

UNIVERSITÄTSKLINIKUM HAMBURG-EPPENDORF

Poliklinik für Hör-, Stimm- und Sprachheilkunde

Direktor: Prof. Dr. med. Markus Hess

Präparation humaner Kehlköpfe zur Klärung der Lagebeziehung zwischen *M. cricoarytaenoideus lateralis* und *M. thyroarytaenoideus* sowie der am Aryknorpel inserierenden Taschenfaltenmuskeln

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
an der Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg.

vorgelegt von:

Philine Albrecht
aus Kiel

Hamburg 2018

Angenommen von der
Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg am: 23.01.2019

Veröffentlicht mit Genehmigung der
Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg.

Prüfungsausschuss, der/die Vorsitzende: Prof. Dr. Markus Hess

Prüfungsausschuss, zweite/r Gutachter/in: PD Dr. Uwe Wehrenberg

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
1.1	Grundlagen	3
1.1.1	Anatomie des Kehlkopfes	3
1.1.1.1	Funktion der inneren Kehlkopfmuskeln	4
1.1.2	LCA und TA – bisherige Darstellung in der Literatur	5
1.1.3	Taschenfaltenmuskel	14
1.2	LCA- und TA- assoziierte Krankheitsbilder	16
1.2.1	Spasmodische Dysphonie	16
1.2.1.1	Ätiologie	16
1.2.1.2	Diagnostik und Differentialdiagnosen	17
1.2.1.3	Therapie	18
1.2.1.3.1	Botulinumtoxin (Btx)	18
1.2.1.3.2	Therapie des Adduktortyps (Btx-Injektion in LCA und TA)	19
1.2.1.3.3	Nebenwirkungen	20
1.2.1.4	Prognose und Bedeutung der richtigen Zielstrukturen	21
1.2.2	Stimmbandlähmung	21
1.2.2.1	Ätiologie	21
1.2.2.2	Diagnostik und Differentialdiagnosen	22
1.2.2.3	Therapie der UVFP	23
1.2.2.3.1	Injektionslaryngoplastik	24
1.2.2.3.2	Thyroplastik	25
1.2.2.4	Prognose	26
1.3	Hypothese und Fragestellung	27
2	Material und Methoden	28
2.1	Sektionsauswahl	28
2.2	Beschreibung der Präparationsschritte	28
2.3	Fotografische Darstellung der Präparate	30
2.4	Abweichungen bei der Präparation und/oder fotografischen Darstellung	31
2.5	Bildbearbeitung	32
3	Ergebnisse	34
3.1	Fotos der Präparate 1-20 und deren systematische Auswertung	34

4	Diskussion	56
4.1	Diskussion der Methodik	56
4.2	Diskussion der Ergebnisse	57
4.3	Ausblick	58
5	Zusammenfassung	60
5.1	Summary	61
6	Abkürzungsverzeichnis	62
7	Literaturverzeichnis	63
8	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	68
9	Danksagung	71
10	Lebenslauf	72
11	Eidesstattliche Versicherung	74

1 Einleitung

Der Kehlkopf ist ein komplexes Organ, welches im Hinblick auf die elementarsten Funktionen unseres Lebens eine essentielle Rolle spielt. Er ist wichtiger Bestandteil der Atmung, Nahrungsaufnahme wie auch der Kommunikation.

Funktionsstörungen des Kehlkopfes können intra- oder extralaryngealer Genese sein. Die Bandbreite der Ursachen reicht vom simplen viralen Infekt bis hin zu malignen Veränderungen. Fest steht, dass nahezu jeder im Laufe seines Lebens selbst einmal von Funktionseinschränkungen des Kehlkopfes betroffen ist (Rosenthal, 2016).

Vor dem Hintergrund zunehmender Bedeutung von Kommunikation in unserer Gesellschaft, haben Menschen mit gestörter Kommunikationsfähigkeit einen niedrigeren sozioökonomischen Status und sind häufiger von Arbeitslosigkeit betroffen. Allein in den USA entsteht dadurch jährlich ein Schaden in Höhe von 145-168 Milliarden US-Dollar, was 2,5 bis 3 Prozent des Bruttoinlandsproduktes entspricht. Wissenschaftler gehen davon aus, dass sich dieser Trend fortsetzen und die krankheitsbedingte Beeinträchtigung von Kommunikation zu einer neuen Herausforderung des 21. Jh. werden könnte (Ruben, 2000).

1.1 Grundlagen

Die genaue Kenntnis der Anatomie des Kehlkopfes ist für das Verständnis der Phonation und ihrer Pathologien von grundlegender Bedeutung.

1.1.1 Anatomie des Kehlkopfes

Der humane Kehlkopf befindet sich in Projektion auf die Wirbelsäule auf Höhe des 6.-7. Halswirbelkörpers. Im Säuglingsalter liegt er im Verhältnis zunächst weiter kranial auf Höhe des 3.-4. Halswirbelkörpers. Im Laufe der Jahre deszendiert der Kehlkopf bis er im Alter von 60 Jahren etwa auf Höhe des 7. Halswirbelkörpers lokalisiert ist (Fried et al., 2009).

Der Kehlkopf besteht aus drei unpaaren Knorpeln: dem Schildknorpel (*Cartilago thyroidea*), dem Ringknorpel (*Cartilago cricoidea*) und dem Kehldeckel (*Epiglottis*) sowie den paarig angelegten Aryknorpeln (*Cartilagine arytenoideae*), auf deren Spitze die gleichnamigen Spitzenknorpel (*Cartilagine corniculatae*) sitzen.

Schild-, Ring- und der Großteil der Aryknorpel bestehen aus hyalinem Knorpel, wohingegen die Epiglottis, die Spitzenknorpel und die *Processus vocales* der Aryknorpel aus elastischem Knorpel bestehen (Friedrich & Hammer, 2016).

Jeweils zwei Gelenke gewährleisten die Beweglichkeit der Knorpel. Durch die Artikulation des *Cornu inferior* des Schildknorpels mit dem Ringknorpel (*Articulatio cricothyroidea*)

ergibt sich die Möglichkeit einer Kippbewegung. Weitere Freiheitsgrade erzielt die Art. cricoarytenoidea, welche die Basis der Stellknorpel zur Oberkante des Ringknorpels im Sinne einer Dreh- und Gleitbewegung verschieben können (Schünke et al., 2009).

Die Kehlkopfmuskulatur wird in zwei Gruppen eingeteilt. Die äußere Kehlkopfmuskulatur sorgt für die Verbindung zu den umliegenden Strukturen und bewegt den Kehlkopf während des Sprech- und Schluckaktes als Einheit in der vertikalen Ebene (Friedrich & Hammer, 2016). Zur Gruppe der äußeren Kehlkopfmuskeln zählt die infrahyoidale Muskulatur sowie der Musculus constrictor pharyngis inferior.

Die inneren Kehlkopfmuskeln, deren Beschreibung auch Bestandteil dieser Arbeit ist, inserieren an den Stellknorpeln und variieren die Konfiguration der Stimmlippen. Ihre Aufgabe ist im nachfolgenden Kapitel detaillierter dargestellt (siehe Kap. 1.1.1.1 Funktion der inneren Kehlkopfmuskeln).

Die Innervation aller inneren Kehlkopfmuskeln erfolgt durch den Nervus laryngeus inferior, den Endast des N. laryngeus recurrens. Die einzige Ausnahme bildet der M. cricothyroideus, der von dem motorischen Ast (Ramus externus) des N. laryngeus superior innerviert wird.

Arteriell wird der Kehlkopf von Ästen der Arteria carotis externa und der A. subclavia versorgt. Die A. laryngea superior geht dabei in den meisten Fällen aus der A. thyroidea superior hervor, dem ersten Abgang der A. carotis externa. In 20 Prozent der Fälle ist hingegen ein direkter Abgang der A. laryngea superior aus der A. carotis externa beschrieben (Vázquez et al., 2009). Gemeinsam mit den venösen Begleitgefäßen und dem N. laryngeus superior erreicht die Arterie den Kehlkopf durch die Membrana thyrohyoidea. Die A. laryngea inferior entspringt aus der A. thyroidea inferior, die beidseits aus dem Truncus thyrocervicalis aus der A. subclavia hervorgeht.

1.1.1.1 Funktion der inneren Kehlkopfmuskeln

Spricht man über die Funktion des Kehlkopfes wird zwischen Primär- und Sekundärfunktion unterschieden.

Als Primärfunktion gelten vitale Funktionen wie die Respiration und der Schluckakt. Die Phonation ist evolutionär betrachtet ein relativ junges Phänomen und wird folglich als Sekundärfunktion klassifiziert (Fried et al., 2009).

Wie bereits beschrieben variieren die inneren Kehlkopfmuskeln die Konfiguration der Stimmlippen. Durch die Ausrichtung der Stellknorpel im dreidimensionalen Raum haben sie Einfluss auf Position, Form und Spannung der Stimmlippen. Hierdurch werden Hauptaufgaben wie die Öffnung der Glottis bei der Respiration und der Verschluss der Glottis beim Schluckakt und der Phonation reguliert (Friedrich & Hammer, 2016).

Die Gruppe der intrinsischen Kehlkopfmuskulatur wird entsprechend ihrer Funktion weiter unterteilt.

Muskeln, die die Stimmlippen schließen (Adduktorengruppe):

- M. cricothyroideus
- **M. cricoarytenoideus lateralis (LCA)**
- M. arytenoideus transversus und obliquus
- **M. thyroarytenoideus (TA)**

Muskel, der die Stimmlippe öffnet (Abduktorengruppe):

- M. cricoarytenoideus posterior

Muskeln, die die Stimmlippen spannen:

- M. cricothyroideus
- M. vocalis

Die Funktion von LCA und TA (dick gedruckt) soll im Folgenden differenziert dargestellt werden.

Durch die Kontraktion des LCA werden die Spitzen der Procc. vocales aufeinander zubewegt und die Pars intermembranacea (Stimmritzenabschnitt zwischen den Ligamenta vocalia) verschlossen. Gleichzeitig wird die Pars intercartilaginea (Stimmritzenabschnitt zwischen den Aryknorpeln) geöffnet. Infolgedessen werden die Stimmbänder leicht gedehnt und die Phonation eingeleitet. Der TA hingegen führt bei Kontraktion zu einem vollständigen Verschluss der Stimmritze. Die Stimmbänder erscheinen merklich verkürzt (Koike et al., 1975).

1.1.2 LCA und TA – bisherige Darstellung in der Literatur

Der LCA ist ein schmaler Muskel, der vom kranialen Rand des Arcus cartilaginis cricoideae zur Vorderseite des Processus muscularis des Aryknorpels auf der gleichen Seite zieht.

Der TA liegt lateral des Ligamentum vocale und des Morgagni-Ventrikels. Es ist ein flacher, dünner Muskel, der ausgehend von der unteren Hälfte des Angulus inferior und des Lig. cricothyroideum in posterolaterale Richtung zur Facies anterolateralis des Aryknorpels reicht. Ein mediales Bündel von Muskelfasern des TA bildet den sogenannten M. vocalis, der von der lateralen Fläche des Proc. vocalis und der Facies anterolateralis entspringt und an der unteren Rückseite des Schildknorpels inseriert. Er verläuft parallel und lateral des Lig. vocale, welches einige der Muskelfasern generiert. Weitere Muskelfasern des TA

erstrecken sich bis in die Plica aryepiglottica, wo sie teilweise enden und andere weiter zum Rand der Epiglottis ziehen, wo sie den M. thyroepiglotticus bilden (Friedrich & Hammer, 2016).

Abbildung 1 zeigt den Kehlkopf in der Ansicht von kranial. Auf der rechten Seite ist der M. vocalis gezeigt. Der LCA ist nur im Querschnitt zu erkennen. Linksseitig ist der TA zu erkennen. Dessen Fensterung lässt Fasern des M. thyroepiglotticus durchscheinen.

In der Ansicht von dorsolateral (Abb. 2) liegt das Hauptaugenmerk auf LCA und PCA. Der TA wird nicht berücksichtigt. Auf diese Weise können zwar viele Muskeln benannt werden, jedoch sind die Abbildungen wenig übersichtlich und tragen kaum zum besseren Verständnis der Lagebeziehung zwischen LCA und TA bei. Eine geeignete Ansicht von rechts lateral ist nicht geboten. Auch die angedeuteten Faserverläufe lassen nicht eindeutig auf die Zugrichtung der Muskeln schließen.

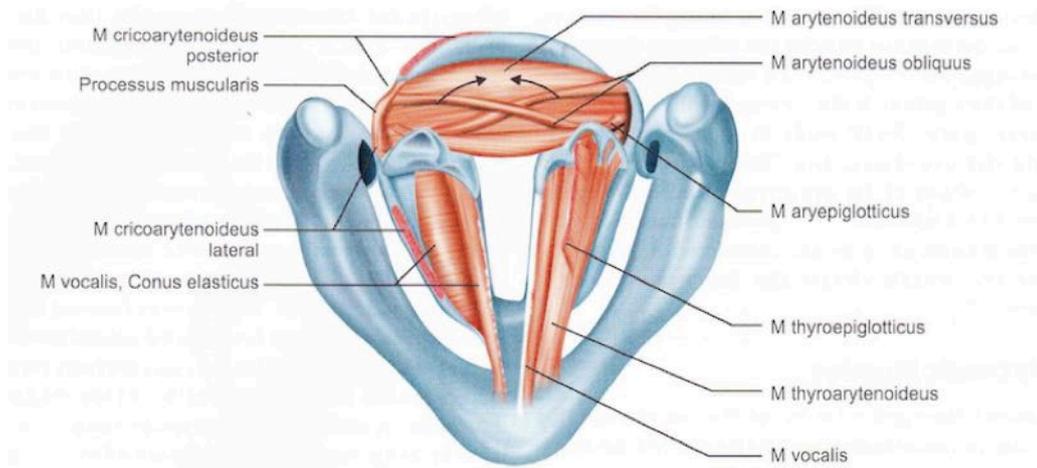


Abb. 1: Zeichnung in der Ansicht von kranial; Epiglottis entfernt (Friedrich & Hammer, 2016)

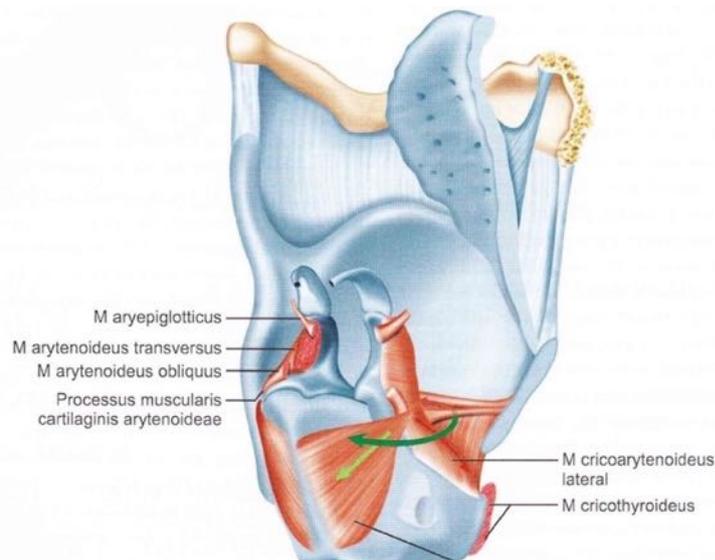


Abb. 2: Zeichnung in der Ansicht von dorsolateral rechts; rechte Hälfte des Schildknorpels entfernt (Friedrich & Hammer, 2016)

In der Literatur finden sich darüber hinaus zahlreiche Darstellungen des M. cricoarytaenoideus lateralis und M. thyroarytaenoideus. Diese variieren nicht nur hinsichtlich ihrer Darstellungsmethode, sondern weisen auch morphologisch sehr unterschiedliche Ergebnisse auf.

