekundäre Entstehung einer Aspirationspneumonie am größten (TETENS et al. 2001).

SPEIRS (1987) beschreibt die operative Entfernung des Aryknorpels wie folgt: Das Pferd wird in Vollnarkose mit gestreckter Kopf – Halsstellung in Rückenlage verbracht. Der Operationszugang ist ventromedian mit Eröffnung des Kehlkopfes. Dies erfolgt durch die Durchtrennung des Ligamentum cricothyreoideum. Soviel Schleimhaut wie möglich wird nun von dem Arytenoidknorpel abpräpariert. Sollte das Pferd bereits am Kehlkopf mit einer Ventrikulektomie operiert worden sein, muss die mögliche Verklebung zwischen dem Thyroid- und Arytenoidknorpel gelöst werden. Ebenfalls erfolgt eine Durchtrennung des Stimmbandes. Jetzt wird der Aryknorpel freipräpariert und mit oder ohne Processus muscularis entfernt. Die überflüssige Schleimhaut wird ebenfalls entfernt. Die Wunde wird mit absorbierbarem Nahtmaterial verschlossen. Die Laryngotomiewunde und die Haut werden nicht verschlossen, da dadurch ein besserer Abfluss für Wundsekrete gewährleistet ist.

Die Stimmtaschenextirpation erfolgt auch heute noch nach GÜNTHER (1866) und WILLIAMS (1907):

Der Zugang ist ventromedian mit Eröffnung des Kehlkopfes. Das Pferd wird mit gestreckter Kopf – Halshaltung in Rückenlage verbracht. Der Hautschnitt verläuft ventral am Hals in der Medianen vom rostralen Ende des Ringknorpels zum rostralen Ende der Incissura thyroidea caudalis. Als Orientierungshilfe dient eine Hilfslinie, die die beiden Kaudalränder der Mandibula verbindet. Diese Linie verläuft quer über die Incissura thyroidea caudalis. Danach wird das bindegewebige Septum zwischen den paarigen Mm. sternohyoidei freigelegt. Nach dessen Durchtrennung wird das Ligamentum cricothyreoideum sichtbar. Dieses wird zusammen mit der innen anliegenden Kehlkopfschleimhaut durch eine Stichinzision und Längsdurchtrennung eröffnet. Jetzt sind die Stimmtaschen und Aryknorpel erreichbar. Ist der verwendete Tubus größer, ist er zur Lokalisation der Stimmtasche und zu ihrer Resektion zu

entfernen. Am Eingang der Stimmtasche erfolgt die elliptische Umschneidung der Schleimhaut. Der Zeigefinger wird kranial des Stimmbandes eingeführt und durch laterale und ventrale Drehung in Richtung auf die Ohrbasis in den Ventrikel eingeführt. Der Mukosaextraktor oder eine Gefäßklemme wird nun so tief wie möglich in die Stimmtasche eingeschoben und die Schleimhaut an der tiefsten Stelle gefasst. Sobald die Gefäßklemme oder der Extraktor genügend Schleimhaut gefasst hat, wird sie sorgfältig hervorgezogen und die Schleimhaut der Stimmtasche ausgestülpt. Unter Zug wird die Stimmtasche voll ausgestülpt und mit einer Schere so nahe wie möglich an der Basis ohne Verletzung des Knorpels abgetrennt (WISSDORF et al. 1998). Nach Entfernen der Schleimhaut aus den seitlichen Kehlkopftaschen und Vernähen der Schnittkanten mit einem z.B. Vicryl 3 metric Faden, kommt es durch Narbenbildung sekundär zu einer Fixation der flatternden Stimmlippe und so zur Beseitigung des Hindernisses aus dem Atemweg. Die Laryngotomiewunde ventral des Halses wird nicht durch eine Naht verschlossen sondern offengelassen, da die Schleimhaut des Respirationstraktes nicht aseptisch vorbereitet werden kann und somit immer mit starker Wundexsudation gerechnet werden muss. Laryngotomiewunden verheilen sekundär (McILLWRAITH, TURNER 1998).

Eine Ventrikulektomie ist weder in der Lage den Aryknorpel zu abduzieren noch ihn zu immobilisieren Sie verhindert die Beweglichkeit des Stimmbandes und dreht den Aryknorpel ganz leicht nach oben (HEIDE 1913). Der Effekt dieser Operation liegt wohl darin, dass die Stimmtaschen nicht mehr in der Lage sind, sich bei der Atmung mit Luft zu füllen und dadurch den Atemweg zusätzlich zu behindern (SPEIRS 1987). Diese Operationstechnik eignet sich am besten für Freizeitpferde, bei denen keine außergewöhnlichen Belastungen zu erwarten sind (SPEIRS 1987). Misserfolge haben ihre Ursache meistens in der methodisch bedingten, ungenügenden seitlichen Feststellung des Aryknorpels und in seinem progredienten Absinken auch nach der Operation (HUSKAMP 1980).

Die am häufigsten vorgeschlagene Behandlungsart für eine Korrektur von der linksseitigen Hemiplegia laryngis ist eine Laryngoplastik. Ziel dieser Operation ist die Fixation des Aryknorpels in einer abduktorischen Stellung und die Straffung des Stimmbandes. Um einen besseren Operationserfolg zu erreichen, wird zusätzlich eine einseitige oder beidseitige Ventrikulektomie durchgeführt. Hierbei wird die Schleimhaut aus den Stimmtaschen entfernt und die Abheilung erfolgt unter Narbenzug. Die Laryngoplastik – Technik, welche heute

durchgeführt wird, gleicht der in den 70er Jahren ursprünglich beschriebenen Technik von MARKS et al. (1970).

