

2.7.2. Die Prognose in Abhängigkeit von der Dauer einer Nervenschädigung mit neurogener Muskelatrophie im Hinblick auf eine Reinnervation

Die Ansichten, in welchem Ausmaß die Muskulatur neurogen atrophiert sein darf um sie noch erfolgreich reinnervieren zu können, weichen bei den einzelnen Autoren stark voneinander ab.

Bis zu zwei Jahre nach einer Denervation findet nur eine sehr geringe Atrophie der Muskulatur statt (BOWDEN u. GUTMANN 1944, GUTMANN u. YOUNG 1944, DENNY-BROWN 1951 und GUTH u. ZALEWSKY 1963). Sie schreitet an den langsamen roten Typ I - Muskelfasern schneller fort, als an den weißen Fasern vom Typ IIa (DREYFUS u. SCHAPIRA 1948).

SILBERSIEPE u. BERGE (1958) halten die Atrophie der Stimmritzerweiterer des Menschen für unheilbar. Die Kehlkopfmuskulatur zählt im Hinblick auf Reinnervation nach Atrophie als sehr fragil (GUTMANN u. YOUNG 1944).

Bereits drei Wochen nach einer Denervation lagert sich in den vorhandenen motorischen Endplatten Kollagen ein, welches histologisch nachweisbar ist (BOWDEN u. GUTMANN 1944, AITKEN 1950, SAITO u. ZACKS 1969 und SHER 1977). Sechs Wochen nach Denervation des Musculus trapezius beim Kaninchen zeigt sich mit der ATPase - Färbung, daß die physiologischerweise deutlich erkennbare Mosaikzeichnung der Muskulatur aufgehoben ist, die Muskelfasern erscheinen atrophisch (EISELE et al. 1988). Die Muskelfasern als solche bleiben jedoch über Jahre der Denervation erhalten und nachweisbar (CONLEY et al. 1974).

Die folgende Tabelle soll einen kurzen Überblick der Reinnervationserfolge bei verschiedenen Spezies und an verschiedenen Muskelgruppen nach unterschiedlich lang andauernder Atrophie geben.

Tabelle: Reinnervationserfolge bei verschiedenen Spezies, an verschiedenen Muskelgruppen nach unterschiedlich lang andauernder Atrophie.

Autor	Dauer der Denervation	Reinnervation
BOWDEN und GUTMANN (1944) Skelettmuskulatur des Menschen	1 - 3 Jahre	
GUTH und ZALEWSKY (1963)	2 Jahre	Skelettmuskulatur des Menschen
MORLEDGE et al. (1973)	2 - 6 Monate	Kehlkopf des Hundes
LYONS u. TUCKER (1974)	6 Monate	Kehlkopf des Hundes
CONLEY et al. (1974)	17 Jahre	Fazialismuskulatur des Menschen
TUCKER (1976)	22 Jahre	Kehlkopf des Menschen
APPLEBAUM et al. (1979)	5 - 50 Jahre	Kehlkopf des Menschen
MEIKLE et al. (1987)	mind. 10 Wochen	Skelettmuskulatur des Kaninchen
EISELE et al. (1988)	6 Wochen	Skelettmuskulatur des Kaninchen
SPEIRS u. TULLENERS (1992)	3 Jahre	Kehlkopf des Pferdes

Über die Zeitdauer der Muskelatrophie, die vergehen darf, um noch erfolgreich reinnervieren zu können, ist keine generelle Aussage zu treffen (siehe Tabelle S. 42). Sie kann von Tierart zu Tierart, innerhalb einer Tierart und hier von Muskelgruppe zu Muskelgruppe (langsam oder schnell kontrahierend) variieren. Einen starken Einfluß soll auch die passive Bewegung haben, die dem denervierten Muskel widerfährt (GUTMANN u. YOUNG 1944, DENNY-BROWN 1951, ALBUQUERQUE 1970 und SANES et al. 1980).

MORLEDGE et al. (1973) führten Untersuchungen an Hunden durch und kamen zu dem Ergebnis, daß eine Reinnervation der Kehlkopfmuskulatur vom 2. bis 6. Monat nach der Denervation möglich ist. Nach 9 Monaten Denervation hingegen halten sie eine Reinnervation nicht mehr für möglich. Sie operierten 9 von 12 Hunden erfolgreich durch Implantation eines Nervenstumpfes des Nervus phrenicus.

LYONS u. TUCKER (1974) konnten sechs Monate nach einer Denervation eine erfolgreiche Reaktivierung der paralytischen atrophischen Kehlkopfmuskulatur bei Hunden mit einer Nerv-Muskelteilchenverpflanzungsmethode erreichen.

Hoffnungsvolle Reinnervationen von paralytischen Fazialismuskeln des Menschen 17 Jahre nach der Denervation beschreiben CONLEY u. HAMAKER (1975).

1976 gelang TUCKER eine erfolgreiche Reinnervation bei einer seit 22 Jahren bestehenden Kehlkopfparalyse beim Menschen.

APPLEBAUM et al. (1979) erzielten bei sechs Patientinnen, deren Kehlkopfmuskulatur 5 bis 50 Jahre zuvor nach einer Schilddrüsenoperation denerviert und folgend atrophiert war, eine erfolgreiche Reaktivierung der Kehlkopfmuskeln.

MAY et al. (1980) meinen, die beste Möglichkeit, das Erholungspotential der Muskelfasern zu testen, ist die, sie durch eine Operation zu reinnervieren. Fibrosierung und deutliche Atrophie der Muskulatur sieht er jedoch als nicht operabel an.

2.8. Operationstechniken zur Reinnervation des Kehlkopfes beim Vorliegen einer Hemiplegia laryngis

2.8.1. Nervennaht bzw. End-zu-Endanastomose

Bei der einfachen Nervennaht wird das Epineurium des proximalen Nerven- mit dem des distalen Nervenstumpfes vernäht. Die Regeneration erfolgt durch das Auswachsen der Achsenzylinder. Der wachsende Achsenzylinder wird in seinem Fortschreiten durch die Anordnung der SCHWANN'schen Zellverbände gelenkt. Wenn parallele Pfade, wie zum Beispiel in einem peripheren Nervenstumpf, vorliegen, kommt es zu einem geordneten Wachstum.

Die Regeneration erfolgt in drei Stadien: Zum überschreiten der Nahtstelle sind etwa drei Wochen notwendig, dann erfolgt das Vorwachsen von 3 - 4 mm pro Tag. Zuletzt wird noch eine gewisse Zeitspanne nötig sein, bis die Funktion wiederkehrt.

Wenn falsche Faserverbindungen zustande kommen, d.h. wenn Fasern aus dem proximalen Stumpf in Hüllen des peripheren Stumpfes, die ihnen nicht zugehörig sind, hineinwachsen, ist eine vollständige Restitution der normalen Funktion auch unter besten Bedingungen nicht zu erwarten. Eine "Wiedererziehung" ist nur in beschränktem Maße möglich (NIGST 1964).