Im Folgenden sind mehrere Darstellungsversuche aus verschiedenen Jahren gezeigt und beschrieben.

Eine Zeichnung (Abb. 3) des Anästhesiologen James T. Roberts aus dem Jahr 1990 zeigt den Kehlkopf in der Ansicht von kranial, wodurch er sich ein verbessertes Verständnis der Anatomie und der Funktion des Kehlkopfes erhofft.

Lateral des rechten Stimmbandes (a) liegen der TA (c) und der LCA (d). Die Lagebeziehung ist somit nur in einer Ebene dargestellt. Auch die Zugrichtung kann nicht im 2-dimensionalen Raum beantwortet werden.

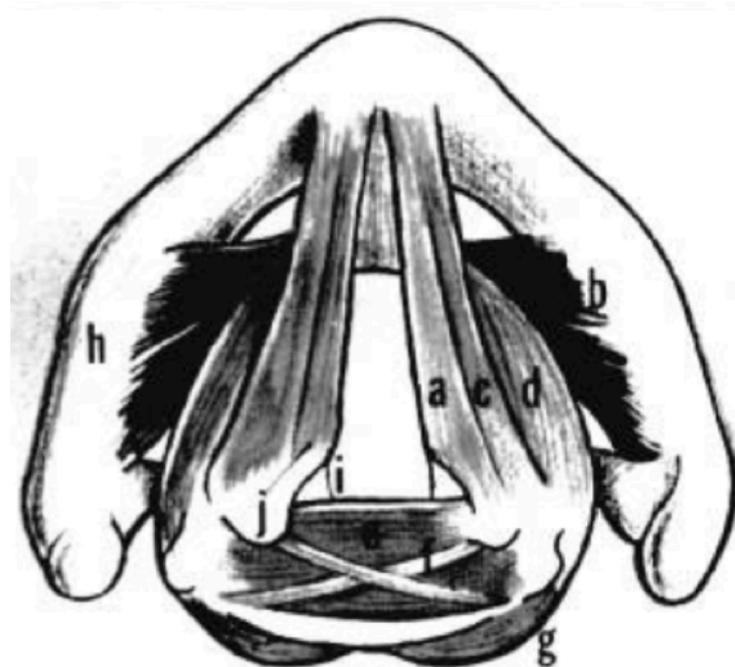


Abb. 3: Zeichnung in der Ansicht von kranial (Roberts, 1990)

Die fotografische und zeichnerische Darstellung (Abb. 4) einer im Jahr 1994 publizierten Studie zur Botulinumtoxin-Therapie bei Spasmodischer Dysphonie beruht auf der Mikrodissektion von sieben humanen Kehlköpfen. Die Autoren beschreiben einen massigen sog. endolaryngealen Muskelkomplex, der durch den gemeinsamen Insertionspunkt des LCA und TA am Aryknorpel entsteht. Darüber hinaus konnten sie keinen Anhalt für ein Septum zwischen den Muskeln finden, sondern beobachteten entlang ihrer üblichen Grenzen ineinandergreifende Muskelfasern, was die Differenzierung zwischen LCA und TA erschwerte (Castellanos et al., 1994). Aufgrund der mangelhaften

Qualität der Fotos und Zeichnungen ist eine eingehendere Beurteilung an dieser Stelle nicht möglich.

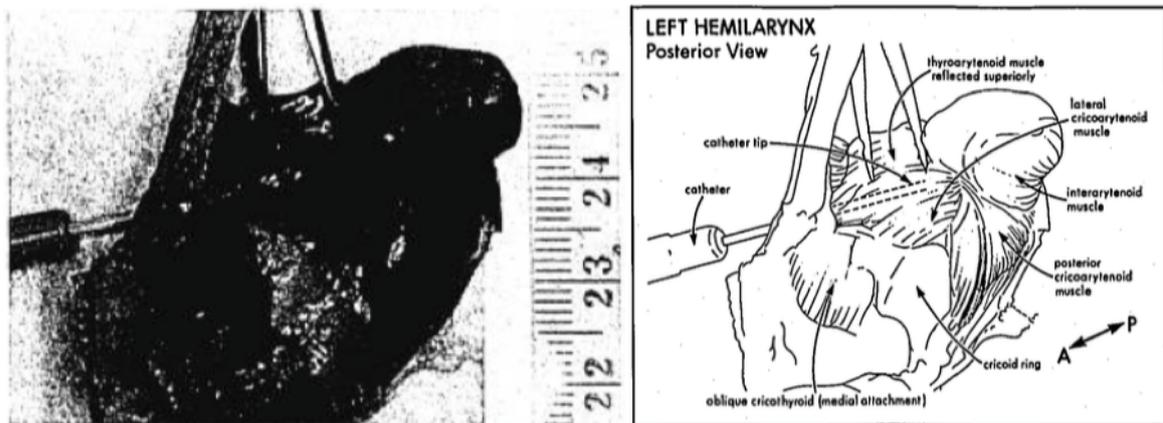


Abb. 4: Foto und Zeichnung in der Ansicht von dorsal (Castellanos et al., 1994)

Die Abbildungen (Abb. 5+6) in der Ansicht von links entstammen dem Fotoatlas Anatomie von Gosling et al. aus dem Jahr 2005, in dem jeweils ein Foto eines anatomischen Präparates mit einer beschrifteten Zeichnung kombiniert wird.

Dazu schreiben die Autoren: „Der LCA entspringt von der Knorpelspange und setzt am Muskelfortsatz des Stellknorpels an. Seine Muskelfasern verlaufen nach hinten oben.

Der TA entspringt von der Innenseite des Schildknorpels angrenzend an den Conus elasticus. Er setzt am Muskelfortsatz des Stellknorpels an. Der im medialen Rand der Stimmfalte gelegene Teil des Muskels (M. vocalis) versteift die Stimmfalte“ (Gosling & Lippert, 2005).

Die Abbildung 5 zeigt den LCA mit dem Durchtritt des N. laryngeus recurrens. Sie benennt außerdem einige Muskelfasern als TA, welche jedoch entgegen der zuvor aufgeführten Beschreibung frei zu enden scheinen. Betrachtet man den Verlauf, ziehen sie eher in aufsteigender Richtung. Die Pars aryepiglottica ist zudem als Teil des M. arytenoideus obliquus definiert. Der LCA verläuft lateral des TA und verdeckt so seinen Ursprung am Aryknorpel. Die Zugvektoren verhalten sich etwa im 90° Winkel zueinander.

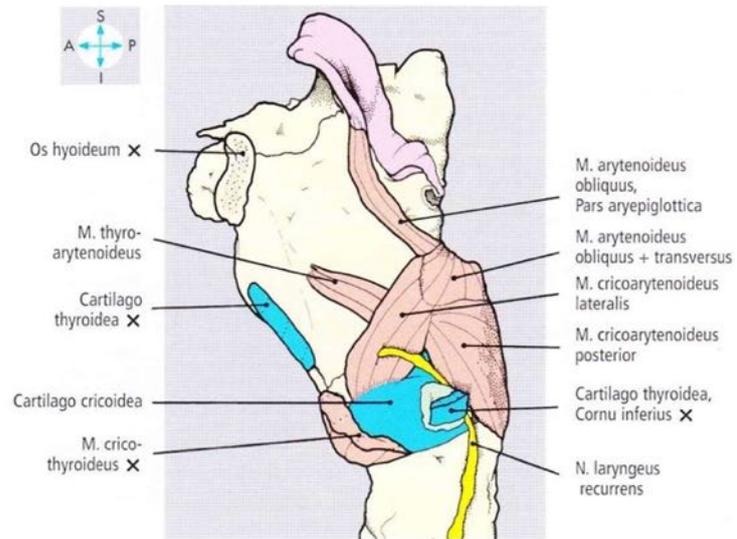


Abb. 5: Kehlkopfpräparat und Zeichnung in der Ansicht von links (Gosling & Lippert, 2005)

Ein weiteres Präparat (Abb. 6) gibt nach Entfernung des LCA die Sicht auf Ansatz und Ursprung eines ebenfalls als TA bezeichneten Muskels frei, der dieses Mal entsprechend der Beschreibung von der Innenseite des Schildknorpels zum Proc. muscularis des Aryknorpels zieht. Verglichen mit der vorherigen Abbildung ist der Faserverlauf deutlich horizontaler.

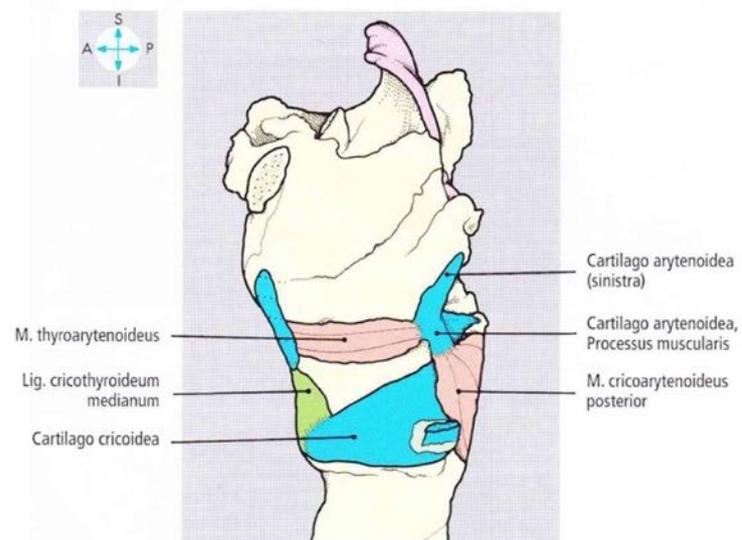


Abb. 6: Kehlkopfpräparat und Zeichnung in der Ansicht von links (Gosling & Lippert, 2005)

Rohen et al. verzichten im Jahr 2006 auf die textliche Beschreibung von Strukturen und zeigen diese ausschließlich anhand von Fotos anatomischer Präparate. Dabei entstehen zwei Fotografien (Abb. 7+8) in der Ansicht von dorsolateral rechts, in denen der LCA (13) gezeigt wird. Außerdem zeigt die Abbildung 8 in einer tieferen Schicht den M. vocalis - als genauer bezeichnet - Teil des M. thyroarytaenoideus (20) (Rohen et al., 2006).

Die oberflächlichere Präparation bildet den M. thyroepiglotticus (11) als eigenständigen Muskel ab und lässt die muskuläre Struktur, die an der Rückseite des Schildknorpels entspringt und am Aryknorpel inseriert, unbeschrieben. Die Lagebeziehung und Zugrichtung sind angedeutet beurteilbar, ihnen gilt jedoch nicht das Hauptaugenmerk.

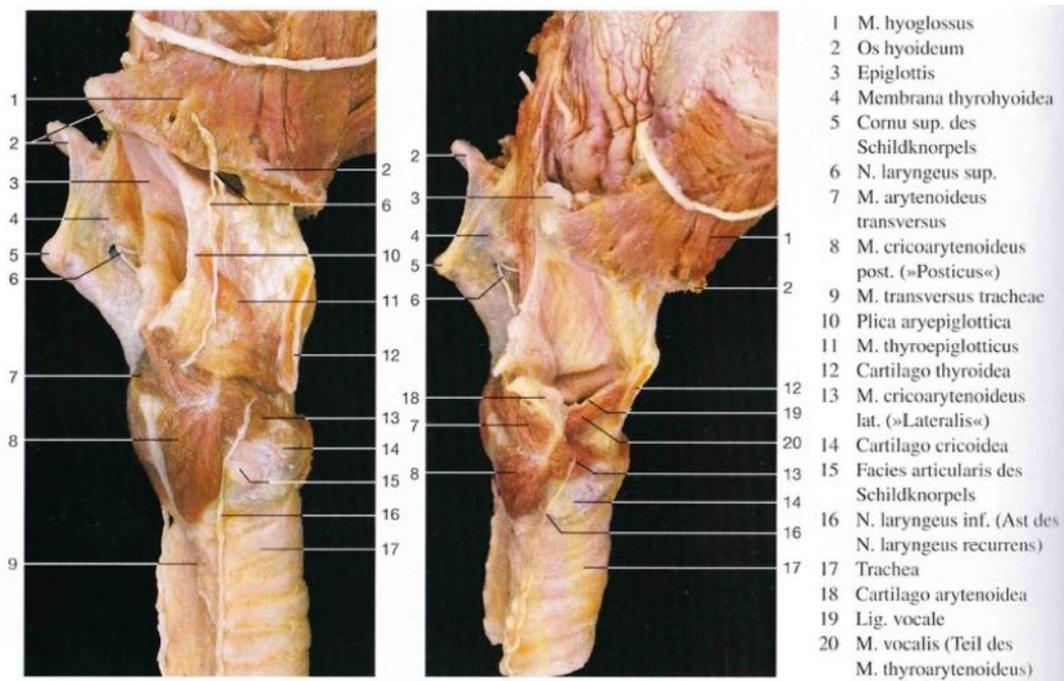


Abb. 7: Kehlkopfpräparate in der Ansicht von dorsolateral rechts (Rohen et al., 2006)

Abb. 8: Kehlkopfpräparate in der Ansicht von dorsolateral rechts (Rohen et al., 2006)

In einem Lehrbuch für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde findet sich darüber hinaus folgende Darstellung (Abb. 9). Die Autoren gebrauchen den TA und den M. vocalis als äquivalente Ausdrücke. Demnach ist der TA ein schmaler Muskel, welcher von der lateralen Fläche des Proc. vocalis zur Rückseite des Schildknorpels zieht, wo er median etwa im unteren Drittel inseriert. Der zur Abbildung des TA transparent dargestellte Muskel ist nicht näher bezeichnet. Der LCA verläuft in leicht deszendierender Richtung von der Vorderseite des Proc. muscularis zum kranialen Rand des Arcus cartilaginis cricoideae.