1968 berichteten MACKEY – SMITH und MARKS erstmals über eine neue Operationsmethode, die sie zur Behandlung von Kehlkopf Pfeifen entwickelt hatten. Sie legten eine Verbindung aus einer synthetischen, elastischen Ligatur (Licra) zwischen Aryknorpel und dem Krikoid. Diese elastische Ligatur sollte als Prothese dienen und die Funktion des gelähmten Musculus cricoarytaenoideus dorsalis und lateralis übernehmen. Nach der Befestigung der Ligatur wurde außerdem eine einseitige Ventrikelektomie durchgeführt. Die ersten Ergebnisse der ziemlich komplizierten Operation wurden 1970 veröffentlicht.

Der Patient wird in Seitenlage, mit dem gelähmten Stimmband nach oben, auf dem Operationstisch gelagert. Anschließend wird das Pferd in Inhalationsnarkose versetzt. Nachdem die Ganaschenregion rasiert und chirurgisch vorbereitet wurde, wird ein Hautschnitt von etwa 10 cm unterhalb der Vena linguofacialis auf der Höhe des Larynx durchgeführt. Die Fascia transversa wird ebenfalls durchschnitten. Die laterale Fläche des Larynx wird stumpf freipräpariert. Der Processus muscularis des Aryknorpels wird unter Fingerkontrolle von medial nach lateral mit einer spitzen Dechamps – Nadel durchstoßen. Das doppelfädige Dexon Nr. 2 oder das chromierte Catgut Nr. 5 wird mit dieser Nadel durch den Processus muscularis gezogen. In gleicher Weise werden die Fäden unter den gelähmten Muskel gezogen. Der Kaudalrand des Krikoids wird in etwa 2 cm Entfernung zur dorsalen Medianlinie mit der Dechamps – Nadel von medial nach lateral durchstoßen. Wichtig ist, dass dabei die Mukosa des Larynx nicht perforiert wird. Wenn die Ligaturfäden durch den Hinterrand des Krikoids gezogen sind, werden die beiden Ligaturen mit Hilfe eines Nadelhalters verknotet.

Die Spannung auf der Ligatur sollte durch die laryngoskopische Kontrolle der Verlagerung des Aryknorpels nach lateral überprüft werden.

Manche Untersucher (TETENS et al. 2001) stellten fest, dass eine abduktorische Korrektur von 60 bis maximal 70 % als optimal anzusehen ist. Der stabilisierende Effekt dieser Operation ist viel wichtiger, als der Grad der Abduktion.

In der Wundhöhle wird ein Vakuumsaugdrain für drei Tage belassen. Faszie und Subkutis werden mit fortlaufender Naht, beides mit Dexon Nr. 1, verschlossen, die Haut mit Knopfnähten (NEMETH 1987).

Die Operationsmöglichkeiten, welche bei dieser Technik in Europa angewendet werden sind vielfältig. Die Art des Implantates variiert gemäß LANE (2001) von Stahl (Schottland), synthetischem absorbierbarem Nahtmaterial und Catgut (Holland) bis hin zu Kombinationen von multifilamentem Nylon und Lycra (Deutschland) und monofilem Nylon (England). Die Zahl der Implantate variiert zwischen eins und zwei. Die Stärke des Nahtmaterials ist meistens 4 oder 5 metric. Der Zugang zum Processus muscularis wird entweder lateral zwischen den Mm. crico- und thyreopharyngius oder kaudal durch Verlagerung des Musculus cricopharyngius in rostraler Richtung durchgeführt. Im weiteren wird unterschieden zwischen der laryngealen Prothese alleine und einer Prothese im Zusammenhang mit der Ventrikulektomie. Hierbei wird zusätzlich zu der Laryngoplastik eine einseitige oder beidseitige Ventrikulektomie durchgeführt (LANE 2001). Auch NEMETH (1987) vergleicht die Operationserfolgsraten zwischen der Laryngoplastik mit einer einseitigen Ventrikulektomie und der Laryngoplastik mit der beidseitigen Ventrikulektomie, wobei die Ergebnisse bei der beiderseitigen Ventrikulektomie statistisch um 15 bis 20 Prozent besser sind. Das Festwachsen des Stimmbandes nach der Ventrikulektomie erschwert die Prothesenwirkung der elastischen Ligatur. Das ist der Grund warum SPEIRS (1972) nur das Anlegen einer Prothese ohne Ventrikulektomie genügte.

Verschiedene Untersuchungen zeigen, dass die Kombination zwischen der Prothese und der Ventrikulektomie, in Hinsicht auf nachfolgende Arbeitserfolge der Patienten, keine Vorteile bringen. Aber Pferde, bei welchen nur eine Prothese implantiert wurde, zeigen häufiger ein Persistieren des abnormalen Atemgeräusches während der Arbeit (LANE 2001).

Für die Kombination von Laryngoplastik und Ventrikulektomie wird eine Erfolgsrate von etwa 60 Prozent (EDWARDS 1999) bis 77 Prozent (HUSKAMP und BÖCKENHOFF 1978) angegeben.

Neben der unsicheren Prognose bei den beschriebenen operativen Therapiemöglichkeiten der Hemiplegia laryngis ist auch das häufige Auftreten von Komplikationen nachteilig die zum einen intraoperativ oder aber postoperativ auftreten können. Die größere Bedeutung haben die Komplikationen, die sich erst im weiteren Verlauf als chronische Komplikationen einstellen. Hinsichtlich der Verwendungsfähigkeit der Pferde ist dabei besonders das Auftreten einer Aspirationsbronchitis, bedingt durch Husten und Dysphagie, nach Laryngoplastik zu nennen (GREET et al. 1979; HUSKAMP 1980; STICK et al. 1999; STRAND et al. 2000).

Als Ursache für diese Dysfunktion wird neben einer Überkorrektur eine funktionelle Störung der Pharynxfunktion angenommen (GREET et al. 1979; HUSKAMP 1980).

Für die Ausräumung der seitlichen Kehlkopftaschen durch die transendoskopische Elektro- oder Laserchirurgie wird der Zugang zum Kehlkopf über den ventralen Nasengang gewählt. Hierbei wird das Stimmband, die Stimmtaschenschleimhaut und zum Teil der Musculus vocalis koaguliert (OHNESORGE et al. 1994). Die Autoren konnten mit dieser Technik eine Verbesserung des Leistungsvermögens und eine Verringerung des Atemgeräusches erzielen.