2.8.1.1. Verpflanzung des Nervus laryngeus recurrens sinister zur Anastomose mit dem Nervus vagus beim Pferd (Operationsmethode nach TAGG 1935)

Operationsgang:

Auf der Mitte der linken Halsseite wird in der Drosselrinne, direkt unter der Vena jugularis und oberhalb des Musculus sternomandibularis ein 10 cm langer Hautschnitt angelegt. Durch stumpfe Präparation mit dem Skalpellgriff werden der Nervus vagus, welcher der pulsierenden Arteria carotis communis anliegt und der Nervus laryngeus recurrens, der dem Ösophagus aufliegt, identifiziert. Der aufsteigende Ast des Nervus laryngeus recurrens wird soweit wie möglich in Richtung Brusthöhle verfolgt, durchtrennt und kranial gebracht ohne ihn zu dehnen. Anschließend wird der Strang des Nervus vagus vorsichtig

geöffnet, der Nervus laryngeus recurrens hineingelegt und leicht mit Catgut an den Nervus vagus angeknüpft. Muskulatur und Haut werden genäht, die Wunde mit Gaze und Bandage abgedeckt. Wenn noch Muskelzellen im Musculus cricoarytaenoideus dorsalis vorhanden sind dauert es höchstens sechs Monate bis man mit einem vollem Effekt des neuen Versorgungszentrums rechnen kann (TAGG 1935).

CRUMLEY et. al. (1980) gelang eine Reinnervation des Musculus cricoarytaenoideus dorsalis beim Hund durch Längsspalten des Zwerchfellnerven, *Nervus phrenicus* und Verpflanzen eines Teils der Fasern, so daß die Innervation des Zwerchfelles bewahrt blieb.

DUCHARME et al. (1989c) führten eine Anastomose, zwischen dem Ventralast des ersten Halsnerven und dem Nervenendast, der zum abduktorisches Muskel zieht, an Kehlköpfen von Pferden durch. Sie erzielten als Resultat klonische Bewegungen des Musculus cricoarytaenoideus dorsalis während der Inspiration. Auch histologisch konnten an diesem Muskel Reinnervationserscheinungen nachgewiesen werden.

Die einfache Nervennaht ist bei frischer Schädigung des Nervus laryngeus recurrens für die Funktion des Kehlkopfes wenig erfolgversprechend, da durch versetztes Zusammennähen bzw. -wachsen von Neuronen, die zu den stimmritzenverengenden Muskeln ziehen und denen, die zu dem stimmritzenenerweiternden Muskel ziehen, das zyklische Zusammenspiel nicht wiederherzustellen ist (SHIMAZAKI 1957, HIROTO et al. 1968, BOLES u. FRITZELL 1969 und CRUMLEY 1982).

Die Kehlkopfmuskulatur besteht aus zwei funktionell unterschiedlichen Fasertypen, womit erklärbar ist, daß es bei Nervennähten, z.B. zwischen Nervus laryngeus recurrens und Nervus laryngeus recurrens, zwischen Nervus laryngeus recurrens und Nervus vagus, oder zwischen Nervus laryngeus recurrens und Nervus phrenicus, immer zu fehlgerichteter Regeneration der Nervenfasern kommen kann. Daraus resultierend sind Änderungen im schnell - langsam - Bewegungsverhältnis der Muskeln des Kehlkopfes zu erwarten (DOYLE 1964, HAST 1967, GORDON u. McCABE 1968, MURAKAMI u. KIRCHNER 1971 und IWAMURA 1974).

2.8.2. Nervenimplantation

Bei der Nervenimplantation handelt es sich um ein Operationsverfahren, bei dem ein durchtrenntes freies Nervenende, nach Mobilisieren eines entsprechend langen Nervensegmentes, mit Durchstechung des Perineuriums bzw. des Epineuriums in einer Muskelninzision eines Rezipientenmuskels fixiert wird. Die Axone wachsen ungeordnet aus, und können so nach Reizung eine Kontraktion des Muskels auslösen.

2.8.2.1. Verpflanzung des Nervus phrenicus beim Hund (Operationsmethode nach TAGGART 1971)

Operationsgang:

Um zu Versuchszwecken beim Hund eine halbseitige Kehlkopflähmung zu erlangen, wird ca. 2,5 cm seitlich der Medianen ein Längsschnitt auf Höhe des Kehlkopfes angelegt und der linke Nervus vagus aus der Carotisscheide gelöst. Ein ca. 5 cm langes Stück wird herausgetrennt und die Nervenenden werden kauterisiert, umgeschlagen und ligiert. Die halbseitige Lähmung wird endoskopisch kontrolliert.

Die straffen Halsmuskeln werden zurückgezogen, so daß der Nervus phrenicus bei seinem Erscheinen aus dem Spinalstrang isoliert werden kann.

Mithilfe eines Operationsmikroskops wird der untere Ast des Nerven vorsichtig soweit wie möglich freipräpariert und dann abgetrennt. Die oberen Ursprungsäste des Nervus phrenicus (aus den Foramina intervertebralia der letzten drei Halswirbel) werden tief zurück in die Carotisscheide verbracht.

Der Kehlkopf wird herausgedreht und die sichtbaren konstriktorischen Muskeln werden an ihrem Ansatz durchtrennt und zurückgezogen, so daß der Blick auf den Musculus cricoarytaenoideus dorsalis sinister freigegeben ist. Durch eine Stimulation des Muskels kann dieser, anhand der endoskopisch zu beobachtenden Abduktion des Stimmbandes, genau identifiziert werden.

In den Muskel wird eine kleine Tasche geschnitten, in die das Ende des Nervus phrenicus implantiert und durch eine Perineuriumnaht fixiert wird. Die konstriktorischen Muskeln

sowie die Halswunde werden genäht. Anschließend wird laryngoskopisch die Paralyse des Stimmbandes überprüft.

In die Trachea wird ein Foleykatheter eingelegt mit dem ein hypoxischer Zustand und damit eine größere Stimmbandaktivität hervorgerufen werden kann (TAGGART 1971).

DOYLE et. al. (1967 u.1968) verzeichneten beim Menschen Stimmbandabduktion nach Implantation des Nervus vagus in den Musculus cricoarytaenoideus dorsalis.

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

Gleiches gelang MORLEDGE et al. (1973) bei 9 von 12 Hunden. Die erfolgreichen Ergebnisse zeigten sich 9 Monate nach den Operationen. Die Ursache für die fehlende Reinnervation bei den anderen Tieren war darin zu sehen, daß der implantierte Nervenstumpf wieder aus dem Muskelbauch herausgeglitten war.

MIGLETS (1974) implantierte bei einem Menschen den Nervus laryngeus recurrens in den Musculus cricoarytaenoideus dorsalis und erzielte eine Stimmbandabduktion.

DUCHARME et al. (1989b) erhielten bei vier von sechs Ponies geringgradige Stimmbandabduktionen sechs Monate nach der Implantation des Ventralastes des 2. Halsnerven in den Musculus cricoarytaenoideus dorsalis. An histologischen Anzeichen von Reinnervation war hier eine Gruppierung der Muskelfasertypen zu erkennen.