Der LCA ist kräftiger ausgeprägt als der schmale TA. Soweit ersichtlich weisen die beiden Muskeln keine Überlappung auf und verhalten sich etwa im 45° Winkel zueinander.

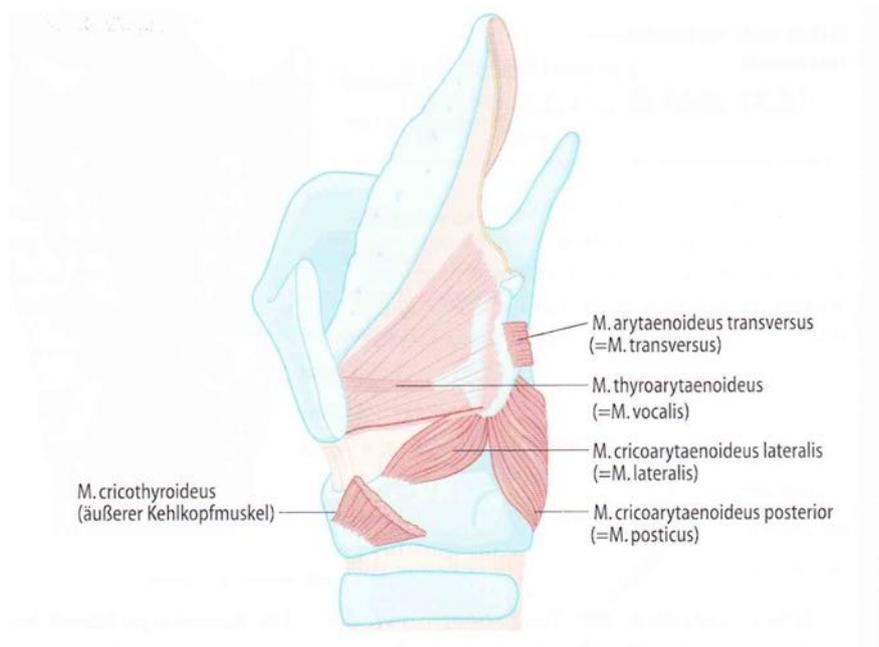


Abb. 9: Zeichnung in der Ansicht von links; linke Hälfte des Schildknorpels fast ganz entfernt (Boenninghaus & Lenarz, 2007)

Im Prometheus zur Kopf-, Hals- und Neuroanatomie ist der TA in einer Zeichnung (Abb. 10) als eher flächiger Muskel mit einer Pars externa/ Pars thyroepiglottica dargestellt. Diese entspricht nach aktueller Nomenklatur der ursprünglich als M. thyroepiglotticus bezeichneten Struktur (Schünke et al., 2009).

Die Abbildung 11 zeigt nach Entfernung der linken Schildknorpelhälfte in der Ansicht von links lateral den M. vocalis als ganz feinen Muskelfaserzug.

Der LCA verläuft vom kranialen Rand des Arcus cartilaginis cricoideae zur Vorderseite des Proc. muscularis des Aryknorpels.

Der TA verläuft in diesem Darstellungsversuch lateral und etwa in gleicher Zugrichtung wie der LCA. Die Pars externa ist nicht vom restlichen Muskel zu differenzieren. Eine Pars interna ist nicht beschrieben.

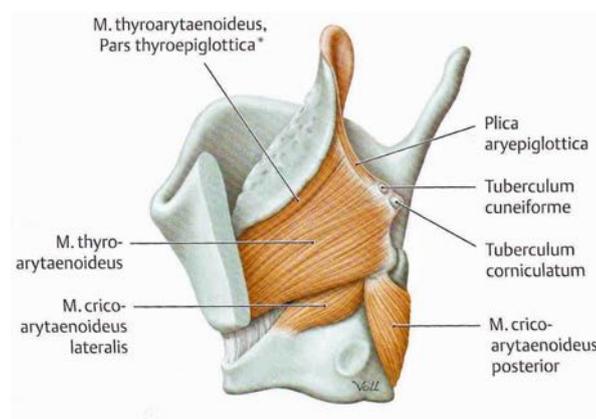


Abb. 10: Zeichnung in der Ansicht von links; linke Hälfte des Schildknorpels fast ganz entfernt (Schünke et al., 2009)

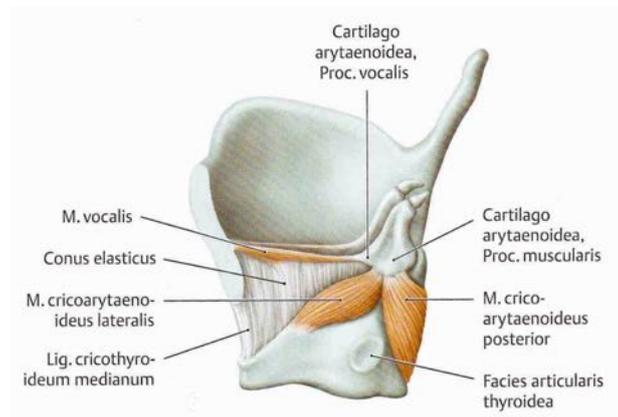


Abb. 11: zusätzlich sind Epiglottis und TA entfernt worden (Schünke et al., 2009)

Im Jahr 2012 wurden mehrere Studien publiziert, die zum Ziel hatten die Kehlkopf-anatomie mithilfe der Magnetresonanztomographie zu veranschaulichen und eine bessere Vorstellung der dreidimensionalen Gegebenheiten zu vermitteln.

Grundlage der Studie von Chen et al. ist der exzidierte Kehlkopf einer 68-jährigen, der nach ihrem Tod mithilfe eines 7-Tesla micro-MRTs untersucht und anschließend mit der 3D Software Mimics12.1 rekonstruiert wurde.

Nachdem in einer Studie aus dem Jahr 2002 mit einem 2-T Gerät nur eine ungenaue Diskriminierung einzelner Muskeln und deren Faserverlauf erzielt werden konnte (Selbie et al., 2002), behaupten die Autoren mit der 7-T micro-MRT die intrinsischen Kehlkopfmuskeln gut voneinander abgrenzen und sogar deren Volumen bestimmen zu können (Chen et al., 2012) (siehe Tab. 1). Das Volumen des LCA beträgt demnach nur etwa 22 Prozent von dem des TA.

Tab. 1: Volumen der intrinsischen Kehlkopfmuskulatur (Chen et al., 2012)

Tissues	Left Volume (mm ³)	Right Volume (mm ³)
Thyroarytenoid muscle	862.75	851.56
Posterior CA muscle	605.10	599.02
Cricothyroid muscle	586.11	566.61
Lateral CA muscle	192.16	188.45
LP	95.65	92.34

In der MRT (Abb. 12) zeigen sich in der Ansicht von rechts zwei Muskeln mit ähnlichem Faserverlauf, jedoch unterschiedlicher Densität (A). Der eher hypodens anmutende TA wirkt dabei etwas flächiger als der schmale LCA, der zudem hyperdens erscheint.

Die 3D Rekonstruktion (Abb. 13) erscheint weniger anschaulich als von den Autoren versprochen. Die Lagebeziehung von LCA und TA wird aus keiner der angebotenen

Perspektiven deutlich und insbesondere die Zugvektoren sind nicht erkennbar. Außerdem erscheint die Aussagekraft von der Untersuchung nur eines Kehlkopfes sehr limitiert.

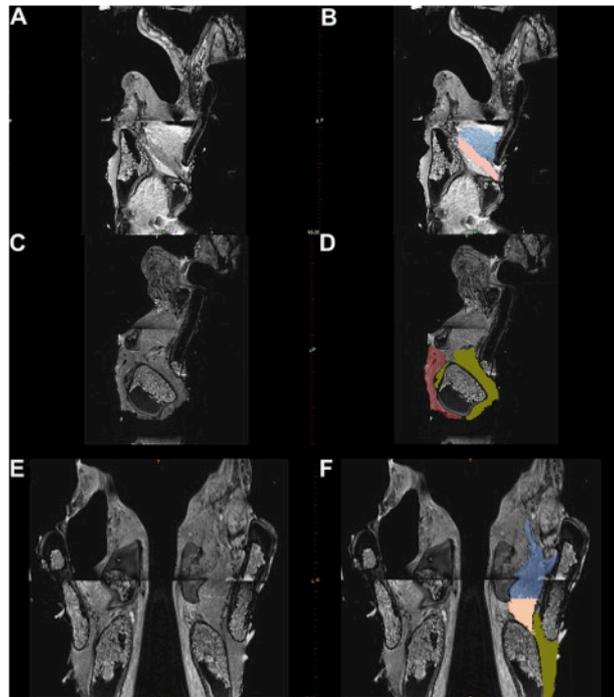


Abb. 12: LCA (rosa) und TA (blau) in der MRT (Chen et al., 2012)

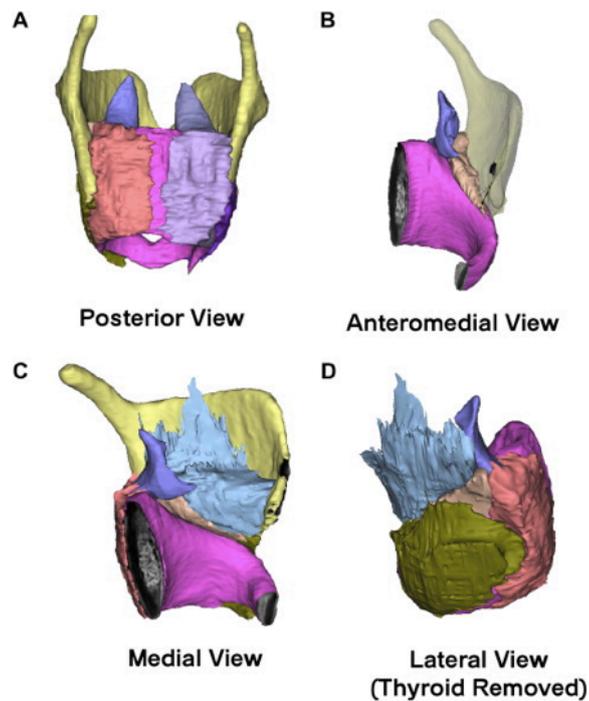


Abb. 13: 3D-Rekonstruktion (Chen et al., 2012)

In einer anderen Studie zur 'korrekten' Elektrodenführung bei der Elektromyographie des Kehlkopfes wurden 23 Kadaverkehlköpfe mithilfe einer 3-T MRT untersucht und ebenfalls mit Mimics rekonstruiert.

Im Ergebnis sind alle Kehlkopfmuskeln klar zu erkennen. In der MRT (Abb. 15) sind der LCA und der TA in der Ansicht von kranial durch eine schmale Fettschicht voneinander abzugrenzen. Außerdem besitzt der LCA in der MRT eine niedrigere Intensität als der TA (Storck et al., 2012).

Auch in der 3D Ansicht von rechts bleibt das Ergebnis übersichtlich. In der Abbildung 16 gut zu erkennen ist der Insertionspunkt beider Muskeln an der anterolateralen Facies des Aryknorpels. Zudem fällt der annähernd horizontale Verlauf des TA im Gegensatz zu dem nach anterior leicht deszendierenden Verlauf des LCA auf.

Im Vergleich zu der Rekonstruktion von Chen et al. scheinen beide Muskeln außerdem etwa das gleiche Volumen zu haben.

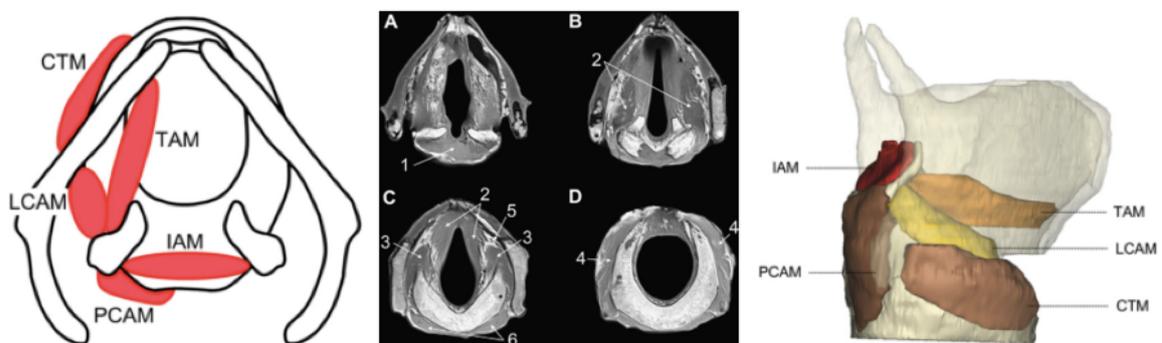


Abb. 14: schematische Zeichnung in der Ansicht von kranial (Storck et al., 2012)

Abb. 15: MRT-Aufnahmen (Storck et al., 2012)

Abb. 16: 3D-Rekonstruktion in der Ansicht von rechts lateral (Storck et al., 2012)

1.1.3 Taschenfaltenmuskel

Ogleich die Datenlage in der gängigen Literatur eher dürftig ist, gibt es einige Studien, die sich mit einem weiteren Muskel im Bereich lateral der Stimmritze beschäftigen, dem sog. M. ventricularis oder auch Taschenfaltenmuskel genannt. Die muskulären Anteile der Taschenfalte (Plica vestibularis) sind in der Literatur unterschiedlich beschrieben und die funktionelle Bedeutung des Taschenfaltenmuskels ist umstritten.