Der operative Eingriff wird in Vollnarkose in rechter Seitenlage durchgeführt. Das Endoskop wird über den rechten ventralen Nasengang bis vor die Epiglottis eingeführt. Für den operativen Eingriff wird ein Nd – YAG Laser benötigt. Die Laserfaser wird über den Arbeitskanal des Endoskops ein Zentimeter weit vor die Optik geführt, um gezielt unter Sicht im Kontaktverfahren die Teilresektion des Stimmbandes durchzuführen. Die Resektion der Plica und des Musculus vocalis erfolgt gemäß eines Rechteckschemas, beginnend am freien Rand des Stimmbandes, wobei die Schnittrichtung von medial nach lateral und von posterior nach anterior erfolgt. Die Resektion wird bis in den Stimmbandmuskel hinein und nach lateral bis zur Stimmtasche vollzogen. Bei einer vollständigen Kehlkopflähmung wird die Schleimhaut des Ventrikels entfernt und der Musculus ventrikularis inzidiert. Im Bereich des dorsalen Stimmbandwinkels wird zwischen dem Aryknorpel und dem Schildknorpel die Laserfaser interstitiell eingestochen, um eine vollständige narbige Retraktion des verbliebenen Gewebes nach dorso – lateral während der Abheilungsphase zu erzielen (RÖCKEN et al. 1995).

8 bis 12 Wochen postoperativ wurden die Patienten nochmals endoskopisch untersucht. Die ursprünglich vorhandene Beeinträchtigung der physischen Leistungsfähigkeit konnte weder zu diesem Zeitpunkt, noch bei der Erhebung der Langzeitresultate, bis zu einem Jahr post operativ, nachgewiesen werden (RÖCKEN et al. 1995).

Allerdings ist die Bewertung des Operationserfolges für alle oben aufgeführten Methoden von der Definition „Erfolg“, vom betrachteten Patientengut, vom Zeitpunkt der Kontrolluntersuchung und von der Nutzungsart der Patienten abhängig, so dass sich erhebliche Unterschiede in der Bewertung ergeben (STICK et al. 1999).

## **2.4. Verschiedene Methoden der Nerven­transplantation zur Behebung**

### **der Hemiplegia laryngis**

Schon 1916 sagte STEINDLER, dass eine denervierte Muskulatur durch fremde Nerven reaktiviert werden kann. Die Implantation eines Nervs in einen Muskel führt gemäß ELSBERG (1917) nicht zur Addition der Nervenimpulse. Von einem denervierten Muskel geht ein starker Stimulus zur Reinnervation aus (STEINDLER 1916; GUTMANN und YOUNG 1944, ROSSI und CORTESINA 1965). Ist der Nerv eines Muskels geschädigt kann eine Kombination aus einer Reinnervation des Muskels durch den eigenen und zusätzlich durch einen fremden Nerven erfolgen (GUTH 1962).

Die Wahl des geeigneten Donornerven muss nach festgelegten Kriterien erfolgen. Der zu verpflanzende Nervenast muss nahezu konstant im Operationsgebiet liegen, das heißt es dürfen nur geringe individuelle anatomische Variationen vorliegen. Er muss einfach zu identifizieren und über die benötigte Länge zu präparieren sein, erst dann lässt er sich anatomisch – chirurgisch als geeignet bezeichnen (TUCKER 1982). Die Funktionsausfälle in seinem primären Innervationsgebiet dürfen keine schwerwiegenden Folgen für den Patienten hervorrufen (APPLEBAUM 1979). Um einen Muskel zu reinnervieren, sollte der Donornerv einen möglichst hohen Anteil an motorischen Fasern enthalten (HARRISON et al. 1992b).

Bei der Nerven­transplantation zur Behebung der Hemiplegia laryngis muss ein geeigneter Nerv gefunden werden, so dass die Funktion des Kehlkopfes wiederhergestellt ist. Die Literaturrecherche von GORRIS (2002) über die operative Nerven­verpflanzung bei der Hemiplegia laryngis sinistra des Pferdes hat die gleichen Zielsetzungen und operativen Voraussetzungen ergeben.

*a) Die Verpflanzung des Nervus laryngeus recurrens sinister zur Anastomose mit dem Nervus vagus nach TAGG (1935) beim Pferd:*

TAGG (1935) versuchte den Nervus vagus als Donor zu nutzen. Gemäß KOCH und BERG (1993) ist dieser Nerv kaum präparabel. Eine Abgrenzung aufgrund der Durchflechtung mit den eng anliegenden sympathischen Plexusfasern im Halsteil ist nicht eindeutig vorzunehmen.

Die Lagerung des Patienten erfolgt auf der rechten Seite. Nach der chirurgischen Vorbereitung des Operationsfeldes erfolgt der Hautschnitt in der linken Fossa jugularis etwa in der Mitte. Hier wird ein etwa 10 cm langer Hautschnitt parallel der Vena jugularis und oberhalb des Musculus sternomandibularis angelegt. Zuerst wird der Nervus vagus, welcher der Arteria carotis anliegt, stumpf mit dem Skalpellgriff präpariert. Als nächstes wird der Nervus laryngeus recurrens, der dem Ösophagus anliegt, freigelegt. Die Präparation und Weiterverfolgung des Nervus laryngeus recurrens sollten soweit wie möglich in beide Insertionsrichtungen erfolgen. Hier wird der Nerv durchtrennt und soweit freigelegt bis er dem Nervus vagus anliegt. Jetzt wird der Nervenstrang des Nervus vagus eröffnet und der Nervus laryngeus recurrens sinistra hineingelegt und mit Catgutnahtmaterial mit Einzelheften fixiert. Die Muskulatur und die Haut werden chirurgisch verschlossen und die Wunde mit Gaze und Bandage abgedeckt.