CRUMLEY (1982) kombinierte die beiden vorher genannten Verfahren und führte die folgend beschriebene „Split Phrenic Nerve Graft Procedure“ an 14 Hunden durch. Er spaltete den Nervus phrenicus längs und verpflanzte einen Anteil.

Operationsgang:

Die Operation wird auf der rechten Seite des Tieres durchgeführt. Ein 2,5 cm langes Stück vom Nervus laryngeus recurrens wird entfernt.

Drei Monate nach der Denervation wird ein ca. 15 cm langes Stück des Nervus ansa cervicalis, der zum Brustbein-Schildknorpelmuskel, Musculus sternothyreoideus (bei Pferd und Mensch zum Musculus omohyoideus) zieht, proximal und distal ligiert. Das

Zwischenstück, das später als Transplantat dient, wird entfernt, wobei die Ligaturen zur Vermeidung von Axonsprossung an den Nervenstümpfen im Tier verbleiben. Das herausgetrennte Nervenstück wird in Ringer-Laktatlösung verbracht und soll später als Leitungsröhre für Axone des Nervus phrenicus zum Musculus cricoarytaenoideus dorsalis dienen.

Der Nervus phrenicus wird identifiziert (Provozieren einer Zuckung des Zwerchfells bzw. einer Inspiration durch elektrische Nervenstimulation). Unter Zuhilfenahme des Operationsmikroskops wird der Nerv längs gespalten und der mediale Anteil der Fasern wird proximal am Spaltungsbeginn durchtrennt. Der laterale Anteil verbleibt zur Versorgung des Zwerchfells erhalten. Das Transplantat des Nervus ansa cervicalis wird mit dem proximalen Ende des gesplitteten Anteils des Nervus phrenicus durch drei bis vier Epineuralhefte verknüpft. Das andere Ende des Transplantats wird tief durch den Musculus sternocleidomastoideus gezogen, um von oben auf den Kehlkopf zu gelangen. Der Nervus laryngeus recurrens wird am Kehlkopf aufgesucht und, wenn möglich, nach der Aufzweigung in die Äste für den abduktorischen und die adduktorischen Muskeln, nur der Ast, der zum Musculus cricoarytaenoideus dorsalis zieht, durchtrennt. Das freie Ende des Transplantats wird mit dem Nervenstumpf des Nervus laryngeus recurrens verknüpft, der zum Musculus cricoarytaenoideus dorsalis zieht.

Kann dieser Nervenstumpf nicht eindeutig identifiziert werden, wird das freie Ende des Transplantats direkt in den Musculus cricoarytaenoideus dorsalis implantiert. Nach der Durchtrennung des Nervus laryngeus cranialis wird die Operationswunde verschlossen. Die Stimmbandabduktion in der Inspirationsphase erfolgt nach dieser Operation zeitlich leicht verzögert (CRUMLEY 1982).

Der lange Weg der Zwerchfellsnervaxone entlang des freien Implantats des Nervus ansa cervicalis birgt die große Gefahr der intraneuralen Fibrosierung der Axone.

Narbenbildungen im Bereich des Implantats stellen nicht zwangsläufig einen Mißerfolg der Reinnervation dar (CRUMLEY 1982).

2.8.3. Nerv-Muskelteilchenverpflanzung

Die Nerv-Muskelteilchenverpflanzung ist ein Reinnervationsverfahren, bei dem zu einem Donornerven noch ein entsprechendes Muskelstück für die Transplantation mit präpariert wird. Das Muskelstück wird so gewählt, daß es die Nervenendaufzweigung mit einem Großteil der motorischen Endplatten des Nerven beinhaltet. In einem weiteren Operationsschritt wird in den Rezipientenmuskel eine entsprechend große Inzision angelegt, in welche das Nerv-Muskelteilchen eingenäht wird.

Um später die maximale Kontraktion des reinnervierten Muskels zu erhalten, ist es notwendig, die Fasern des Muskelteilchens parallel zur Faserrichtung des Rezipientenmuskels zu legen (TUCKER 1983).

2.8.3.1. Verpflanzung eines Nervenastes der Ansa cervicalis beim Menschen (Operationsmethode nach TUCKER 1976)

TUCKER (1970) führte erste Versuche mit der Nerv-Muskelteilchenverpflanzung an Kehlköpfen von Hunden durch.

HENGERER und TUCKER (1973) beschreiben ihre Erfolge bei diesen Operationen. Bei sechs Hunden konnten mittels Elektromyographie und Laryngoskopie 6 Wochen nach den Operationen Muskelaktivität und spontane Stimmbandabduktion während der Inspiration beobachtet werden.

TUCKER (1976) berichtete über seine erste Operation am Menschen, die im folgenden beschrieben wird.

TUCKER (1977) beschreibt weitere Operationen an halbseitig gelähmten Kehlköpfen von Menschen

TUCKER (1978) veröffentlichte Ergebnisse einer Langzeitstudie seiner operierten Patienten.

TUCKER (1982) legte einige Probleme seiner Operationstechnik dar, die in die folgende Beschreibung mit einfließen.

An der linken Halsseite wird ein schräger Schnitt durch Haut, Unterhautfettgewebe und

den Platysmamuskel angelegt. Mithilfe eines Wundhakens wird das Gewebe einschließlich des Musculus sternocleidomastoideus beiseite gezogen, so daß der Muskelbauch des Musculus omohyoideus und die laterale Fläche der Vena jugularis externa erkennbar werden. Der hintere Nervenast der Ansa cervicalis kann so bei seinem Verlauf über der Vena jugularis externa identifiziert werden.

Nach vorsichtiger Mobilisierung dieses Nerven wird er mit einem Nerventester stimuliert, um eine Kontraktion des Musculus omohyoideus hervorzurufen. Bei fehlender Reizbarkeit muß ein weiterer reizbarer und damit zur Verpflanzung geeigneter Nervenast aufgesucht werden. Der Nerv wird bis zu seinem Eintritt in den Muskel verfolgt und hier mit einem im Durchschnitt zwei bis maximal drei Millimeter großen Muskelstück herausgelöst. Wird das Muskelstück größer gewählt, steigt die Fibrosierungstendenz.

Um beim Heraustrennen des Muskelstückes vorsichtigen Zug ausüben zu können, werden jederseits der Eintrittsstelle des Nerven in den Muskelbauch ein Haltefaden aus Nylon der Stärke 5-0 in der Muskulatur fixiert. Bei der Mobilisierung des Nerven mit dem Muskelteilchen ist besondere Vorsicht geboten, um die den Nerven versorgenden Gefäße, Vasa nervorum, die auf der Oberfläche des Nerven als ganz zarte Gebilde zu erkennen sind, nicht zu verletzen. Das den Nerven umgebende Binde- und Fettgewebe bleibt erhalten.

Das auf diese Weise herausgelöste Muskelstück enthält die Nervenendaufzweigung mit ca. 80 % der motorischen Endplatten eines geeigneten Nervenastes. Es wird zunächst zurückverlagert und mit einem feuchten Schwamm geschützt.