Als wichtige Funktion wird hierbei etwa die Möglichkeit eines Stimmritzenverschlusses aufgeführt werden. Anstelle der Plicae vocales kann der Taschenfaltenmuskel eine Adduktion der Plicae vestibulares initiieren. Dies gilt insbesondere bei der einseitigen Stimmbandlähmung als wichtiger Kompensationsmechanismus zum Erhalt der Phonation (Pinho et al., 1999). Demnach werden die Muskeln der Taschenfalte vermutlich vom N. laryngeus superior innerviert (Reidenbach, 1998).

Morphologische Studien schildern vor allem die große Variabilität von Präsenz, Größe und Orientierung des Taschenfaltenmuskels.

Kotby et al. führten im Rahmen einer histologischen Studie an 20 Kadavarkehlköpfen Koronarschnitte entlang der Plicae vestibulares durch. Bei 95 Prozent der Präparate fanden sie Anhalt für das Vorhandensein eines Taschenfaltenmuskels. Über die Hälfte der Präparate zeigte bereits im anterioren Abschnitt der Plica vestibularis verstreute Muskelfaseranteile, die nach posterior weiter zunahmen und schließlich lateral des TA ebenfalls am Aryknorpel inserierten. Einige andere Präparate wiesen erst mittig der Plica vestibularis Fasern eines Taschenfaltenmuskels auf (Kotby et al., 1991).

Reidenbach et al. konnten in einer weiteren histologischen Studie an 32 Kadavarkehlköpfen drei Muskelsysteme der Taschenfalte hervorheben. Sie unterschieden ein posterolaterales Muskelbündel (PLM), welches sich etwa im vorderen Drittel der Plica vestibularis in ein anterolaterales- (ALM) und ein dezent ausgeprägtes anteromediales Muskelsystem (AMM) aufteilt (Reidenbach, 1998).

In Anlehnung an die Ergebnisse dieser Autoren wurde 2013 erneut eine vergleichbare Studie veranlasst. Moon und Alipour untersuchten die Verteilung muskulärer Anteile in der Plica vestibularis, in dem sie histologische Koronarschnitte in vier Quadranten unterteilten. Im unteren lateralen Quadranten fanden sie im posterioren Abschnitt gelegene Fasern des TA und des Taschenfaltenmuskels. Weiter anterior war der Taschenfaltenmuskel teilweise auch im oberen lateralen Quadranten lokalisiert (Moon & Alipour, 2013).

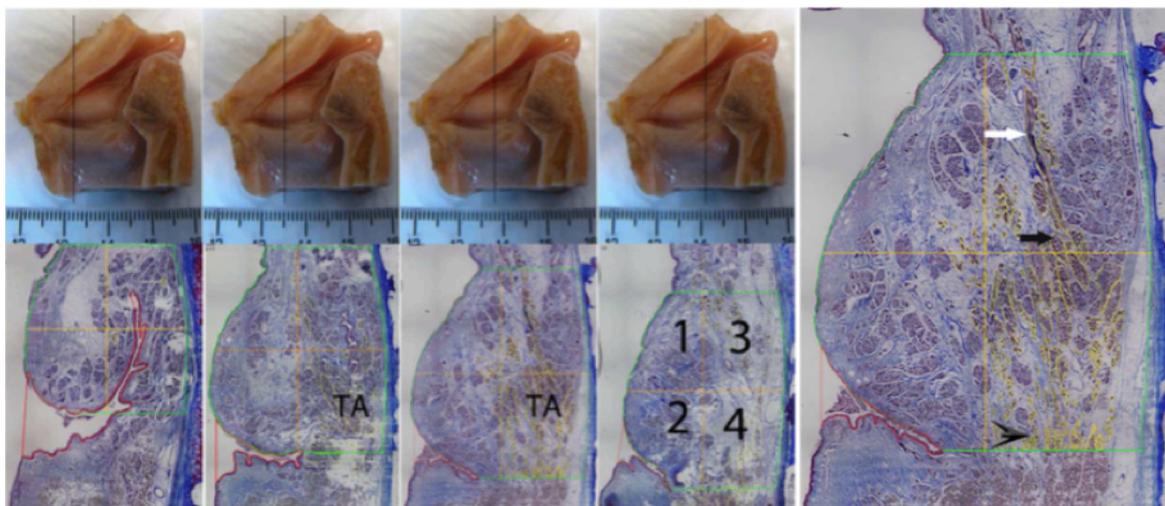


Abb. 17: Koronarschnitte entlang der Plica vestibularis von anterior nach posterior (Moon & Alipour, 2013)

Abb. 18: Detail aus Histopräparat 3: TA (schwarze Pfeilspitze), Taschenfaltenmuskel (schwarzer Pfeil) (Moon & Alipour, 2013)

Makroskopische Studien zu dem Thema scheinen in der gängigen Literatur bisher zu fehlen.

1.2 LCA- und TA- assoziierte Krankheitsbilder

Die Kenntnis der Lagebeziehung der inneren Kehlkopfmuskeln ist für eine suffiziente Behandlung der im Folgenden exemplarisch dargestellten Krankheitsbilder von entscheidender Bedeutung.

1.2.1 Spasmodische Dysphonie

Die Spasmodische Dysphonie (SD) ist eine seltene Sprachstörung, die erstmals 1871 von Ludwig Traube als „nervöse Heiserkeit“ beschrieben wurde.

Charakteristisch für die Spasmodische Dysphonie sind die angespannten Stimme sowie häufige Unterbrechungen des Sprachflusses. Frauen sind häufiger betroffen als Männer. Die Krankheit kann vom jugendlichen- bis ins hohe Erwachsenenalter auftreten, typischerweise jedoch in der fünften Lebensdekade. Die Symptome entwickeln sich erst schrittweise, bis es nach ein bis zwei Jahren zur vollen Ausprägung des Krankheitsbildes kommt. Etwa 25 Prozent haben zusätzliche Dystonien im Kopf-Gesichts-Bereich und nicht selten tritt die spasmodische Dysphonie in Kombination mit einem Stimmtremor auf (Reichel et al., 2012). Funktionen wie das Lachen, Flüstern, Schreien und sogar Singen bleiben weitgehend unbeeinträchtigt (Ludlow et al., 2008).

Deshalb galt die Spasmodische Dysphonie lange Zeit als psychogene Störung, da sie in den meisten Fällen nur während des Sprechens auftritt. Die Behandlung mit Sprach- und Psychotherapie erzielt jedoch nur unbefriedigende Ergebnisse.

Die Annahme einer psychogenen Störung wurde erst 1976 grundlegend verändert. In einer Studie zur Therapie der Spasmodischen Dysphonie konnte bei 34 Patienten durch die chirurgische Durchtrennung des N. laryngeus recurrens eine signifikante Verbesserung der Sprechsymptomatik erzielt werden (Dedo, 1976).

Heutzutage wird die Spasmodische Dysphonie als fokale Dystonie angesehen, welche eine unfreiwillige Kontraktion der inneren Kehlkopfmuskeln während des Sprechens bedingt (Blitzer et al., 1985). Das Auftreten im Rahmen generalisierter Dystonien ist ebenfalls möglich.

1.2.1.1 Ätiologie

Die Ursache der Spasmodischen Dysphonie ist weitgehend ungeklärt.

Die meisten Fälle scheinen sporadisch aufzutreten. Nur 12 Prozent der Patienten berichten von Familienmitgliedern mit ähnlichen Sprachstörungen (Blitzer, 2010). Dabei sind die Hinweise für eine genetische Prädisposition bei Patienten mit fokaler Dystonie geringer als

bei generalisierter Dystonie. Dennoch wird aufgrund der im Wesentlichen identischen Symptome ein gemeinsamer Mechanismus vermutet.

1.2.1.2 Diagnostik und Differentialdiagnosen

Die Spasmodische Dysphonie lässt sich orientierend in zwei Gruppen unterteilen. Man unterscheidet einen Adduktortyp (über 90%), bei dem die Patienten typischerweise mit einer gepressten, angestregten Sprache auffallen, und einen Abduktortyp mit leiser, flüsternder Stimme (Reichel et al., 2012).

Außerdem sind Fälle vom Pseudo-Abduktortyp beschrieben, in denen Patienten mit starkem Adduktorspasmus flüstern, um ihre Symptome zu kompensieren (Blitzer, 2010).

Andere wiederum gehen davon aus, dass alle Patienten Mischtypen sind, mit lediglich einem vorherrschenden Typ. Zudem gibt es einige Patienten, bei denen sich der vorherrschende Typ verändert (z.B. vom Adduktor- zum Abduktortyp) (Cannito & Johnson, 1981).

Aufgrund der vielen Varianten und der Kompensationsversuche der Patienten ist die SD oft schwer zu diagnostizieren. Eine häufige Fehldiagnose ist in diesem Zusammenhang die funktionelle Dysphonie (MTD = muscle tension dysphonia). Durch die Dysregulation der laryngealen- und extralaryngealen Muskelaktivität fallen die Patienten ebenfalls mit einer angestregten Stimme auf, welche der der SD-Patienten nahezu identisch ist.

Im Unterschied zur MTD wird die SD jedoch als „Aufgaben-abhängig“ beschrieben, d.h. für die SD besteht eine signifikante Korrelation der Schwere der Symptomatik mit dem Sprachfluss, während bei der MTD der Sprachfluss und die Bildung anhaltender Laute gleichermaßen betroffen sind (Roy et al., 2014).

Ein Komitee der NIH (= National Institutes of Health) legte 2005 die im Folgenden angeführten Kriterien zur Diagnose einer SD fest.

Demnach müsse die Symptomatik länger als drei Monate anhalten und dürfe außerdem nur während des Sprechens bestehen. Nicht-sprachliche Aufgaben wie das Schreien, Weinen, Flüstern, Seufzen oder Lachen sollten unbeeinträchtigt bleiben. In 30 Prozent der Fälle würde außerdem ein Tremor auffallen. Zudem seien SD-assozierte Dystonien wie Blepharospasmen und Dystonien der Hände *sog. Writer's Cramp* beschrieben, während andere neurologische Zeichen fehlen würden.

Eine Untersuchung des Kehlkopfes zum Ausschluss anderer Pathologien sei immer empfohlen (Ludlow et al., 2008).

Eine objektivere Methode zur Diagnostik der SD verspricht die Elektromyographie des Kehlkopfes (LEMG = laryngeal electromyography), die zunehmend an Bedeutung gewinnt (Klotz et al., 2004; Yang et al., 2015). Von der LEMG-Diagnostik erhoffen sich die Autoren außerdem, die Subtypen der SD eindeutig klassifizieren zu können. Die genaue Kenntnis der beteiligten Muskeln sei ausschlaggebend, um suffiziente Therapiestrategien festlegen zu können. Im Umkehrschluss könne die Unkenntnis der Zielmuskeln für das Scheitern einer Behandlung verantwortlich sein. Weiter bestehe die Möglichkeit mithilfe der LEMG den Verlauf und Erfolg einer Therapie mit Botulinumtoxin zu monitoren.

1.2.1.3 Therapie

Psychotherapeutische, logopädische und medikamentöse Behandlungsversuche sowie operative Eingriffe (Durchtrennung oder Quetschung des N. laryngeus recurrens) erzielten keine zufriedenstellenden Resultate. Methode der Wahl ist die Injektion von Botulinumtoxin (Reichel et al., 2012).

1.2.1.3.1 Botulinumtoxin (Btx)

Btx Typ A (Btx A) ist eines von sieben bekannten Neurotoxinen, welches von dem Bakterium *Clostridium botulinum* produziert wird und klinisch zum Krankheitsbild des Botulismus führt, einer progressiv schlaffen Lähmung der Muskulatur (Larson, 1987).

In sehr geringen Dosen kann das Toxin als Injektion verabreicht lokale Lähmungserscheinungen vermitteln, sodass kleinste Muskeln individuell und äußerst selektiv geschwächt werden können (Scott, 1980).

Zur lokalen Behandlung von Spastiken ist der Einsatz von Btx A in der Literatur erstmals 1989 von Das und Park beschrieben.

Die Btx-Wirkung bei Dystonien beruht wie auch bei anderen neuromuskulären Indikationen hauptsächlich auf einer Blockade des SNAP-25 (= *synaptosomal-associated protein of 25 kD*), eines speziellen Proteins des sog. SNARE-Fusionskomplexes, wodurch die Bindung von Azetylcholinvesikeln an die präsynaptische Membran verhindert wird. Resultierend ergibt sich eine Hemmung der Azetylcholinausschüttung in den synaptischen Spalt. Da der spezifische Btx A-Rezeptor im Azetylcholinvesikel liegt, werden nur aktive Synapsen durch Btx A blockiert (Reichel et al., 2012).

Die Btx-Wirkung tritt nicht sofort nach Injektion ein, da das Toxin zunächst aufgenommen und gespalten werden muss. Erst die Freisetzung des aktiven Spaltprodukts erzielt nach ein paar Tagen den maximalen Effekt, sodass die Nervenendigungen kein Azetylcholin mehr freisetzen können. Dennoch bemerken Patienten den Wirkungseintritt meist innerhalb

von 24 Stunden. Abhängig von der applizierten Dosis hält der Effekt von Btx A bei Dystonien etwa drei bis sechs Monate (Woodson & Benninger, 2016). Die Inaktivierung des Toxins durch Proteolyse sowie die Bildung neuer Fusionsproteine führt dazu, dass die Synapse ihre Funktionsfähigkeit wiedererlangt. Darüber hinaus erfolgt durch Aussprossung sog. *Sprouting* der terminalen Nervenfasern eine Reinnervation der gestörten neuromuskulären Übertragung (Reichel et al., 2012).