Sollte der Musculus cricoarytaenoideus dorsalis noch nicht komplett atrophiert sein und noch Muskelzellen enthalten, dauert eine Heilung höchstens etwa sechs Monate.

*b) Verpflanzung des Nervus phrenicus nach TAGGERT (1971) beim Hund:*

Die inspiratorische Phase des Nervus phrenicus macht ihn theoretisch ideal für den Transfer auf den Musculus cricothyreoideus dorsalis. Die elektrischen Aktivitäten des Nervus phrenicus und des Nervus laryngeus recurrens sind während der tiefen Einatmung identisch (GREEN und NEIL 1955; NAKAMURA et al. 1958 und IWAMURA 1974).

Zu Versuchszwecken wird bei einem Probanden eine halbseitige Kehlkopflähmung durch die Durchtrennung des linken Nervus vagus erreicht. Dazu wird ein etwa 2,5 cm langer, seitlich der Medianen liegender Schnitt auf Höhe des Kehlkopfes angelegt. Der linke Nervus vagus wird aus der Carotisscheide herausgelöst und ein etwa 5 cm langes Stück herausgetrennt. Die Nervenendigungen werden kauterisiert, umgeschlagen und anschließend ligiert.

Bei der endoskopischen Kontrolle kann die linksseitige Lähmung festgestellt werden. Jetzt werden die straffen Halsmuskeln zurückgezogen und der Nervus phrenicus bei seinem Austritt aus dem Spinalstrang identifiziert. Mit einem Operationsmikroskop wird der untere Strang des Nerves identifiziert, freipräpariert und durchtrennt. Die oberen Ursprungsäste des Nervus phrenicus werden zurück in die Tiefe der Karotisscheide verbracht. Der Kehlkopf

wird jetzt mobilisiert, herausgedreht und die konstriktorischen Muskeln an ihrem Ansatz durchtrennt. Jetzt ist der Musculus cricoarytaenoideus dorsalis freigelegt. Um den Muskel testen zu können wird durch Stimulation die Abduktion des Stimmbandes beobachtet.

In den Musculus cricoarytaenoideus dorsalis wird jetzt eine kleine Tasche geschnitten und das Ende des Nervus phrenicus implantiert. Die umgebende Muskulatur und das Perineurium werden mit einem Seidenfaden 8 – 0 adaptiert und das Transplantat auf diese Weise fixiert. Anschließend werden die konstriktorischen Muskeln und die Hautwunde genäht.

FEX (1970) gelang die Reinnervation des Musculus cricoarytaenoideus dorsalis mit der Transplantation des Nervus phrenicus bei 8 von 23 Katzen.

Gleiches gelang MORLEDGE et al. (1973) bei 9 von 12 Hunden. Der Erfolg nach der Operation hat sich etwa 9 Monate später eingestellt. Der Misserfolg der Operation bei den anderen Hunden hing mit der Loslösung des Implantates aus dem Muskelbauch zusammen.

*c) Verpflanzung eines Nervenastes der Ansa hypoglossi nach TUCKER (1976) beim Menschen:*

TUCKER (1978) operierte 45 Menschen mit beidseitiger Kehlkopflähmung. Er benutzte die Ansa hypoglossi als Donor, weil dieser Nervenast kein Ast des Nervus vagus ist jedoch spontan Aktionspotentiale bei der Inspiration abgibt. Aus dieser Operationsmethode resultiert kein Verlust der menschlichen Stimme.

Der Kopf des Patienten wird seitlich plaziert. Eine Tracheotomie wird bei dieser Operation immer vorsorglich durchgeführt. Der Hautschnitt erfolgt an der linken Halsseite schräg bis zum Musculus sternocleidomastoideus. Danach werden das Unterhautgewebe und der Musculus platysma durchtrennt. Jetzt wird der Musculus sternocleidomastoideus vorsichtig abpräpariert und mit einem Wundhaken beiseite gezogen. Dies erlaubt die Identifizierung des Musculus omohyoideus und der lateralen Fläche der Vena jugularis. Der hinterer Nervenast der Ansa hypoglossi wird bei seinem Verlauf über der Vena jugularis aufgesucht. Nachdem der Nervenast mit dem ihn immer begleitenden kleinen Blutgefäß freipräpariert wurde, wird er mit einem Nerventester stimuliert, um eine Kontraktion des Musculus omohyoideus zu

erhalten. Bei fehlender Reizleitung muss ein anderer, besser geeigneter Nervenast gesucht werden. Auch dieser wird erneut stimuliert. Dieser Nervenast wird bis zu seinem Eintritt in die Muskulatur verfolgt und frei präpariert. Hier wird ein etwa 2 bis 3 mm großes Muskelstück herausgelöst. Wird das Muskelstück zu groß gewählt steigt die Gefahr der Fibrosierung.

Um beim Heraustrennen des Muskelstückes leicht Zug ausüben zu können wird jederseits an der Eintrittsstelle des Nerven in den Muskelbauch ein Haltefaden mit 5 – 0 Nylon in der Muskulatur fixiert. Bei der Präparation der Nerven ist auf die versorgenden Gefäße, Vasa nervorum, die auf der Oberfläche des Nerves verlaufen, Obacht zu geben. Auch das die Nerven umgebende Fettgewebe soll erhalten bleiben. In dem herausgelösten Muskelstück ist die Nervenendaufzweigung mit etwa 80 % der motorischen Endplatte enthalten. Er wird zunächst zurückverlagert und in Feuchtigkeit gebettet und geschützt.