Der Schildknorpel wird aufgesucht und vorsichtig, beim jungen Menschen bis zu 180°, hervorgezogen, so daß der Musculus constrictor inferior (= Musculus cricopharyngeus) entlang seiner Fasern durchtrennt werden kann. Somit ist der Blick auf den Musculus cricoarytaenoideus dorsalis freigegeben. In ihn wird quer zu seiner Faserrichtung eine Schnittinzision in der Länge des zu implantierenden Muskelstücks angelegt. Da der Muskel nur von einer sehr feinen Faszie umgeben ist, klaffen die Schnittkanten leicht auseinander, und das Muskelstück mit dem Nerv kann mittels der angelegten und bei Bedarf mit einigen weiteren Nylonheften eingenäht werden. Es werden hierbei die Wundflächen der Schnittinzision mit den Wundflächen des Muskelstückes in Kontakt gebracht.

Ist es nicht möglich, den Musculus cricoarytaenoideus dorsalis zu erreichen, ohne Zug auf den Nervenast zu bringen, kann es notwendig sein, einen Teil der unteren Nebenäste der Ansa cervicalis zu durchtrennen, um ausreichend Mobilität für das Transplantat zu erhalten.

Anschließend wird der Kehlkopf zurückgelagert und, nach Einlegen einer Drainage, der Musculus sternocleidomastoideus in seiner ursprünglichen Lage fixiert. Die Haut wird auf die übliche Weise verschlossen (Tucker 1976).

Bis 1983 hat TUCKER seine Operationsmethode an 200 Patienten durchgeführt und verzeichnet eine Erfolgsrate von 86 %.

APPLEBAUM et al. (1979), welche die Operation weitestgehend von Tucker übernommen haben, empfehlen das binoculare Operationsmikroskop als eine hilfreiche Ergänzung für die Präparation des Nerv-Muskelteilchens.

Sie wählen ebenfalls einen Nerv der Ansa cervicalis, der zum Musculus omohyoideus zieht, da dieser physiologischerweise während der Inspiration Aktionspotentiale sendet.

Die Nerv-Muskelteilchenverpflanzung ist eine effektive Methode zur Wiederherstellung von Stimme und Atmung, sowie zur Vermeidung von Aspiration. MAY et al. (1980) erhielten bereits 2 Monate nach der Nerven transplantation bei einem Menschen ein erfolgreiches Ergebnis.

TAKENOUCI et al. (1967, 1968 und 1971) verwenden die Nerv-Muskelteilchenverpflanzungstechnik zur Transplantation des gesamten Kehlkopfes beim Menschen.

CRUMLEY (1982) führte die Operation an fünf Hunden in gleicher Weise durch. Er konnte ein Jahr nach der Operation keinerlei Abduktion der Aryknorpel erkennen, welche auf eine Reinnervation durch die Nerv-Muskelteilchenverpflanzung zurückzuführen wäre. Auch eine elektrische Stimulation der transplantierten Nerven führte zu keiner Kontraktion des Musculus cricoarytaenoideus dorsalis.

Anatomisch und histologisch erschien die Muskulatur atrophiert, der transplantierte Nerv zeigte sich weitgehend unverändert, die Fasern hatten geringgradig an Dicke verloren und die Myelinscheiden waren deutlich dünner.

ANONSEN et al. (1986) gelangen mithilfe der Nerv-Muskelteilchenverpflanzung die Reinnervation der Fazialismuskulatur bei drei von sechs Menschen.

MEIKLE et al. (1987) erzielten mit der Nerv-Muskelteilchenverpflanzungstechnik eine Reinnervation des Musculus sternohyoideus bei neun Kaninchen, wobei sie fünf

Kaninchen direkt nach der Denervation und vier Kaninchen zehn Wochen nach der Denervation reinnervierten.

FERNANDES et al. (1987) operierten fünf Menschen mit der Nerv-Muskelteilchenverpflanzungsmethode nach TUCKER (1976) und erzielten gute Ergebnisse. Vier bis zehn Wochen nach der Operation war laryngoskopisch eine deutliche Bewegung der Stimmbänder erkennbar.

GREENFIELD et al. (1988) führten eine Nerv-Muskelteilchenverpflanzung bei acht Hunden erfolgreich durch. Sie verwendeten einen Nervenast des Nervus cervicalis 1, der an den Musculus sternothyreoideus zieht, zur Reinnervation des Musculus cricoarytaenoideus dorsalis. Der Musculus sternothyreoideus ist bei Mensch und Hund deutlicher mit der Inspiration synchronisiert als der Musculus sternohyoideus (ARMSTRONG u. SMITH 1955, ANDREW 1955 und FINK et al. 1956).

DUCHARME et al. (1989a) operierten vier Ponies mit der Nerv-Muskelteilchenverpflanzungstechnik. Sie wählten hierfür einen Ast des zweiten Halsnerven zum Musculus omohyoideus. Histochemisch erkennbare Reinnervation zeigte sich bei drei Ponies, endoskopisch erkennbare Reinnervation bei einem Pony.

2.8.3.2. Verpflanzung eines Ventralastes des Nervus cervicalis 1 beim Pferd (Operationsmethode nach FULTON 1991)

In Anlehnung an DUCHARME et al. (1989a), führte FULTON (1991) die Nerv-Muskelteilchenverpflanzung bei sieben Versuchspferden durch.

FULTON et al. (1992) werteten die Ergebnisse histologisch aus. In den folgenden Jahren operierte er auch klinische Fälle von Hemiplegia laryngis. Bis Dezember 1998 hat FULTON 95 Fälle mit ermutigenden Ergebnissen operiert (FULTON 1998).

Operationsgang:

Das Pferd wird in Vollnarkose in die rechte Seitenlage verbracht, der Kopf wird ohne

starke Streckung oder Beugung gelagert, so daß der Kehlkopf eine möglichst große Mobilität erhält. Auf der linken Halsseite wird in Höhe des Kehlkopfes das Operationsfeld chirurgisch vorbereitet.

Ein ca. 12 cm langer Hautschnitt wird direkt ventral entlang der Zungen-Gesichtsvene, *Vena linguofacialis*, angelegt.

Zwischen Musculus omohyoideus und Vena linguofacialis wird stumpf präpariert, bis der Nervenast des Nervus cervicalis 1, bei seiner Passage über den Musculus cricopharyngeus identifiziert, und bis zu seiner Insertion im Musculus omohyoideus, verfolgt werden kann. Der Musculus omohyoideus wird hierfür mit geeigneten Klemmen nach außen geklappt, so daß der Blick auf die dorsomediale Fläche des Muskelbauches gegeben ist. Die Vena linguofacialis wird mit einem breiten Wundhaken vorsichtig dorsal gezogen. Häufig hat sie noch einen kleinen Ventralast, der ligiert und entfernt werden sollte. Bei einigen Pferden findet sich außerdem ein größeres Lymphgefäß parallel zum Verlauf des Musculus omohyoideus, das zur besseren Übersicht ebenfalls ligiert und entfernt werden sollte.