1.2.1.3.2 Therapie des Adduktortyps (Btx-Injektion in LCA und TA)

Die Injektion von Btx in den TA erfolgt heutzutage meist perkutan mithilfe einer EMG-gesteuerten Kanüle. Ein Anstieg der Motoreinheit Potentiale (MUP = motor unit potential), welcher zu einem verdichteten EMG-Muster führt, verifiziert dabei die korrekte Platzierung der Nadel im Muskel. Erfahrenen Ärzten gelingen vergleichbare Resultate jedoch auch ohne EMG-gestützte Kontrolle (Fulmer et al., 2011).

Eine Alternative zur perkutanen Behandlung des Adduktortyps ist die Laryngoskopie-gesteuerte transorale Injektion des Medikaments durch die Stimmlippen (Ford et al., 1990).

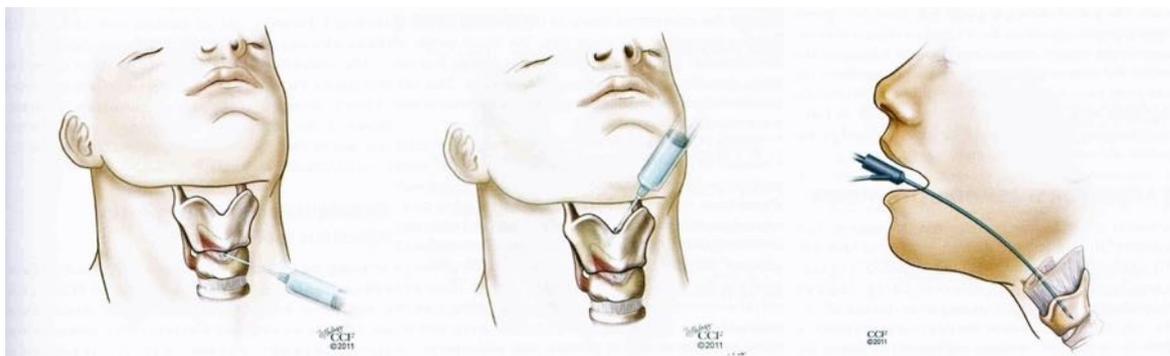


Abb. 19: perkutaner Zugang; transcricothyroid (1), transthyrohyoid (2), transoraler Zugang (3) (Woodson & Benninger, 2016)

Die Abbildung 19.1 zeigt die perkutane Injektion von Btx durch die Membrana cricothyroidea. Nach Palpation der anatomischen Landmarken sowie Desinfektion und Lokalanästhesie der Haut und des Unterhautfettgewebes wird die Kanüle durch die Membran gestochen. Da insbesondere bei Frauen Unsicherheiten bei der Lokalisation der Membrana cricothyroidea auftreten können, kann zudem eine Ultraschallkontrolle hilfreich sein (Reichel et al., 2012). Danach führt man die Kanüle nach superior und leicht lateral. Diese Technik ermöglicht einen Zugang zum Muskel, ohne dabei die Atemwege zu eröffnen.

Bei der Injektion durch die Membrana thyrohyoidea (Abb. 19.2) wird die Nadel in der Mittellinie direkt über der Incisura thyroidea superior eingestochen und nach inferior geführt.

Ein transoraler Zugang (Abb. 19.3) erfordert eine längere und gebogene Nadel mit größerem Lumen.

Btx kann entweder uni- oder bilateral appliziert werden. Allgemein gilt, dass eine Symptomkontrolle bei unilateraler Injektion erst mit wesentlich höheren Dosen erreicht wird. Derzeit werden bei moderater bis schwerer SD üblicherweise kleine bilaterale Dosen verabreicht, wohingegen milde oder intermittierende Formen nur unilateral behandelt werden (Woodson & Benninger, 2016).

Bei der Erstbehandlung wird eine Dosis von 0,05 ml Btx pro Seite empfohlen, die bei nachfolgenden Injektionen gegebenenfalls auf eine Dosis von 0,1ml Btx pro Seite erhöht werden kann (Reichel et al., 2012).

1.2.1.3.3 Nebenwirkungen

Als Nebenwirkungen der Btx-Therapie werden in der Literatur passagere Heiserkeit, Dysphagie vor allem beim Konsum von Flüssigkeiten, Aspiration sowie transiente Dyspnoe beschrieben (Ludlow et al., 1988). Die Nebenwirkungen treten mit variierender Inzidenz und Schwere auf (Borodic et al., 1990; Brin et al., 1989).

Die große Bandbreite der Nebenwirkungen und die unterschiedlichen Konfigurationen des Kehlkopfes nach Btx-Therapie veranlassten Alonso et al. 2013 dazu, folgende Hypothese aufzustellen. Sie postulierten, dass das injizierte Btx über die Grenzen des Zielmuskels hinaus auch in benachbarte Muskeln diffundieren würde. In einer Studie, in der sie bei achtzehn exzidierten Kehlköpfen anstelle des Toxins je 0,2 ml *aniline blue* in den TA (Zielfmuskel) injizierten, um dessen Diffusion besser beurteilen zu können, fiel auf, dass der Farbstoff anschließend in 94,3 Prozent der Fälle auch im LCA nachweisbar war. Der M. cricothyroideus war zudem in 42,9 Prozent der Fälle betroffen und der M. cricoarytenoideus posterior immerhin bei 8,6 Prozent der Präparate miteingefärbt worden. Die nahezu hundertprozentige Beteiligung des LCA, als wichtiger Adduktor, würde Nebenwirkungen wie die Aspiration als Folge eines inadäquaten Verschlusses des hinteren Drittels der Glottis und der Fehlpositionierung der Proc. vocalis erklären (De Oliveira Alonso et al., 2013).

Insbesondere bei der bilateralen Injektion gilt Achtsamkeit, da es klinisch zum Bild der beidseitigen Stimmbandlähmung kommen kann (Venkatesan et al., 2010).

1.2.1.4 Prognose und Bedeutung der richtigen Zielstrukturen

Der Schlüssel zur erfolgreichen Behandlung der SD liegt in der genauen Kenntnis der Zielmuskeln, einer folgerichtigen Platzierung der Injektion und letztlich auch der individuell angepassten Btx-Dosis.

In einer Studie zur Therapie der SD konnte durch Btx-Injektion in den TA bei insgesamt 1300 Patienten eine Erfolgsquote von 92,1 Prozent erzielt werden (Blitzer, 2010).

Eine weitere Studie, die mehrere therapeutische Vorgehensweisen bei SD verglich, zeigte die besten Ergebnisse für Patienten, die simultan Btx-Injektionen in den TA und LCA erhielten. Hier konnte ein positives Outcome von 97 Prozent erzielt werden (Inagi et al., 1996).

1.2.2 Stimmbandlähmung

Männer sind etwas häufiger von einer Stimmbandlähmung betroffen als Frauen (Kelchner et al., 1999).

Klinisch äußert sich die einseitige Stimmbandlähmung (UVFP = unilateral vocal fold paralysis) mit dem Symptom plötzlich einsetzender Heiserkeit. Die unvollständige Adduktion der Stimmlippen führt zu einem irregulären Luftstrom, der die Stimmbänder unkoordiniert in Schwingungen versetzt. Als Folge können Störungen der Phonation und Heiserkeit auftreten. Bei der beidseitigen Stimmbandlähmung (BVFP = bilateral vocal fold paralysis) kommt es als Zeichen der stenosierten Atemwege zu einem inspiratorischen Stridor. Resultierend besteht die Gefahr einer Beeinträchtigung der Atmung, die in besonders schweren Fällen eine Notfall-Intubation oder -Tracheotomie erfordern kann (Sittel et al., 2001b).

1.2.2.1 Ätiologie

Eine Lähmung der Stimmbänder kann durch eine Vielzahl auslösender Faktoren bedingt sein.

Die häufigste Ursache der UVFP ist die iatrogene Nervenschädigung im Rahmen eines chirurgischen Eingriffs (Kelchner et al., 1999) Entgegen früheren Annahmen entfällt dabei laut einer Studie die Mehrheit der Schädigungen primär auf Operationen, die nicht mit der Schilddrüse assoziiert sind. In einem Untersuchungskollektiv von 435 Probanden konnte bei 37 Prozent ein chirurgischer Eingriff als Ursache festgestellt werden. Davon entstanden nur 33 Prozent der Schädigungen im Kontext mit der Schilddrüse. Die restlichen 66 Prozent standen in Zusammenhang mit Wirbelsäulenoperationen, bei denen ein anteriorer Zugang

gewählt wurde, Karotisendarterektomien, Lungenbiopsien, Operationen von Aortenaneurysmen und Herzklappen. Die häufigste Ursache der BVFP bleibt jedoch die Thyreoidektomie oder Parathyreoidektomie (Rosenthal et al., 2007). Eine zuletzt veröffentlichte longitudinale Studie bestätigt die fallende Inzidenz der UVFP im Rahmen von Schilddrüsenoperationen (Cantarella et al., 2016).

Ein weiterer Grund für eine Stimmbandlähmung können Malignome sein. Dabei handelt es sich meistens um fortgeschrittene Lungentumore. In seltenen Fällen sind auch infiltrativ wachsende Ösophagustumore, eine AML oder N. vagus Schwannome als ursächlich dokumentiert (Rosenthal et al., 2007; Wang et al., 2012).

Darüber hinaus können auch Infektionen eine Stimmbandlähmung verursachen. In seltenen Fällen kann es dabei zu isoliert myogenen Schädigungen der Kehlkopfmuskeln kommen, beispielsweise im Rahmen einer Infektion mit Diphtherie oder Trichinose (Boenninghaus & Lenarz, 2007).

Neben neurogenen und myogenen Schäden sind in einigen Fällen auch zentrale Läsionen als auslösendes Ereignis für eine Stimmbandlähmung dokumentiert. Die UVFP tritt typischerweise bei Durchblutungsstörungen in der lateralen Medulla oblongata auf (Venketasubramanian et al., 1999). Beim Verschluss der A. cerebelli inf. post. kann es klinisch zum Wallenberg-Syndrom kommen.

1.2.2.2 Diagnostik und Differentialdiagnosen

Besteht der Verdacht einer Stimmbandlähmung wird zunächst eine Laryngoskopie durchgeführt, um die Beweglichkeit der Stimmlippen zu beurteilen. Je nach Ausmaß der Nervenschädigung kommt es zu einer Stellung in Median-, Paramedian- oder Intermediärposition (s. Abb. 20.1-3).

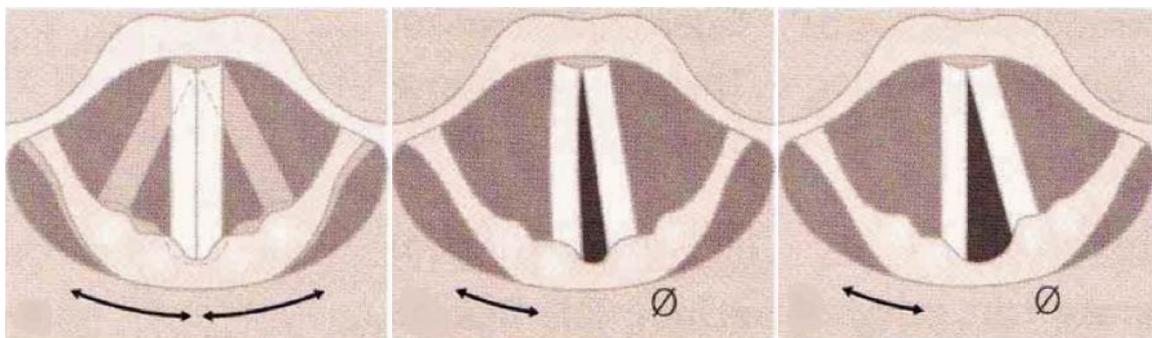


Abb. 20: Medianstellung bei normaler Stimmlippenbeweglichkeit (1), Paramedianstellung der linken Stimmlippe bei Lähmung des N. laryngeus inf. links (= „Recurrenslähmung links“) (2), Intermediärstellung der linken Stimmlippe bei gleichzeitiger Lähmung des N. laryngeus sup. und des N. laryngeus inf. links (3) (Boenninghaus & Lenarz, 2007)

Zwar kann eine Restbeweglichkeit als potentiell gutes prognostisches Zeichen gewertet werden, ist jedoch kein sicherer Hinweis (Sittel et al., 2001b).

Da die Prognose für die Therapieplanung jedoch von entscheidender Bedeutung ist, sollte im Abstand von 6 Monaten eine LEMG-Diagnostik erfolgen (Smith et al., 2012). Die Relevanz der Elektromyographie wird genauer in einem der folgenden Kapitel besprochen (siehe Kap. 1.2.2.4 Prognose).

Zur Erkennung einer funktionellen Stimmstörung bei einer UVFP und somit beeinträchtigten Schwingfähigkeit der Stimmlippen kann die Stroboskopie eingesetzt werden (Boenninghaus & Lenarz, 2007).

Um den Grad der Atemwegobstruktion bei einer BVFP bestimmen zu können, sollte eine respiratorische Funktionsdiagnostik durchgeführt werden (Sittel et al., 2001b).

Differentialdiagnostisch ist auch an eine Ankylose im Cricoarytaenoidgelenk zu denken. Dieser mechanische Schaden kann infolge einer Intubationsnarkose auftreten und ist daher rein anamnestisch kaum von einer Nervenschädigung im Rahmen einer Operation abzugrenzen (Paulsen et al., 1999). Wegweisend ist auch hier die LEMG.

1.2.2.3 Therapie der UVFP

Ziel der Therapie ist die Wiederherstellung der Sprechfunktion. Dies gelingt meist, ohne dass ein operativer Eingriff notwendig ist. Im Rahmen einer logopädischen Behandlung können Patienten Kompensationsmechanismen erlernen und ihre Stimme trainieren (Busto Crespo et al., 2016).