Jetzt wird der Schildknorpel aufgesucht und mit einem Wundhaken bis zu 180° hervorgelagert. Der Musculus constrictoris inferior ist dadurch sichtbar und kann entlang seiner Fasern durchtrennt werden. Die Operation wird am freigelegten Musculus cricoarytaenoideus dorsalis weitergeführt. Eine kleine Schnittinzision wird in Länge des Muskeltransplantates quer zum Faserverlauf des Musculus cricoarytaenoideus dorsalis angelegt. Da der Empfängeremuskel nur von einer feinen Faszie bedeckt ist, öffnen sich die Schnittkanten nach dem Quereinschnitt in die Muskulatur von alleine. Hier wird das zu transplantierende Muskelstück mit der motorischen Endplatte und dem zuführenden Nerven hineingelegt. Das Transplantat wird mittels den schon angelegten, und bei Bedarf mit weiteren Nylonheften der Stärke 5 – 0, eingenäht.

Sollte es nicht möglich sein, mit dem Transplantat den Musculus cricoarytaenoideus zu erreichen, oder ist es nur mit Zug auf den Nerven möglich, müssen weitere untere Nervenastäste der Ansa hypoglossi durchtrennt werden.

Am Ende der Operation wird der Kehlkopf in seine Ursprungposition zurückverlagert und nach Einlegen einer Drainage der Musculus sternocleidomastoideus mittels einer Naht verschlossen. Zuletzt wird die Haut genäht.

TUCKER (1978) hat diese Methode während 4 Jahren an 45 Patienten durchgeführt und einen 89 % - igen Erfolg erzielt, wobei bei diesen Patienten wieder eine normale Funktion des Kehlkopfes zu beobachten war.

TAKENOUCI et al. (1967, 1968 und 1971) verwendeten diese Nerv - und Muskelteilchen-transplantationstechnik, die motorische Endplatte beibehaltend, für die Verpflanzung von ganzen Kehlköpfen beim Menschen.

DOYLE et al. (1967 und 1968) verpflanzten erfolgreich den Nervus vagus in den Musculus cricoarytaenoideus dorsalis beim Menschen.

*d) Längsspaltung und anteilige Verpflanzung des Nervus phrenicus nach CRUMLEY (1982) beim Hund:*

CRUMLEY (1982) operierte 14 Hunde, bei denen der Nervus laryngeus recurrens experimentell durchtrennt wurde. Er versuchte die Erkenntnisse aus den Operationstechniken von TAGG (1935) und TAGGERT (1971) zu kombinieren.

Die Operation wird auf der rechten Seite des Tiers durchgeführt. Ein etwa 2,5 cm langes Stück Nervengewebe wird aus dem Nervus laryngeus recurrens entfernt.

Nach Ablauf von drei Monaten nach der Nervendurchtrennung wird ein etwa 15 cm langes Stück des Nervus ansa hypoglossi, der zum Musculus sternothyreoideus (beim Pferd zum Musculus omohyoideus) zieht, proximal und distal ligiert. Das Zwischenstück wird entfernt und soll als Transplantat dienen. Die Ligaturen verbleiben im Körper des Hundes, da sie das Weiterwachsen der Axone verhindern sollen. Das herausgetrennte Stück des Nervus ansa hypoglossi wird in Ringerlaktatlösung gelegt. Es soll später als Leitungsröhre für den Nervus phrenicus zum Musculus cricoarytaenoideus dorsalis dienen.

Der Nervus phrenicus wird durch elektrische Stimulation (Zuckung des Zwerchfells) identifiziert. Unter operationsmikroskopischer Kontrolle wird der Nerv längs gespalten und der mediale Anteil der Fasern proximal am Spaltungsbeginn durchtrennt. Der laterale Anteil versorgt weiterhin das Zwerchfell. Der Anteil des Nervus ansa hypoglossi, der als Transplantat dient, wird mit dem proximalen Ende des gespaltenen Anteils des Nervus phrenicus durch 3 bis 4 Epineuralhefte vernäht. Das andere Ende wird durch den Musculus sternocleidomastoideus gezogen um von oben den Kehlkopf zu erreichen. Hier wird der Nervus laryngeus recurrens identifiziert und der Anteil der zum Musculus cricoarytaenoideus dorsalis führt durchtrennt. An diesem durchtrennten Anteil des Nervus laryngeus recurrens wird das freie Ende des Transplantates angenäht. Sollte der Abduktornerv nicht identifiziert werden können, wird das Ende des Transplantates direkt in den Musculus cricoarytaenoideus dorsalis implantiert. Anschließend wird noch der Nervus laryngeus cranialis durchtrennt und die Operationswunde verschlossen.

Nach dieser Operation erfolgt die Abduktionsphase des Stimmbandes in der Inspiration leicht verzögert. Die Spaltung und Transplantation des Nervus phrenicus konnte sowohl eine Reinnervation im Kehlkopf, wie auch die Erhaltung der Normalfunktion des Zwerchfells erreichen. Der lange Weg der Zwerchfellnervenaxone entlang des freien Implantates des Nervus ansa hypoglossi birgt eine mögliche Gefahr der intraneuralen Fibrosierung der Axone (CRUMLEY 1982).

*e) Verpflanzung des Nervus cervicalis 2 nach DUCHARME et al.( 1989a) beim Pferd:*

DUCHARME et al. (1989a,c) untersuchten 7 Pferde topographisch – anatomisch im Bereich des Kehlkopfes und seiner Umgebung auf der Suche nach möglichen Spendernerven für die Reinnervation des Musculus cricoarytaenoideus dorsalis. Im Ergebnis haben sich zwei Muskeln, der Musculus omohyoideus und der Musculus sternothyrohyoideus, innerviert durch die Nerven Nervus cervicalis 1 und 2, als Spender ergeben. Basierend an dem einfacheren Operationsweg wurde der Nervus cervicalis 2 als Spendernerv bestimmt.

Vier gesunde, klinisch - propädeutisch und auf Blutparameter (Hämatokrit, Gesamteiweiß, Säure – Basenhaushalt und Elektrolytstatus) voruntersuchte Ponys wurden experimentell operiert.