Durch sorgfältige Präparation können nun die einzelnen Endäste des Nervus cervicalis 1 dargestellt werden. Das Aufzweigungsmuster des Nerven in den Muskel variiert von Pferd zu Pferd sehr stark. I.d.R. zieht ein Nerv weit kranial entlang des Musculus omohyoideus, so daß er nicht mehr innerhalb des Operationsfeldes in den Muskel eintritt. Er wird durchtrennt und als Implantat verwendet. Aus dem mittleren Ast des 1. Halsnerven, der sich häufig vor dem Eintritt in den Muskel noch einmal aufzweigt, können meist zwei Nerv-Muskelteilchen geformt werden. Der am weitesten kaudal gelegene Nervenast weist die größten Variationen bei den einzelnen Pferden auf. Z.T. zieht er in Richtung Luftröhre und kann als weiteres Nervenimplantat Verwendung finden, oder er zieht über den Schilddrüsenkörper hinweg in den Musculus omohyoideus, so daß er als weiteres Nerv-Muskelteilchen dienen kann.

Diese von FULTON (1991) beschriebenen individuellen Aufzweigungen wurden versucht in eigenen Präparationen nachzuvollziehen, da sie von hoher praktischer Relevanz für die Operation sind. Einige mögliche Beispiele für die Endaufzweigung des ersten Halsnerven sind in den eigenen Abbildungen auf den Seiten 55 ff dargestellt.

Sind alle Nervenäste, die verwendet werden sollen, identifiziert, wird das Gebiet mit 10 ml einer sterilen Lidocainlösung getränkt. Dies ist notwendig, um die ständigen kräftigen

Kontraktionen des Musculus omohyoideus zu unterdrücken, und somit die Gefahr, die Nerven beim Präparieren zu verletzen möglichst, gering zu halten. Zur Präparation der etwa drei Quadratmillimeter großen Nerv-Muskelteilchen wird eine 11er Skalpellklinge oder ein feines Tenotom verwendet. Die zur Implantation genutzten Nervenäste müssen so lang wie möglich präpariert werden, bevor sie durchtrennt werden. Der gesamte erste Halsnerv wird mit den einzelnen Nervenstümpfen und Nerv-Muskelteilchen kaudal verlagert, um an den Musculus cricoarytaenoideus dorsalis zu gelangen.

Hierfür wird der Kehlkopf mit einem schmalen Wundhaken, der über der Lamina thyreoidea zwischen Musculus thyropharyngeus und Musculus cricopharyngeus plziert wird, herausgedreht.

In dieser Lage kann der Processus muscularis des Stellknorpels durch die Muskelfasern des Musculus cricopharyngeus ertastet werden.

Indem man die Muskelfasern des Musculus cricopharyngeus stumpf mit scherenartiger Bewegung durchtrennt, ist der Zugang zum blassen atrophierten Musculus cricoarytaenoideus dorsalis gegeben. Häufig ist der Musculus cricoarytaenoideus dorsalis von gefäßreichem Bindegewebe überzogen. Um die Übersicht zu behalten, sollten diese Gefäße geschont werden. Ein Wundspreizer mit stumpfen Enden dient dazu, ein größeres Fenster auf dem Musculus cricoarytaenoideus dorsalis offen zu halten.

Der erste Halsnerv wird kranial in Richtung Kehlkopf verlagert, und die einzelnen Nervenenden werden, ohne Zug auf sie auszuüben, in kleine Schnittinzisionen parallel zu den atrophierten Muskelfasern, eingebettet.

Die Nerv-Muskelteilchen werden mit einem Knopfheft (4-0 Polydioxanone) in ihren Taschen fixiert. Die zur Implantation durchtrennten Nervenstümpfe werden fixiert, indem ein Heft mit Durchstechung des Perineurium gesetzt wird.

Es folgt ein dreilagiger Wundverschluß. Der Musculus omohyoideus und die Vena linguofacialis werden in ihren Ausgangspositionen fortlaufend vernäht, ebenso das Unterhautgewebe. Anschließend erfolgt die Hautnaht mit Einzelheften (FULTON 1991).

FULTON (1997) hält ein Operationsmikroskop nicht für notwendig, er operiert mit sehr feinem Instrumentarium und einem Assistenten.

Bei den bis 1992 von FULTON et al. operierten Versuchspferden konnte eine endoskopisch erkennbare Abduktion des linken Stellknorpels bei allen fünf operierten Pferden erreicht werden. Die angestrengte Atmung, die erst zu der erwarteten Abduktion führt, wird durch Zuhalten der Nüstern provoziert.

Bis 1997 hatte FULTON 53 an Hemiplegia laryngis sinistra erkrankte Pferde operiert. 29 Tiere konnten als erfolgreich operiert, und sieben als nicht erfolgreich operiert beurteilt werden. Die restlichen Pferde standen zur endgültigen Beurteilung noch nicht zur Verfügung bzw. waren aus anderen Gründen gestorben.

Abb. 9

Variierende Aufzweigungsmuster des Ventralastes des ersten Halsnerven beim Pferd

1. Vena linguofacialis
2. Musculus omohyoideus
3. Musculus thyreopharyngeus
4. Musculus cricopharyngeus
5. Ventralast des ersten Halsnerven von lockerem Bindegewebe umgeben