Bei persistierender Einschränkung der stimmlichen Leistungsfähigkeit kann eine Glottisinsuffizienz auch operativ korrigiert werden. Im Folgenden werden zwei Möglichkeiten beschrieben, um den glottischen Restspalt zu verringern.

Bei der Indikationsstellung gilt allgemein zu berücksichtigen, dass innerhalb der ersten 6 Monate nach Auftreten der Schädigung von Interventionen, die eine spontane Heilung verhindern, abzusehen ist. Nach Ablauf eines halben Jahres können anhaltende chirurgische Verfahren wie die Thyroplastik in Erwägung gezogen werden (Blumin, 2016).

Prä- und postinterventionell sollte zur Kontrolle des Therapieerfolgs eine Erhebung funktioneller Marker erfolgen. Gut geeignet sind die Stroboskopie, die maximale Phonationszeit (MPT = maximum phonation time) und der Voice Handicap Index (VHI), welcher zur subjektiven Bewertung einer Stimmstörung durch den Patienten entwickelt wurde (Jacobson et al., 1997).

1.2.2.3.1 Injektionslaryngoplastik

Die Injektionslaryngoplastik ist ein bewährtes Verfahren zur Therapie der Glottisinsuffizienz und wurde bereits 1911 von Wilhelm Brüning beschrieben (Sulica et al., 2010).

Das Verfahren kann jederzeit nach einer Nervenschädigung durchgeführt werden, da es in der Regel keinen negativen Einfluss auf die Regenerationsfähigkeit hat.

Ziel der Injektionslaryngoplastik ist es durch Einbringen eines Materials in den paraglottischen Raum lateral der gelähmten Stimmfalte den Restspalt zu verringern und somit die Phonation zu verbessern. Als konkrete Zielstruktur kann an dieser Stelle der TA genannt werden.

In der Literatur sind dazu diverse Techniken aufgeführt. Abhängig vom Setting kann die Injektionslaryngoplastik beim wachen oder narkotisierten Patienten entweder transoral oder perkutan durchgeführt werden. Bei der perkutanen Injektion werden darüber hinaus drei Zugangswege unterschieden (s. Abb. 21.1-3).

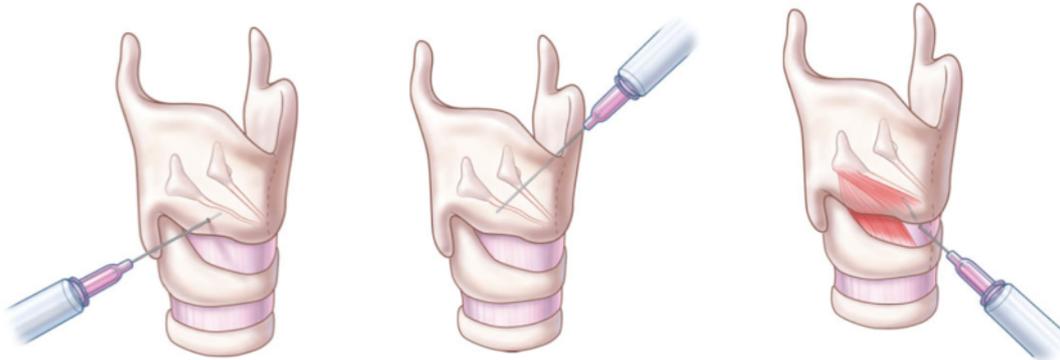


Abb. 21: perkutane Zugangswege: transthyroid (1), transthyrohyoid (2), transcricothyroid (3) (Rosen & Simpson, 2008)

Eine beim wachen Patienten häufig angewandte Technik ist die perkutane Injektion durch die Membrana cricothyroidea (Ward et al., 1985; Hirano et al., 1990). Dabei wird wie bereits in einem der vorherigen Kapitel beschrieben eine Kanüle unterhalb der Incisura thyroidea inferior platziert und in einem nach oben gerichteten leicht lateralen Winkel zum TA geführt (vgl. Kap. 1.2.1.3.2 Therapie des Adduktortyps).

Die Komplikationsrate liegt unabhängig vom Verfahren bei 2-3 Prozent (Sulica et al., 2010).

Ebenfalls in der Literatur kontrovers diskutiert ist das zu verwendende Injektionsmaterial. Allgemeine Anforderungen, denen das Material entsprechen sollte, sind die einfache Verfügbarkeit sowie die möglichst genaue Imitation der rheologischen Eigenschaften der Stimmfalte. Zudem sollte durch die Einbringung des Fremdmaterials keine Immunantwort

ausgelöst werden. Die Materialien werden gemäß ihrem Resorptionsverhalten in kurz- und langwirksam unterteilt (Bryson & Devine, 2016).

Das einzige Material, das von der FDA (= Food and Drug Administration) zur Injektion in die Stimmfalte zugelassen ist, ist Calcium Hydroxylapatite (CaHA). Mit einer mittleren Resorptionszeit von 19 Monaten zählt es zur Gruppe der langwirksamen Injektionsmaterialien. Die Wirkdauer ist dabei jedoch abhängig von der applizierten Dosis. In einer Studie konnte gezeigt werden, dass Dosen unter 0,85ml nach 18 Monaten nicht mehr nachweisbar waren (Kwon et al., 2013).

Dem Vorteil der langanhaltenden Wirkung müssen auch die Nachteile gegenübergestellt werden. Die unpräzise Applikationen von CaHA kann zu einer erheblich verminderten Stimmqualität führen (DeFatta et al., 2012). In schweren Fällen muss das Material aufgrund seiner langen Wirkdauer daher chirurgisch wieder entfernt werden (Chheda et al., 2008). Sollte es außerdem nach 6 Monaten nicht zu einer Regeneration des Nervs gekommen sein, kann ein Eingriff zur dauerhaften Medialisierung der Stimmlippen unter Umständen nur verzögert durchgeführt werden.

Weit verbreitet ist auch die Anwendung von Hyaluronsäure. Das Glykosaminoglykan kommt natürlicherweise als wichtiger Bestandteil der extrazellulären Matrix in der Stimmfalte vor (Chan et al., 2001). Dadurch werden praktisch keine Immunreaktionen beobachtet. Es bietet im Gegensatz zu CaHA den Vorteil auch unpräzisere Injektionen gut zu tolerieren, da sich die Hyaluronsäure von alleine gleichmäßig in der Stimmlippe verteilt. In einer aktuellen Studie konnte eine durchschnittliche Resorptionszeit von etwa 12 Wochen ermittelt werden (Halderman et al., 2014).

1.2.2.3.2 Thyroplastik

Die Medialisierungs-Thyroplastik (Typ I) findet erstmals 1974 Einzug in die Literatur (Isshiki et al., 1974). Ziel des Verfahrens ist durch Einbringung eines Implantats in den paraglottischen Raum eine Medialisierung der gelähmten Stimmlippe zu erreichen. Diese Operationstechnik kann in Betracht gezogen werden, wenn eine Regeneration des Nervs unwahrscheinlich ist.

Der Eingriff wird nach Möglichkeit in Lokalanästhesie durchgeführt. Dies bietet den Vorteil, die Position des Implantats intraoperativ unter Kontrolle der Phonation anzupassen (Koufman, 1986).

Zunächst wird der Schildknorpel vermessen und das sog. Fenster mithilfe orientierender anatomischer Landmarken eingezeichnet. Daraufhin folgen die Entfernung des Knorpels und die Präparation des Fensters. Wenn möglich erfolgt die Mobilisation des inneren Perichondriums ohne dieses dabei zu durchtrennen. Im Anschluss wird das Silikonimplantat

angepasst und in das zuvor präparierte Fenster eingesetzt. Abschließend sollte die Position verifiziert werden. Im Zuge dessen kann die Lokalisation des Implantats laryngoskopisch beurteilt und die MPT bestimmt werden. Eine MPT von mehr als 15-20 Sekunden ist mit guten Langzeitergebnissen assoziiert (Benninger, 2016).

Die Komplikationsrate bei der Medialisierungs-Thyroplastik (Typ I) ist gering und Revisionen sind selten (Young et al., 2010; Benninger, 2016).

1.2.2.4 Prognose

Unabhängig von einer Intervention erholt sich die Stimme etwa bei der Hälfte der Betroffenen (Sulica, 2008).

Ein prognostisch wertvoller Marker in der Diagnostik ist die LEMG (Sittel et al., 2001a; Smith et al., 2012). Die Elektromyographie gibt durch die Messung der Aktionspotentiale Aufschluss über die Integrität der neuromuskulären Einheit. Die Untersuchung ermöglicht eine erste orientierende Vorhersage, ob eine Regeneration der Nerven wahrscheinlich ist. In einer retrospektiven Studie konnten im Rahmen einer Injektionslaryngoplastik folgende Ergebnisse erzielt werden. Bei 74 Prozent der Patienten mit UVFP konnte eine vollwertige Erholung der Stimme verzeichnet werden. Bei knapp einem Drittel waren weitere Eingriffe zur Wiederherstellung erforderlich (Arviso et al., 2010).

Allerdings wird vermutet, dass eine früh nach der Nervenschädigung vorgenommene Injektionslaryngoplastik die Notwendigkeit einer anschließenden Thyroplastik herabsetzt (Friedman et al., 2010).

Eine Studie von Vinson et. al konnte zeigen, dass mit der Medialisierungs-Thyroplastik vergleichbar gute Ergebnisse erzielt werden (Vinson et al., 2010).

1.3 Hypothese und Fragestellung

Die Kenntnis der Lagebeziehung der inneren Kehlkopfmuskeln ist sowohl für die Injektion von Medikamenten und Implantaten wie auch für die Grundkenntnisse der stimmphysiologischen Zusammenhänge von großer Bedeutung. Durch die unterschiedliche Zugrichtung der muskulären Vektoren resultieren verschiedene Bewegungen des Aryknorpels. Obwohl die Muskeln engstens aneinander liegen, haben sie doch deutlich verschiedene Wirkungen auf die Stimmgebung.

In der gängigen Literatur sind diverse Darstellungsversuche von LCA und TA zu finden, die zum Teil jedoch stark variieren. Darüber hinaus ist die Qualität der Ergebnisse oft nur wenig zufriedenstellend. Makroskopische Studien zum Thema Taschenfaltenmuskel scheinen bisher gänzlich unberücksichtigt.

Deshalb sollen durch minutiöse Präparation des M. cricoarytaenoideus lateralis, M. thyroarytaenoideus mit Pars medialis und Pars lateralis sowie der am Aryknorpel inserierenden Taschenfaltenmuskeln die Zugvektoren visuell kenntlich gemacht werden. Durch geschickte Präparation soll die Lagebeziehung der Muskeln verdeutlicht werden. Anhand von hochauflösenden Fotos sollen die Ergebnisse im Anschluss dokumentiert werden. Ein besonderes Augenmerk soll dabei auch auf die didaktisch wertvolle Aufbereitung der Aufnahmen gelegt werden.

Die Fragestellung ist nur am dreidimensional einsehbaren exzidierten Kehlkopfpräparat lösbar.

2 Material und Methoden

2.1 Sektionsauswahl

Im Rahmen dieser Arbeit wurden 20 Kehlköpfe präpariert, die vom Institut für Rechtsmedizin des Universitätsklinikums Hamburg Eppendorf unter der Leitung von Prof. Püschel zur Verfügung gestellt wurden.

Unter Einwilligung der Spender, wurden die Kehlköpfe post mortem entnommen und zu Gunsten der Wissenschaft in das Labor der Poliklinik für Stimm-, Hör- und Sprachheilkunde überführt, wo sie bei -84°C gelagert wurden.

Nach Abschluss aller Präparationen wurden die Kehlköpfe einschließlich des im Rahmen der Arbeit abpräparierten Gewebes ordnungsgemäß in das Institut für Rechtsmedizin zurücküberführt.

Insgesamt wurden 10 männliche und 10 weibliche Kehlköpfe im Alter von 49 bis 92 Jahren untersucht. Der Altersdurchschnitt des Kollektivs betrug 70,5 Jahre.

Von der Arbeit ausgeschlossen wurden Kehlköpfe von Spendern mit zugrundeliegender Tumorerkrankung oder traumatischen Verletzungen im Halsbereich.

2.2 Beschreibung der Präparationsschritte

Vor Beginn der Präparation wurden die Kehlköpfe bei 20°C Raumtemperatur aufgetaut. Um den Auftauprozess zu beschleunigen, wurden die Präparate zusätzlich für kurze Zeit unter etwa handwarmes Leitungswasser gehalten.

Nachdem im Rahmen der Exzision ein Großteil der umliegenden Strukturen (Zungenbein, Schilddrüse und Nebenschilddrüse) bereits entfernt wurde, beliefen sich die ersten Präparationsschritte meist darauf, mithilfe einer anatomischen Pinzette und einer Präparierschere von ventral die Überreste des Bindegewebes und der Muskulatur entlang des Schildknorpels zu entfernen und im Zuge dessen das Cornu superior auf der linken Seite darzustellen. Das Cornu superior diente im weiteren Verlauf als eine von drei Aufhängungen zur anschließend fotografischen Darstellung der Präparate. Als nächstes wurden beidseits die Musculi cricothyroidei dargestellt. In Vorbereitung auf die Mobilisation des Art. cricothyroideus wurde der Muskel hinterher rechtsseitig entfernt und die Unterkante des Schildknorpels weiter definiert.

Um den Zugang zum eigentlichen Präparationsgebiet zu gewährleisten, wurde mit einer scharfen Schere die Epiglottis entfernt, sodass auch die Oberkante des Schildknorpels abgegrenzt wurde. Daraufhin wurde dieser von der Innenseite mit einem scharfen Löffel weiter mobilisiert und letztlich im rechten Art. cricothyroideus luxiert.



Abb. 22: Ansicht von ventral nach Entfernung des umliegenden Gewebes

Abb. 23: Ansicht von dorsal; Art. cricothyroidea rechts luxiert

Abb. 24: Ansicht von kranial nach Entfernung der Epiglottis

Um den Schildknorpel im Anschluss rechtsseitig komplett zu entfernen, wurden unterschiedliche Präparationstechniken in Erwägung gezogen.