Die Lagerung des Pferdes erfolgt in rechter Seitenlage. Der Kopf und der Hals werden in gestreckter Haltung fixiert. Ein etwa 20 cm langer Hautschnitt wird an der Ventralkante des Musculus brachiocephalicus angebracht. Der Hautschnitt wird zwischen der Ventralfläche der Vena maxillaris und der Ventralkante des Musculus brachiocephalicus ausgedehnt und vertieft. Sowohl die Vene wie auch der Muskel wird mittels Wundhaken aus dem Operationsfeld heraus gelagert. Der ventrale Anteil des Nervus cervicalis 2 wird hier im übersichtlichen Operationsbereich aufgesucht und identifiziert. Er wird bis zu seiner Insertionsstelle dorsomedial in den Musculus omohyoideus freipräpariert. Ein etwa ein Zentimeter großes Muskelstück wird um die Eintrittsstelle des Nerves herausgetrennt. Nun wird entlang und unterhalb der Arteria carotis der Musculus cricoarytaenoideus dorsalis stumpf freipräpariert. Anschließend wird ein zum Muskelfaserverlauf senkrecht verlaufender Schnitt durchgeführt. In diesem Transplantatbett wird das Nerv-Muskelteilchen versenkt und

mit zwei bis vier nichtresorbierbaren 5 – 0 Polypropylen (P Prolene, Ethicon) Einzelheften fixiert. Die Vena maxillaris und der Musculus brachiocephalicus werden reponiert und mit einer fortlaufenden Naht mit Polyglactin 910 2 – 0 Nahtmaterial genäht. Zuletzt wird der Nervus laryngeus recurrens sinistra durchtrennt und ein etwa zwei cm langes Stück Nervengewebe entfernt. Haut und Subcutis werden fortlaufend, ebenfalls mit Polyglactin 910 2 – 0 Nahtmaterial, verschlossen.

*f) End-zu-End - Anastomose des Nervus cervicalis 1 und des Nervus laryngeus recurrens sinistra nach DUCHARME et al. (1989c) beim Pferd:*

In dieser Studie war nach der vorher beschriebenen topographisch – anatomischen Untersuchung der Tiere der zweite mögliche Nerv, der Nervus cervicalis 1, als Spender transplantiert worden.

Es wurden sechs gesunde, und wie oben beschrieben, voruntersuchte Pferde operiert. Auch hier wird eine rechte Seitenlage als Lagerung gewählt. Die linke obere Halsregion auf Höhe des Kehlkopfes wird für den Eingriff chirurgisch vorbereitet. Der Hautschnitt wird unterhalb der Vena lingofacialis angelegt. Mit Hilfe eines Operationsmikroskopes wird der ventrale Anteil des Nervus cervicalis 1 querverlaufend zur Operationswunde identifiziert und bis zur seiner Insertionsstelle in den Musculus omohyoideus verfolgt. An dieser Stelle wird der Nerv durchtrennt.

Der Nervus laryngeus recurrens sinistra wird im caudolateralen Bereich des Schildknorpels aufgesucht. Die Abduktoren und Adduktoren versorgenden Nervenäste werden hier durchtrennt. Der ventraler Ast des Nervus cervicalis 1 und der den Musculus cricoarytaenoideus dorsalis versorgende Nervenast des Nervus laryngeus recurrens sinistra werden mittels einer End-zu-Endanastomose mit 9 – 0 Polypropylen (P Prolene, Ethicon) Nahtmaterial aneinander adaptiert.

Ein etwa 2cm langes Nervengewebestück wird proximal der Anastomose aus dem Nervus laryngeus recurrens sinistra entfernt. Alle zusätzlichen Nervenäste des linken Nervus laryngeus recurrens werden durchtrennt und um eine erneute Innervation zu verhindern mit einem 3 – 0 Polypropylen Faden ligiert. Als letztes wird die Hautwunde mit Einzelheften und 2 – 0 Polyglactin 910 Nahtmaterial verschlossen.

Bei der Kontrolluntersuchung nach 3 beziehungsweise 6 Monaten zeigten die operierten Pferde hinsichtlich der Atemmechanikparameter (inspiratorische Atemwegwiderstände, errechnet aus Atemzugvolumen, Atemströmungsstärke und Interpleuraldruck) keine Verbesserung zu dem anfänglich errechneten Zustand mit Hemiplegia laryngis.

6 Monate postoperativ wurden die 6 experimentell operierten Pferde euthanasiert und der Kehlkopf pathohistologisch untersucht. Der rechtsseitige und der linksseitige Musculus cricoarytaenoideus dorsalis wurden auf Effekte der Reinnervation verglichen. Im Gewicht zeigte der reinnervierte linke Musculus cricoarytaenoideus dorsalis keinen signifikanten Unterschied zu der rechten Seite. Bei der pathohistologischen Untersuchung waren die linksseitigen Muskelfasern ähnlich zu den rechtsseitigen (DUCHARME et al. 1989c).

## **2.5. Indikation für eine Transplantation des N. cervicalis 1**

Jedes Pferd, das während der Belastung eine Atemdysfunktion, bedingt durch eine Hemiplegia laryngis zeigt, ist ein potentieller Kandidat für die Nervenverpflanzung. Die Ausnahme bilden Pferde, die schon einmal als Kehlkopfpfeifer nach den bereits beschriebenen Methoden operiert worden sind. Bei einer nicht erfolgreich durchgeführten Laryngoplastik ist der Spendernerv entweder durchtrennt oder in fibrosiertem Gewebe eingebettet (FULTON et al. 1992).

Das Ziel der Reinnervationsoperation ist es einen Nerven zu verpflanzen, welcher den Musculus cricoarytaenoideus dorsalis während der Einatmungsphase bei Belastung zur Kontraktion bringt. Der Musculus omohyoideus ist sowohl durch den Nervus cervicalis 1 wie auch durch den Nervus cervicalis 2 und Nervus cervicalis 3 innerviert (WISSDORF et al. 1998).