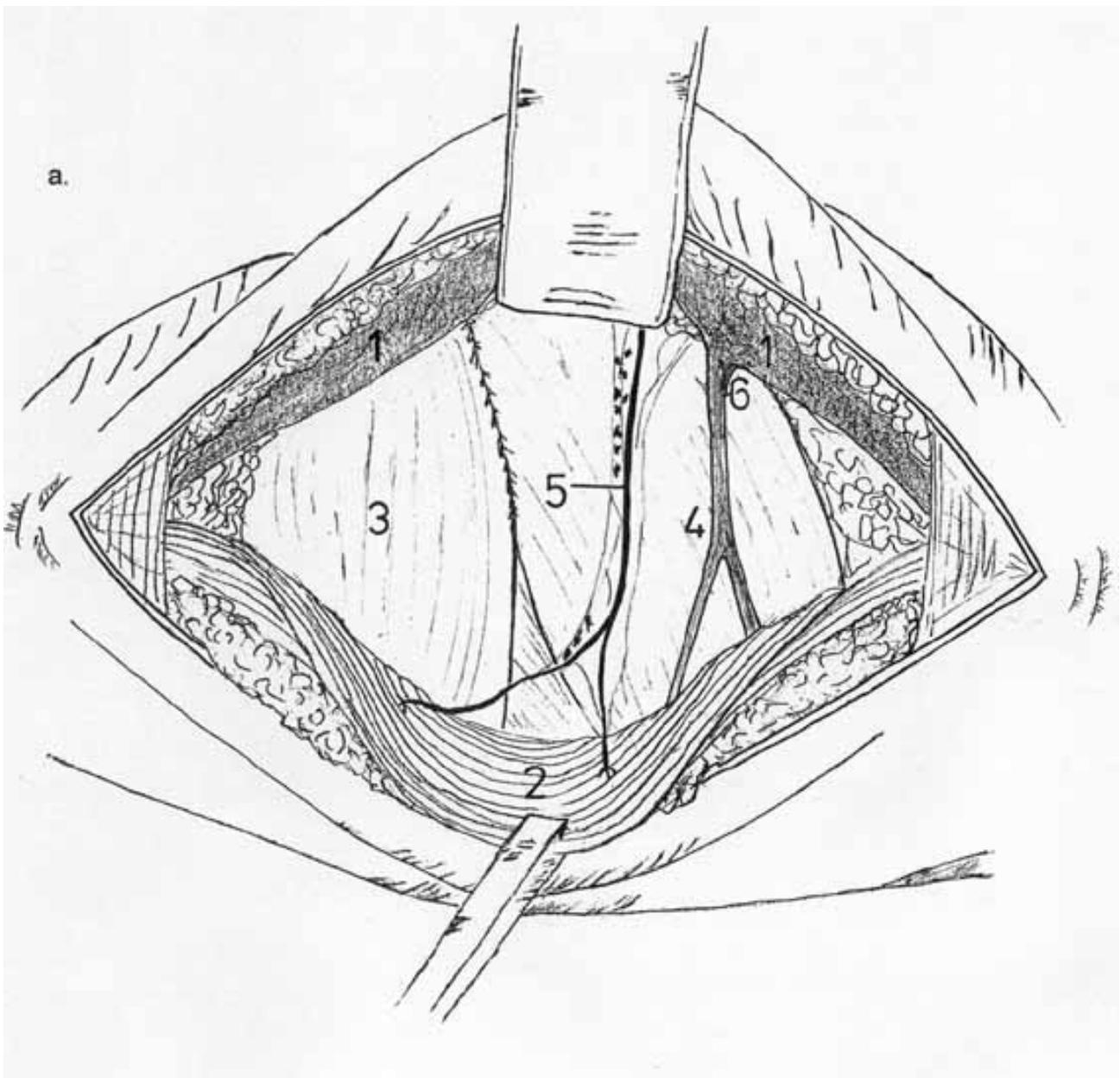


Abb. 9

Variierende Aufzweigungsmuster des Ventralastes des ersten Halsnerven beim Pferd

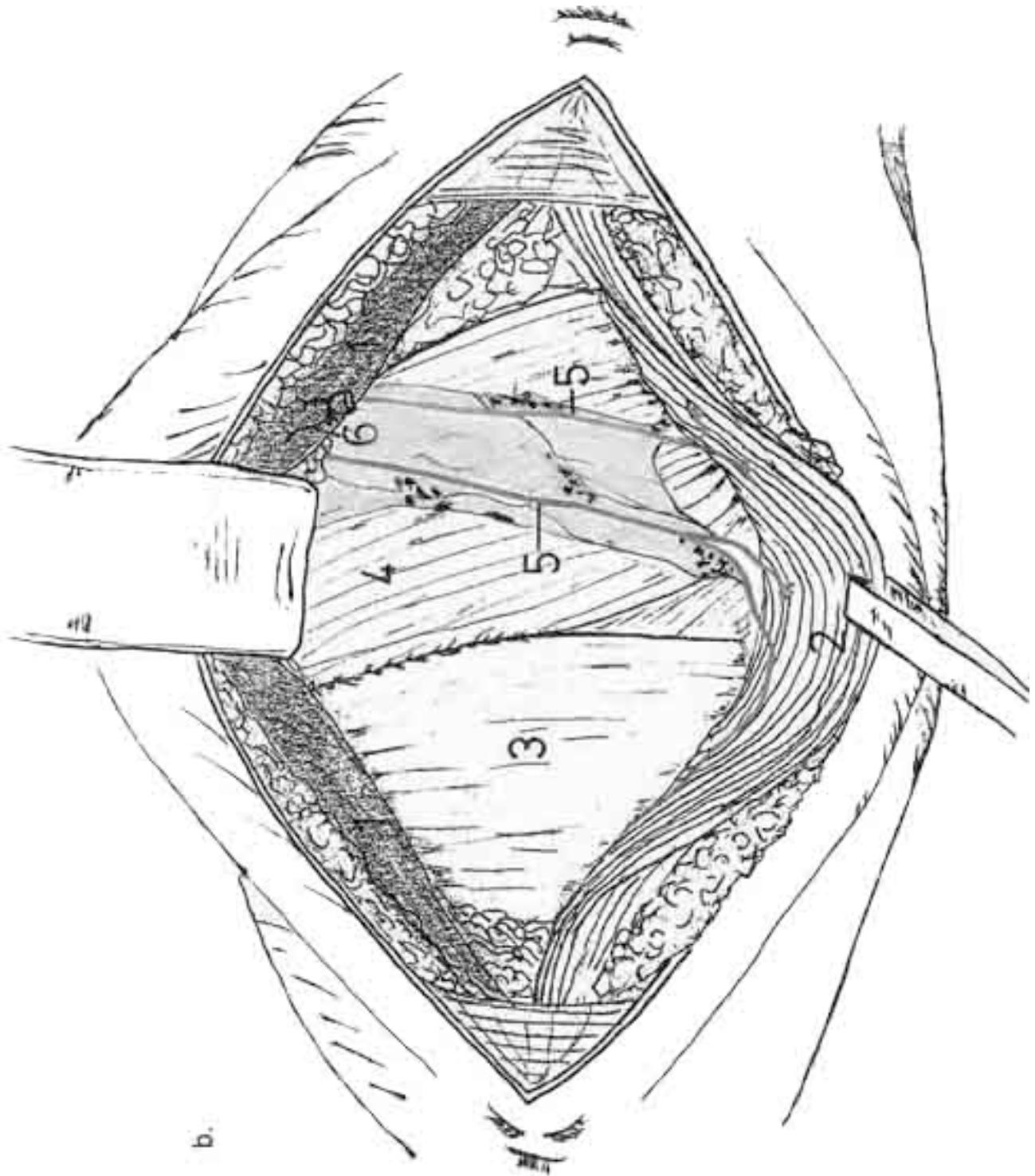