Mit dem Ziel, den Ansatz des TA am Schildknorpel möglichst gut und dabei originalgetreu abzubilden, wurde bei den Präparaten 1-6 angestrebt, diesen zwischen Incisura superior und inferior in der Medianebene zu spalten. Da die Praxis eine exakte Trennung in dieser Ebene ohne die Verletzung des Muskelansatzes nicht zuließ, wurde der Schildknorpel zunächst mit einer starken Schere leicht lateral davon abgesetzt und die Kante anschließend unter großer Vorsicht mittels einer feinen Fräse der Medianebene angenähert.

Bei Präparat 7 kam es durch die Luxation des Art. cricothyroideus spontan zum Zerbrechen des Schildknorpels in der Medianebene. Daraufhin ergab sich die Möglichkeit, diesen wie ein Fenster aufzuklappen, was unverhofft zur Freilegung des Muskelansatzes führte und einen besseren Blick auf die Strukturen bot.

Deshalb wurde bei den nachfolgenden Präparaten - wenn möglich - der Schildknorpel bewusst nur gebrochen und ansonsten in situ belassen, um eine realistischere Darstellung zu erzielen.

Nachdem der Schildknorpel rechtsseitig entfernt oder weggeklappt wurde, folgte die Präparation von LCA, TA und Taschenfaltenmuskel.

Um die Orientierung zu erleichtern, wurde zunächst versucht, den rechten Aryknorpel besser darzustellen. Anschließend wurde der Insertionspunkt des PCA am Aryknorpel dargestellt und somit gleichzeitig die Begrenzung zur Hinterseite des LCA definiert, der ebenfalls am Proc. muscularis entspringt.

Zur Differenzierung von LCA und TA wurde eine feine Pinzette verwendet, um die dünne Fettschicht zwischen den beiden Muskeln zu entfernen.

2.3 Fotografische Darstellung der Präparate

Um Verzerrungen zu vermeiden, wurden die Präparate freischwebend an den Okularen der Mikroskope im Labor aufgehängt. Dazu wurden im Anschluss an die Präparation drei bis vier Bindfäden an den Präparaten befestigt, welche als Aufhängung dienten.

Die erste Aufhängung wurde, wie oben bereits erwähnt, am linken Cornu superior des Schildknorpels fixiert.

Bei Präparat 1-7 ist die anteriore Aufhängung um eine Knorpelkante gelegt.

In der Konfiguration der Präparate 8-20 wurde anterior ein Faden durch die Membrana cricothyroidea gestochen und zusätzlich ein Bindfaden am rechten Cornu superior angebracht, um den rechten Anteil des Schildknorpels aufzuklappen und somit den Blick auf das Präparationsgebiet freizugeben.

Zuletzt wurde eine dritte bzw. vierte Aufhängung am Cartilago corniculata des rechten Aryknorpels befestigt.

Zur bestmöglichen Ausleuchtung des Labors wurden zusätzlich zum Raumlicht drei Scheinwerfer installiert, sodass in verstärktem Maße Licht von vorne (zwei Scheinwerfer) und von oben auf das Setting fiel.

Die Verblendung der Scheinwerfer mit blau-transparenter Folie sollte außerdem für eine ästhetischere Farbgebung sorgen.

Für die Fotos wurde eine NIKON D5000 SLR mit dem Objektiv AF-S DX Nikkor 18-55 f/3.5-5.6 VR II verwendet, die, um eine bestmögliche Tiefenschärfe zu erzielen, auf einem Stativ montiert wurde.

Um auch diesen Prozess möglichst standardisiert ablaufen zu lassen, wurde bei den Fotos immer wieder besonders darauf geachtet, dass die Unterkante der Präparate parallel zum unteren Bildrand ausgerichtet ist. Dies ist insbesondere zur Beurteilung der Richtungsvektoren von entscheidender Bedeutung.

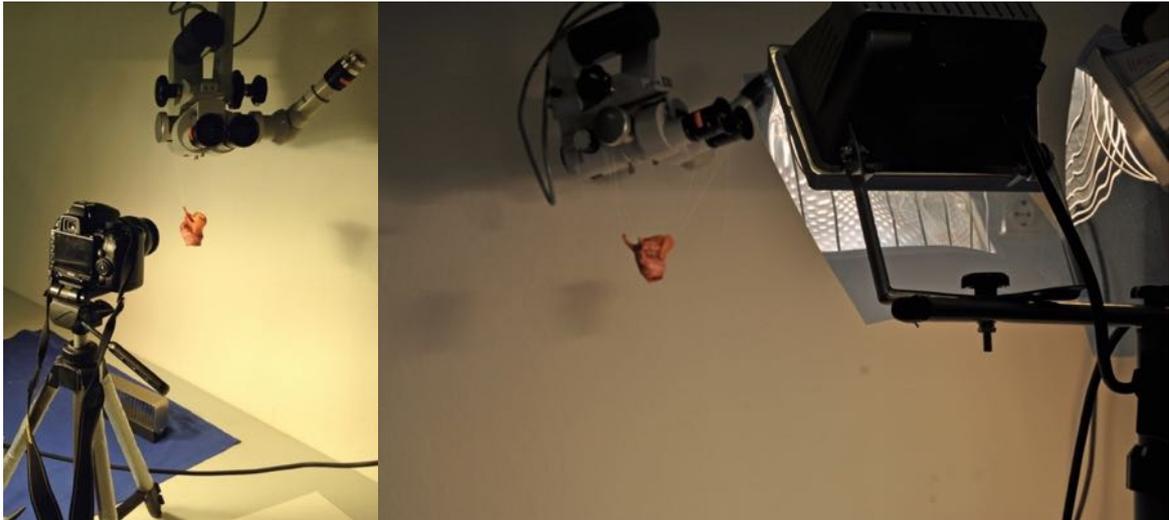


Abb. 25: Präparat an Okularen aufgehängt; Kamera und Stativ

Abb. 26: Scheinwerfer mit Verblendung

2.4 Abweichungen bei der Präparation und/oder fotografischen Darstellung

Abweichend von den oben beschriebenen Schritten war es bei Präparat 4 nicht möglich, am Schildknorpel eine anteriore Aufhängung anzubringen, sodass letztlich ein Faden um die Vestibularfalte geschlungen wurde.

Bei Präparat 7 wurde zusätzlich der PCA auf der rechten Seite entfernt.

Präparat 9 wies ein bereits zur Hälfte abgesägtes Cricoid auf, weshalb der Ansatz des LCA schwer zu beurteilen war. Außerdem war es nicht möglich, den bei diesem Präparat massiv imponierenden Schildknorpel median zu brechen, sodass dieser erneut mit einer Schere leicht lateral der Medianebene durchtrennt werden musste.

Bei Präparat 15 war vergleichsweise viel umliegendes Gewebe erhalten, sodass zur Veranschaulichung auch der CT sowie der M. constrictor pharyngis inferior und –medialis dargestellt und fotografiert wurde (s. Abb. 27).

Präparat 16 bot die Möglichkeit, neben CT auch den PCA nochmals besser darzustellen und zu fotografieren (s. Abb. 28).

Da bei Präparat 17 das Cornu superior rechts nicht mehr intakt war, wurde stattdessen das Cornu inferior zur Befestigung der Aufhängung verwendet.

Bei Präparat 18 fehlte das Cornu superior auf der linken Seite, weshalb auch hier auf das Cornu inferior zurückgegriffen wurde.

Präparat 20 wies einen äußerst dicken und erhärteten Schildknorpel auf, sodass dieser beim Versuch ihn zu spalten nicht wie gewünscht median zerbrach, sondern spontan etwa mittig der Lamina sinistra. Es wurde daraufhin kein neuer Versuch unternommen, eine

mediane Spaltung zu erzielen, sondern stattdessen der gesamte Knorpel leicht nach links rotiert, um den Blick auf das Präparationsgebiet freizugeben.

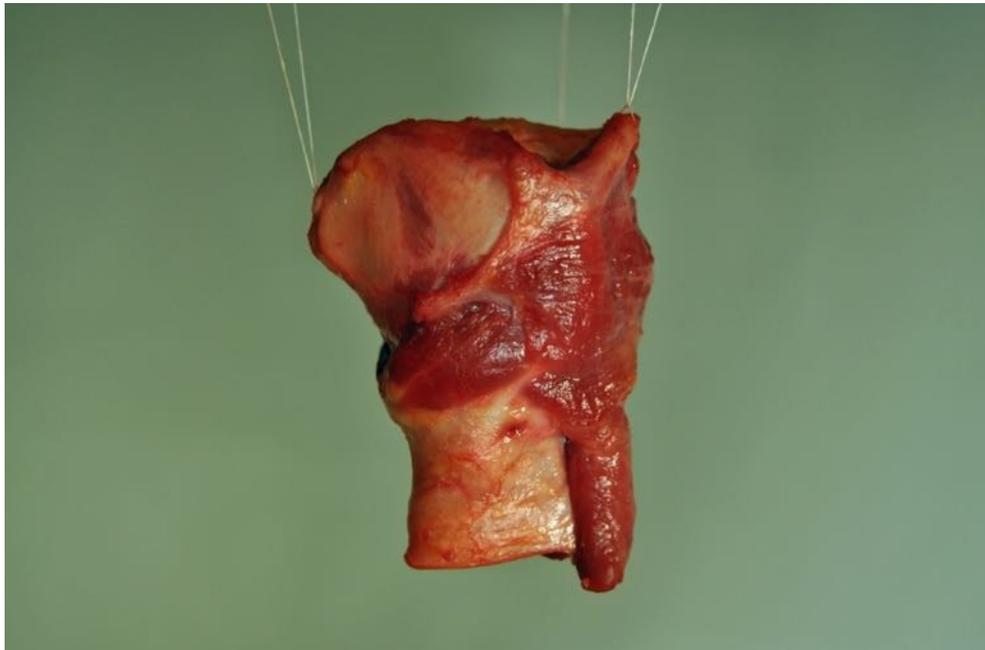


Abb. 27: Präparat 15 in der Ansicht von links

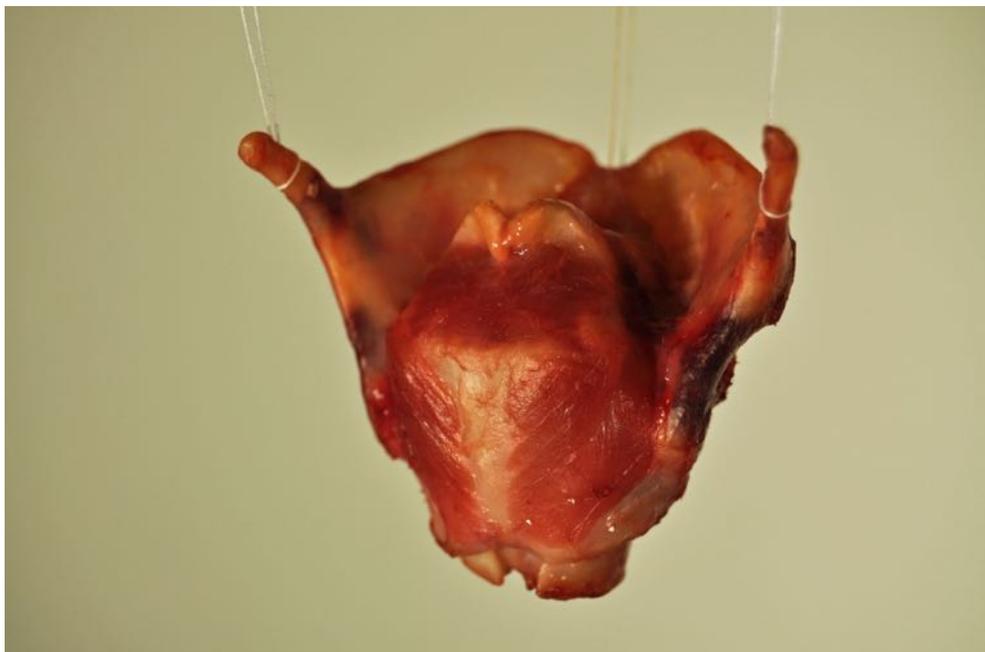


Abb. 28: Präparat 16 in der Ansicht von dorsolateral rechts

2.5 Bildbearbeitung

Zur didaktischen Aufbereitung einzelner Aspekte wurden die Fotos im Anschluss mit Adobe Photoshop Elements 14 bearbeitet.

Die Muskeln wurden dazu jeweils mit dem Werkzeug 'Lasso' umfahren und als neue Ebene hinzugefügt. Anschließend wurden die einzelnen Ebenen eingefärbt. Eine Deckkraft von 48% wurde dabei nicht überschritten, um den Verlauf der Muskelfasern weiter durchscheinen zu lassen.

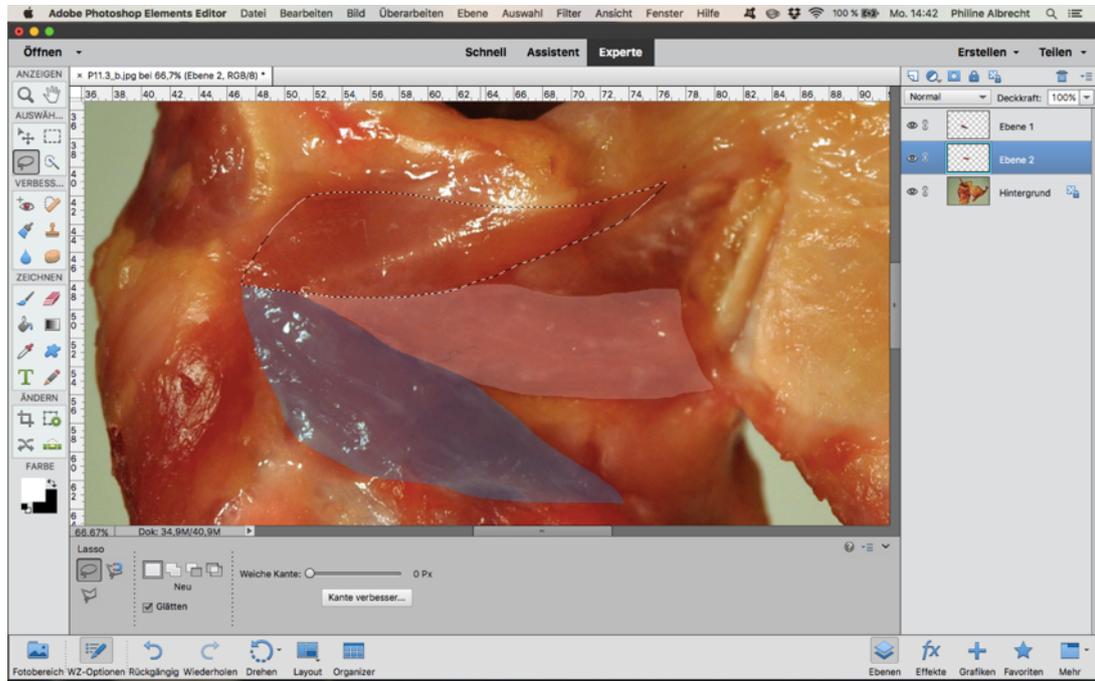


Abb. 29: Screenshot der Adobe Photoshop Elements 14 Maske

3 Ergebnisse

Im Rahmen dieser Arbeit konnten bei allen 20 exzidierten Kehlköpfen LCA und TA präparatorisch dargestellt werden. Einige der Präparate boten außerdem Anhalt für die Ausprägung eines Taschenfaltenmuskels, welche sich jedoch variabel gestaltete.