Eine regelmäßige Kontraktion des Musculus omohyoideus setzt erst bei einem gewissen Belastungsgrad, also bei einer beginnenden Hypoxie ein, weshalb man ihn als Atemhilfsmuskel bezeichnet. Die Aktivität, also die Muskelkontraktion, des Musculus omohyoideus ist während der Inspiration bei forcierter Atmung nachgewiesen (DUCHARME et al. 1989a). Es ist ebenfalls bewiesen, dass der Musculus omohyoideus synchron mit dem Musculus cricoarytaenoideus dorsalis kontrahiert (DUCHARME et al. 1989a). Dieser Muskel

hat seine Funktion als Stimmritzerweiterer. Sollte also ein den Musculus omohyoideus versorgender Nerv verpflanzt werden ist davon auszugehen, dass die Empfänger Muskulatur ebenfalls erst unter Belastung ihre Funktion aufnimmt (CRUMLEY 1982, DUCHARME et al. 1989a und FULTON 1997).

DUCHARME et al. (1989) haben nachgewiesen, dass die histologisch nachweisbare Verteilung der Muskelfasertypen I und II von Musculus omohyoideus und Musculus cricoarytaenoideus dorsalis nahezu identisch sind und dadurch bei der Reinnervation seitens der Empfänger Muskulatur keine Komplikationen zu erwarten sind.

Zwei wichtige Punkte müssen dem Tiereigentümer vor der Operation erläutert werden. Der erste ist das Alter des Tieres und der zweite der Grad der Beeinträchtigung bei der laryngealen Dysfunktion. Nach erfolgter Nervenverpflanzung kann das Pferd zwischen 6 bis 12 Monaten nicht als Sportpferd genutzt werden. Dies bedeutet, dass für z.B. Vollblüter, die noch in der laufenden Rennsaison an Veranstaltungen teilnehmen sollen, diese Methode nicht zu empfehlen ist. Ebenfalls muss bei der Beurteilung der Heilungschancen und Heilungsdauer zwischen den verschiedenen Graden der Dysfunktion, von Parese zu Paralyse unterschieden werden. Es ist verständlich, dass die Dauer der Erholung des Musculus cricoarytaenoideus dorsalis bei einer Parese kürzer dauert als bei einer Paralyse, bei der der besagte Muskel deutlich ausgeprägter atrophiert ist. Eine generelle Reinnervation erfolgt nach etwa drei Monaten. Allerdings kann die Dauer, bis der Musculus cricoarytaenoideus dorsalis wieder stark genug ist, um den Gieskannenknorpel bei forcierter Atmung zu stabilisieren, sehr verschieden sein (FULTON et al. 1997).

## **2.6. Transplantation des N. cervicalis 1 in den M. cricoarytenoideus**

### **dorsalis (FULTON 1991)**

Die Lagerung des Pferdes erfolgt in Vollnarkose in rechter Seitenlage. Der Kopf wird ohne eine starke Streckung oder Beugung gelagert. Dies erlaubt im Kehlkopfbereich eine große Beweglichkeit. Die chirurgische Vorbereitung des Operationsfeldes erfolgt auf der linken

Halsseite im Bereich des Kehlkopfes, der Vena lingofacialis und der Unterkante des linken Unterkiefers.

Ein 12 cm langer linearer Hautschnitt wird an der Ventralkante der Vena linguofacialis angelegt. Die Vena linguofacialis wird jetzt von dem Musculus omohyoideus abpräpariert. Bei fast allen Patienten ist ein Gefäßast der Vena linguofacialis querverlaufend zum Musculus omohyoideus anzutreffen (FULTON 1991). Dieser wird doppelt ligiert und vorsichtig durchtrennt. Bei manchen Pferde verläuft ein größeres Lymphgefäß parallel zum Musculus omohyoideus (FULTON 1991). Auch dieses wird ligiert und durchtrennt. Der ventrale Ast des Nervus cervicalis 1 tritt aus dem Foramen alare des Atlas aus und verläuft über dem Musculus cricopharyngeus nach unten, wo er sich vor Eintritt in den Musculus omohyoideus in mehrere Äste aufteilt. Durch stumpfe Präparation wird der Nervus cervicalis 1 hinter dem Kehlkopf identifiziert.

Die Vena linguofacialis wird mit einem breiten Wundhaken vorsichtig aus dem Operationsfeld nach dorsal gezogen. Der Musculus omohyoideus wird mit geeigneten Klemmen nach außen geklappt. Jetzt werden sehr vorsichtig die einzelnen Äste des Nervus cervicalis 1 abwechselnd stumpf und scharf präpariert. Ein leichter Zug am Nerven zeigt die Verlaufsrichtung der verschiedenen Äste. Das Aufzweigungsmuster und die Insertionsstellen des Nerven in den Muskel variieren von Pferd zu Pferd sehr stark. Meistens zieht ein Ast weit kranial entlang des Musculus omohyoideus. Der Muskeleintritt dieses Astes liegt nicht mehr innerhalb des Operationsfeldes, so dass er durchtrennt und als Implantat ohne motorische Endplatte verwendet wird. Aus dem mittleren Ast des Nervus cervicalis 1, der sich häufig vor dem Eintritt in den Muskel noch einmal aufzweigt, können meistens zwei Nerv – Muskelimplantate freipräpariert werden. Der am weitesten kaudal gelegene Nervenast variiert am meisten in seiner Lokalisation (FULTON 1991). Oft zieht ein großer Nervenast Richtung Trachea, der dann durchtrennt und als weiteres Nervenimplantat genutzt werden kann. Ein zweiter kleinerer Ast verläuft über den rostralen Anteil der Schilddrüse und kann bis zur seiner Insertionsstelle in den Musculus omohyoideus verfolgt werden. Dieser kann als weiteres Nerv – Muskelimplantat dienen.