Abb. 9

Variierende Aufzweigungsmuster des Ventralastes des ersten Halsnerven beim Pferd

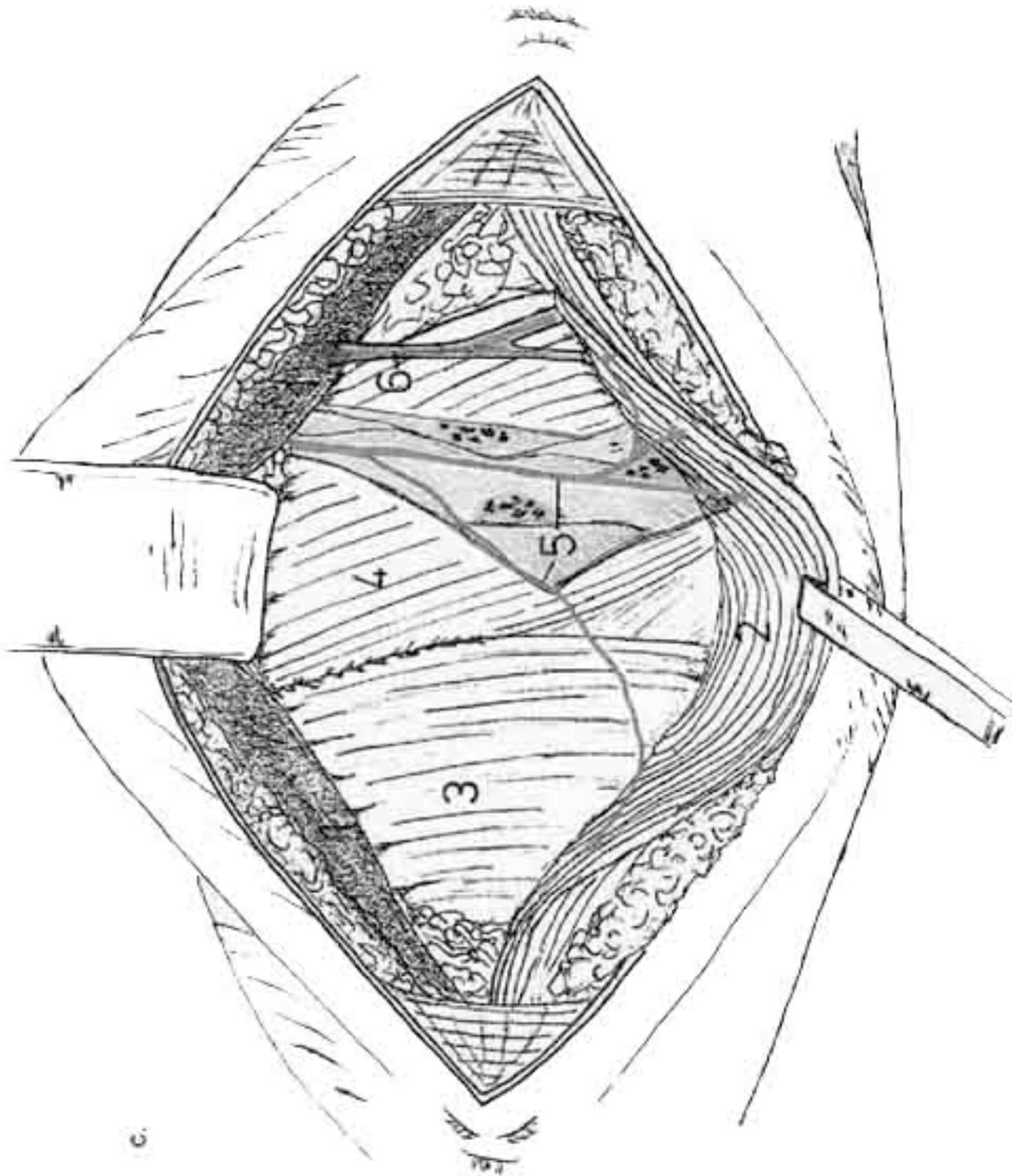
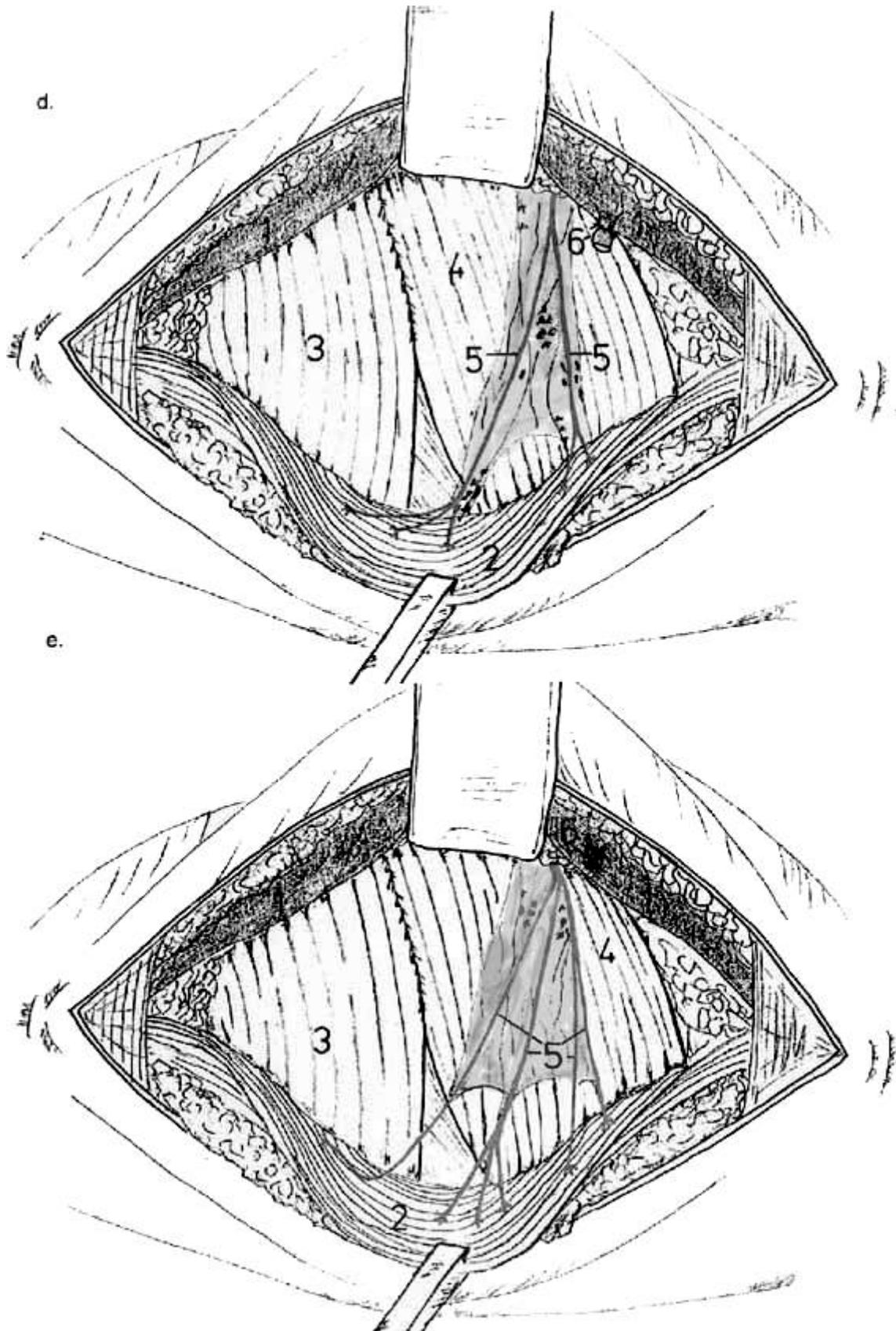


Abb. 9

Variierende Aufzweigungsmuster des Ventralastes des ersten Halsnerven beim Pferd



2.9. Der Musculus omohyoideus als Donor zur Reinnervation des Musculus cricoarytaenoideus dorsalis sinister

Der Schulter-Zungenbeinmuskel entspringt aponeurotisch aus der unter dem Schulterblatt befindlichen Faszie, der *Fascia subscapularis*. Von hier kreuzt er flächig die Region vor dem Schulterblatt, *Regio praescapularis*, die laterale Halsgegend, *Regio colli lateralis* und die Drosselrinne, *Sulcus jugularis*. Er legt sich als handbreiter Muskel flächig zwischen die Vena jugularis externa und die Arteria carotis communis und bietet so bei intravenösen Injektionen im Übergang vom oberen zum mittleren Halsdrittel einen Schutz der Arterie, und ihren begleitenden Strukturen. Weiter rostral in die ventrale Halsgegend, *Regio colli ventralis*, ziehend, verjüngt sich der Muskel, vereinigt sich mit dem Brustbein-Zungenbeinmuskel, *Musculus sternohyoideus*, sowie mit seinem Konterpart und setzt an der Zungenbeinbasis, *Basihyoideum* samt dem Processus lingualis an (BUDRAS u. RÖCK 1997 und KOCH u. BERG 1990). Innerviert wird der Muskel von den rein motorische Fasern führenden Ventralästen der ersten drei Halsnerven, selten nur vom ersten Halsnerven (WISSDORF et al. 1998). Gemeinsam mit dem Musculus sternohyoideus liegt die Funktion im Brustwärts- bzw. Herabziehen von Zungenbein und Zunge, wodurch gleichzeitig der Schlundkopf erweitert wird (THOMÉ 1999). DUCHARME et al. (1989a) können mithilfe elektromyographischer Untersuchungen beim Pferd Kontraktionen von Musculus omohyoideus und Musculus sternothyreoideus während der Inspiration bei forcierter Atmung nachweisen. Der Musculus omohyoideus kontrahiert sich hierbei synchron mit dem Musculus cricoarytaenoideus dorsalis, er ist somit als ein Atemhilfsmuskel anzusehen. Verpflanzt man einen Nerven des Musculus omohyoideus, wird der Rezipient ebenfalls erst bei angestrenzter Atmung seine Funktion aufnehmen (CRUMLEY 1982 und FULTON 1997). Die histologisch erkennbare Verteilung der Muskelfasertypen I und IIa von Musculus omohyoideus und Musculus cricoarytaenoideus dorsalis sind nahezu identisch. (DUCHARME et al. 1989a).

Abb. 10 Verlauf des Musculus omohyoideus der linken Seite

1. Atlas
2. Axis
3. Musculus omohyoideus
4. Musculus sternohyoideus
5. Musculus sternothyreoideus
6. Musculus sternomandibularis; durchtrennt
7. Vena jugularis externa
8. Vena linguofacialis
- 8a. Vena maxillaris
9. Larynx
- 9a. Hyoid
10. Ventralast des ersten Halsnerven
11. Ventralast des zweiten Halsnerven

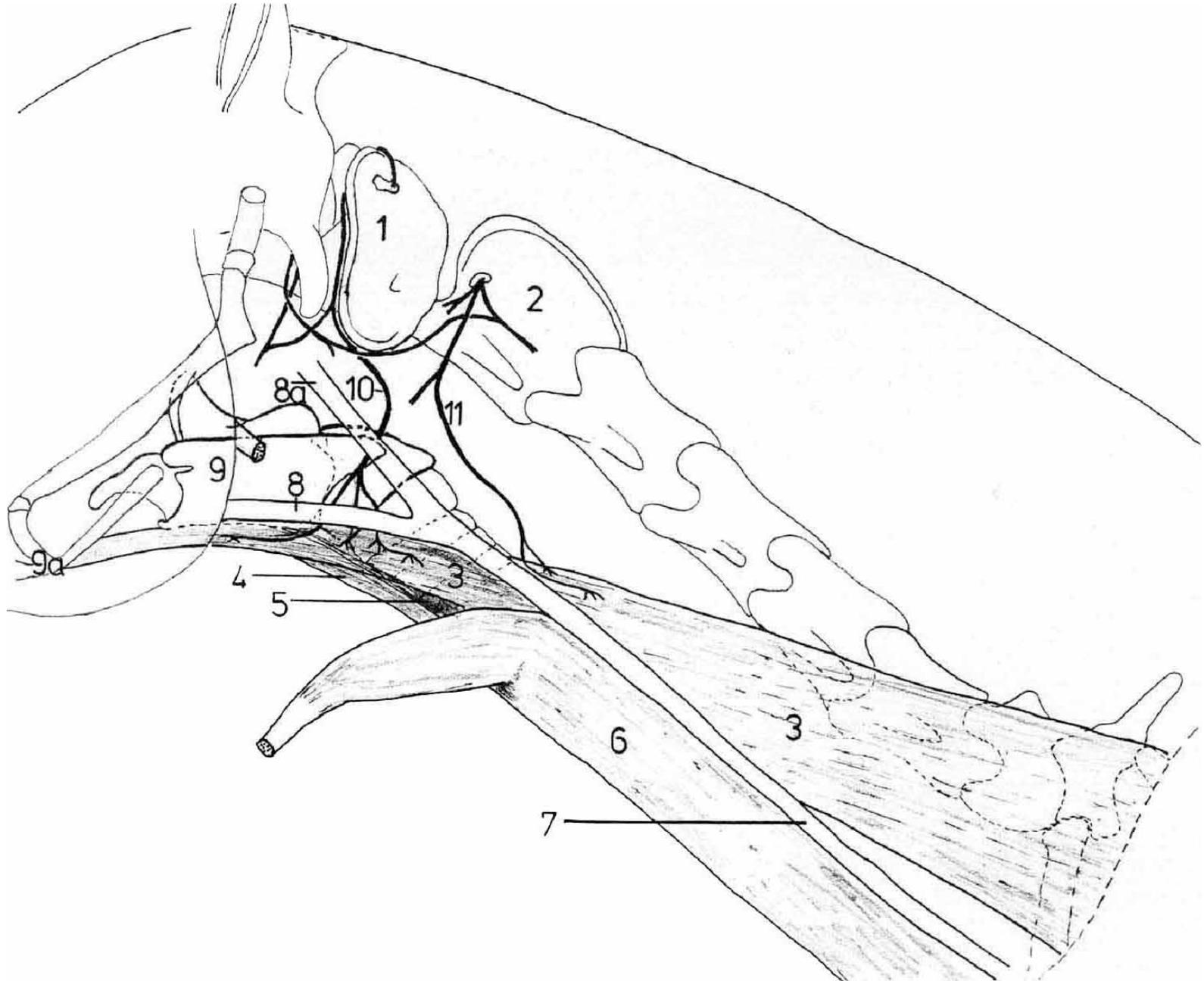


Abb.10 Verlauf des Musculus omohyoideus der linken Halsseite des Pferdes