Sind nun alle Nervenäste, die verwendet werden können identifiziert, wird das gesamte Gebiet des Musculus omohyoideus mit 10 ml steriler Lidocainlösung getränkt. Dies ist unbedingt notwendig da dadurch die starken Kontraktionen des Musculus omohyoideus unterdrückt werden. Somit wird die Gefahr die Nervenäste bei der Präparation zu verletzen gering gehalten. Mit einer feinen Tenotomieschere werden 3 mm<sup>2</sup> große Nerv – Muskelimplantate herauspräpariert. Die zur Implantation genutzten Nervenäste müssen so

weit wie möglich freipräpariert werden, bevor man sie durchtrennt. Nun werden alle Nerven-, Nerv – Muskelimplantate und der gesamte Nervus cervicalis 1 kaudal verlagert, um ein freies Operationsfeld für das Aufsuchen des Musculus cricoarytaenoideus dorsalis zu haben. Hierfür wird der Kehlkopf mit einem schmalen Wundhaken, platziert über der Lamina thyreoidea des Schildknorpels, vorsichtig nach außen gedreht. Damit tritt der betroffene Musculus cricoarytaenoideus dorsalis in Erscheinung. In dieser Lage kann der Processus muscularis des Giesskannenknorpels durch die Muskelfasern des Musculus cricopharyngeus ertastet werden. Jetzt wird der Musculus cricopharyngeus stumpf mit einer Präparierschere abpräpariert und der atrophierte Musculus cricoarytaenoideus dorsalis freigelegt. Häufig ist der Musculus cricoarytaenoideus dorsalis von gefäßreichem Bindegewebe überzogen. Dieses muss bei der Präparation geschont werden. Ein Wundspreizer mit stumpfen Enden kann das Operationsfeld und die Sicht auf den Musculus cricoarytaenoideus dorsalis offen halten und vergrößern. Jetzt werden kleine Schnittinzisionen parallel zu dem Verlauf der Muskelfasern in den Musculus cricoarytaenoideus dorsalis gesetzt. Nachdem der Nervus cervicalis 1, ohne Zug auf ihn auszuüben, kranial Richtung Kehlkopf verlagert wurde, werden die Nervenendigungen und die Nerv – Muskelteilchen in die kleinen Schnittinzisionen eingebettet. Die Nerv – Muskelimplantate werden mit einem Knopfheft mit 4 – 0 Polydioxanon Nahtmaterial in ihren Taschen fixiert. Die durchtrennten Nervenstümpfe werden ebenfalls mit einem Heft, mit Durchstechung des Perineuriums fixiert.

Die Wunde wird dreischichtig verschlossen. Die Vena lingofacialis und der Musculus omohyoideus werden fortlaufend in ihren Ausgangspositionen durch die Naht der Faszie fixiert. Das Unterhautgewebe wird fortlaufend und die Haut mit Einzelheften verschlossen. Die Hautwunde wird für die ersten 24 Stunden durch einen aufgenähten Tupfer geschützt (FULTON 1991).

Die Verwendung eines Operationsmikroskopes hält FULTON (1997) für nicht notwendig. Die Operation wird seinerseits mit einem Assistenten durchgeführt.

### ***2.7. Prognostische Beurteilung der N. cervicalis 1- transplantation bei Hemiplegia laryngis sinistra***

Bei den von FULTON et al.(1992) in zwei Jahren operierten Patienten konnte eine endoskopisch nachgewiesene Abduktion des linken Aryknorpels bei 5 von 5 Pferden erreicht

werden. Die angestrenzte Atmung, die erst zu der erwarteten Abduktion des Stellknorpels führt, wurde durch Zuhalten der Nüstern provoziert und erreicht.

In insgesamt 7 Jahren hatte FULTON (1997) 69 Patienten mit einer Hemiplegia laryngis sinistra operiert, wobei darunter sowohl Patienten mit einer Parese wie auch mit einer Paralyse vorkamen. Es waren insgesamt 65 Vollblutpferde und 4 Warmblutpferde an dieser Studie beteiligt. Bei der Beurteilung der Studie wurden 49 Pferde, also 71 Prozent, als geheilt, 15, also 21 Prozent, als sich im Training oder Rekonvaleszenzstadium befindend und 5, also 8 Prozent, als an anderen Erkrankungen verstorben beurteilt worden. Bei den als geheilt geltenden 49 Pferden wurden 40 als Rennpferde trainiert und 9 als Rennpferd ungeeignet ausgemustert. Unter den 40 Pferden, die Rennen gelaufen sind, gewannen 21 Rennen und 6 wurden platziert. Von den 13 nicht platzierten Rennpferden verstarben 6 infolge von Krankheiten, während die restlichen 7 von den Trainern als untalentierte aussortiert wurden.

Eine übliche Beurteilungsmethode für den Operationserfolg bei der Hemiplegia laryngis sinistra ist die Beurteilung der Performance der Pferde vor der Erkrankung und nach der operativen Therapie. In einer Studie von HUSKAMP und BÖCKENHOFF (1978) wurde behauptet, dass bei 76,5 Prozent von 119 nach der Laryngoplastik - Methode operierten Fällen sogar eine Performanceverbesserung und volle Leistungsfähigkeit nach der Operation eingetreten waren. Bei der laryngoskopischen Nachuntersuchung ist ebenfalls wichtig, dass die Lateralfixation des Aryknorpels zufriedenstellend ist.

Bei der Reinnervationsoperationstechnik sind die Ergebnisse ähnlich, da von 49 Fällen 27 (die oben beschriebenen Siege und Platzierungen) bessere Erfolge erreichten als vor der Erkrankung. Also hatten 27 Pferde von 49 Probanden, das sind 55%, bessere Leistungen vorzuweisen. Somit sind beide Ergebnisse durchaus miteinander vergleichbar, wobei die bekannten Komplikationen bei der Laryngoplastik, wie chronischer Husten, Verschlussinsuffizienz des Kehlkopfes, Chondritis oder metaplastische Verkalkung der Kehlkopfknorpel (HUSKAMP 1980) bei der Reinnervationstechnik nicht vorkommen. Im Gegenteil, für noch untrainierte junge Pferde oder für Pferde mit einem laryngoskopischen Befund bis zu Grad 3 eignet sich die Reinnervationstechnik aufgrund der fehlenden Komplikationen besser.