3.1 Fotos der Präparate 1-20 und deren systematische Auswertung

Die Tabelle (s. Tab. 2) zeigt eine Auflistung aller Präparate.

Tab. 2: Liste der Präparate

Präparatnummer	Geschlecht	Alter	Taschenfaltenmuskel
P1	m	56	nein
P2	m	90	nein
P3	m	61	nein
P4	w	83	nein
P5	m	92	ja
P6	m	77	nein
P7	w	81	nein
P8	m	73	ja
P9	m	65	nein
P10	w	69	nein
P11	w	91	ja
P12	w	51	ja
P13	w	55	nein
P14	m	63	nein
P15	m	57	nein
P16	w	49	nein
P17	w	68	nein
P18	w	75	ja
P19	w	79	ja
P20	m	75	nein
Durchschnittliches Alter:		70,5	

Von 20 Präparaten ließen sich bei 6 Kehlköpfen Rückschlüsse auf die Anwesenheit eines Taschenfaltenmuskels ziehen. Davon waren 2 Präparate männlich und 4 Präparate weiblich.

Zusammenfassend ergibt sich daraus eine 30 prozentige Wahrscheinlichkeit für das Vorhandensein eines Taschenfaltenmuskels.

Alter und Geschlecht der Präparate scheinen keinen Einfluss auf die Ergebnisse zu haben. Um eine anschauliche Auswertung der Ergebnisse zu erreichen ist im Folgenden jeweils eine Nativaufnahme mit einer überarbeiteten Version, in der die Zielmuskeln farblich unterlegt sind, gegenübergestellt worden:

- LCA (blau)
- TA (rosa)
- Taschenfaltenmuskel (grün)

Dies soll dem ungeübten Auge als Hilfestellung dienen und gleichzeitig auf den ersten Blick ein Verständnis für Größenverhältnisse, Lagebeziehung und Zugrichtung der Muskeln schaffen.

Die konstanteste Morphologie der untersuchten Muskeln weist auch bei individueller Betrachtung der hier blau dargestellte LCA auf.

Der Muskel verläuft stets in einem ca 45° absteigenden Winkel. Er entspringt an der Vorderseite des Proc. muscularis des Aryknorpels und zieht zur oberen Kante des Arcus cartilagineus cricoideae der gleichen Seite. Durch die ebenfalls leicht schräg abfallende Kante des Arcus cartilagineus cricoideae sind die dorsalen Anteile des LCA kürzer als die ventralen Muskelanteile. Die Basis am Ringknorpel ist also breiter, was jedoch nicht zu einer veränderten Zugrichtung des Muskels führt, da alle Muskelfasern streng parallel zu verlaufen scheinen und nicht etwa fächerförmig. Dennoch wirkt der LCA an seinem Insertionspunkt am Aryknorpel etwas gedrungener und bauchiger als seine ventralen Ausläufer.

In enger Nachbarschaft zum LCA befindet sich der TA, welcher nur unmittelbar über dem Proc. muscularis an der Facies anterolaterales des Aryknorpels entspringt. Den meisten Präparaten gemeinsam ist zudem der annähernd horizontale Muskelfaserverlauf in Richtung Schildknorpel, wo sie auf der Innenseite etwa im unteren Drittel ansetzen. Abgesehen von den Insertionspunkten des TA fallen bei genauerer Betrachtung auch Unterschiede zwischen den einzelnen Präparaten auf, welche im Folgenden einzeln aufgeführt und besprochen werden.

Der Taschenfaltenmuskel weist nicht nur ein unregelmäßiges Auftreten, sondern auch eine wenig vorhersehbare Morphologie auf. In der Tendenz kann jedoch von einem leicht aufsteigenden Richtungsvektor gesprochen werden. Dabei überlagert der Taschenfaltenmuskel – wenn vorhanden – den Ursprung des TA am Aryknorpel.

Nachfolgend sind die Präparate 1-20 gezeigt und beschrieben.

Präparat 1: Der LCA weist die zuvor beschriebene Morphologie auf. Der Zugvektor scheint auf den ersten Blick nicht ganz 45° zu erreichen. Betrachtet man die Verkippung der trachealen Öffnung zum Rand des Fotos, wird diese Annahme jedoch relativiert. Der TA wirkt schmal und verläuft annähernd horizontal. Sein Ansatzpunkt am Schildknorpel bleibt verdeckt. Das Vorhandensein eines Taschenfaltenmuskels ist nicht ersichtlich.



Abb. 30: Kehlkopf (männlich, 56 Jahre) in der Ansicht von rechts; Schildknorpel rechtsseitig entfernt



Abb. 31: Abbildung 30 – bearbeitet; LCA (rosa) und TA (blau) dargestellt

Präparat 2: Der LCA weist die anfänglich aufgeführte Morphologie auf. Beim TA sind ebenfalls kaum Abweichungen festzustellen. Betrachtet man seinen Verlauf jedoch genauer, entsteht der Eindruck, dass sich der Muskel etwa auf halber Strecke zwischen Aryknorpel und Schildknorpel leicht nach kaudal wölbt. Unter Berücksichtigung der Schwerkraft kann nach Entfernung des Halteapparates allerdings auch hier von einem horizontalen Muskelfaserzug ausgegangen werden. Anhalt für einen Taschenfaltenmuskel ist nicht geboten.

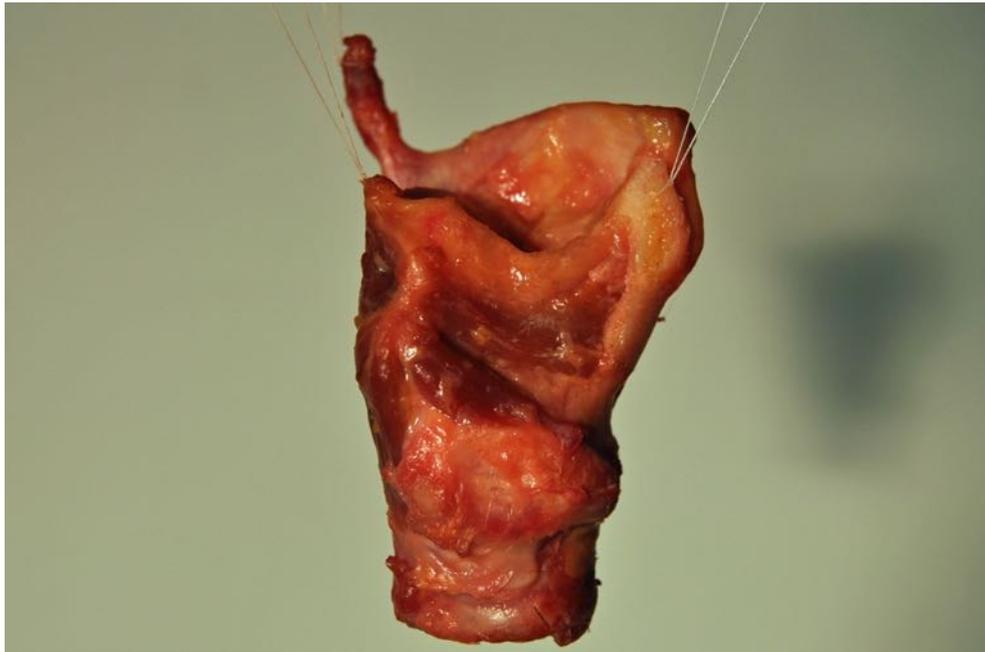


Abb. 32: Kehlkopf (männlich, 90 Jahre) in der Ansicht von rechts; Schildknorpel rechtsseitig entfernt

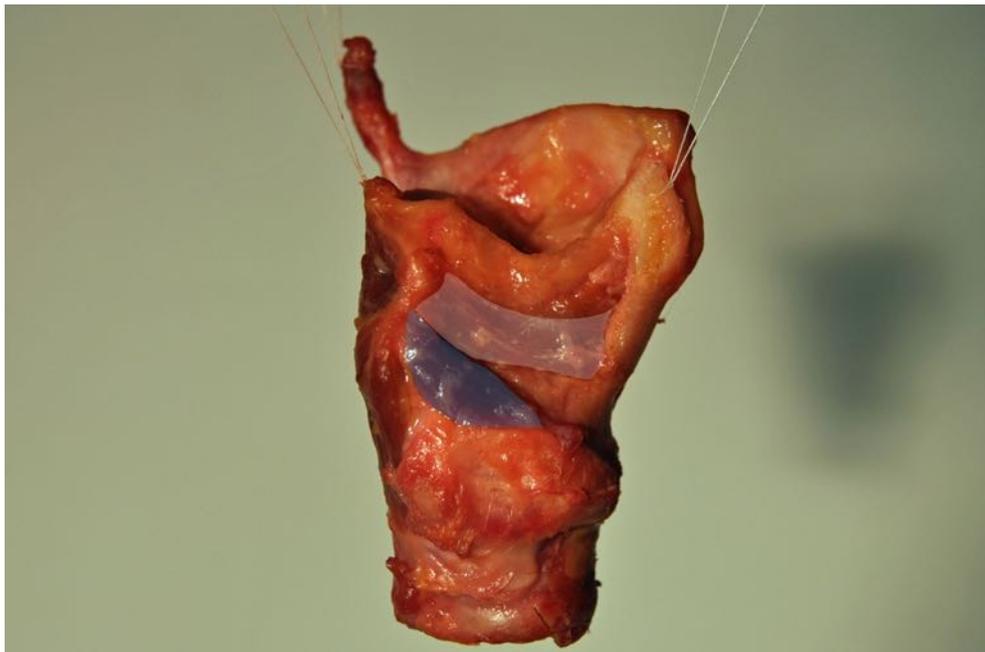


Abb. 33: Abbildung 32 – bearbeitet; LCA (rosa) und TA (blau) dargestellt

Präparat 3: Grundlegend entspricht der LCA auch bei diesem Präparat der vorangestellten Beschreibung. Dennoch sollte nicht unerwähnt bleiben, dass in einer tieferen Schicht weitere Muskelfasern erkennbar sind. Diese weisen zwar den Faserverlauf des LCA auf, würden den Muskel jedoch ungewöhnlich breit und flächig erscheinen lassen, weshalb in der unteren Darstellungsform eher nicht von einer Zugehörigkeit zum LCA ausgegangen wird. Durch den horizontalen Faserverlauf des TA wirken beide Muskeln im Zusammenspiel wie anfänglich skizziert. Eine eindeutige Diskriminierung am Aryknorpel fällt dennoch schwer. Ein Taschenfaltenmuskel ist nicht ersichtlich.

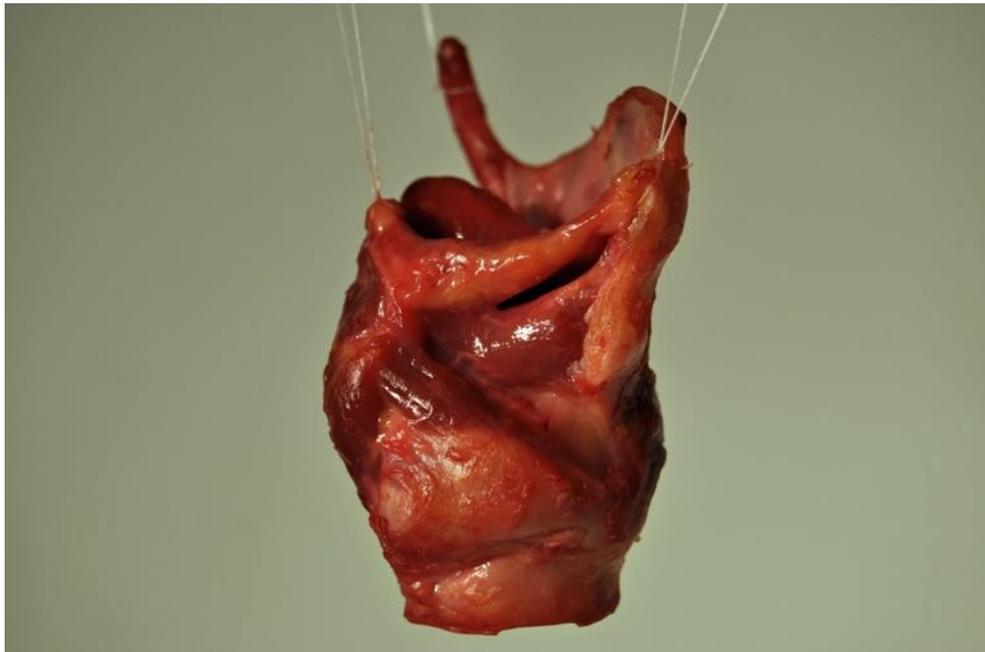


Abb. 34: Kehlkopf (männlich, 61 Jahre) in der Ansicht von rechts; Schildknorpel rechtsseitig entfernt

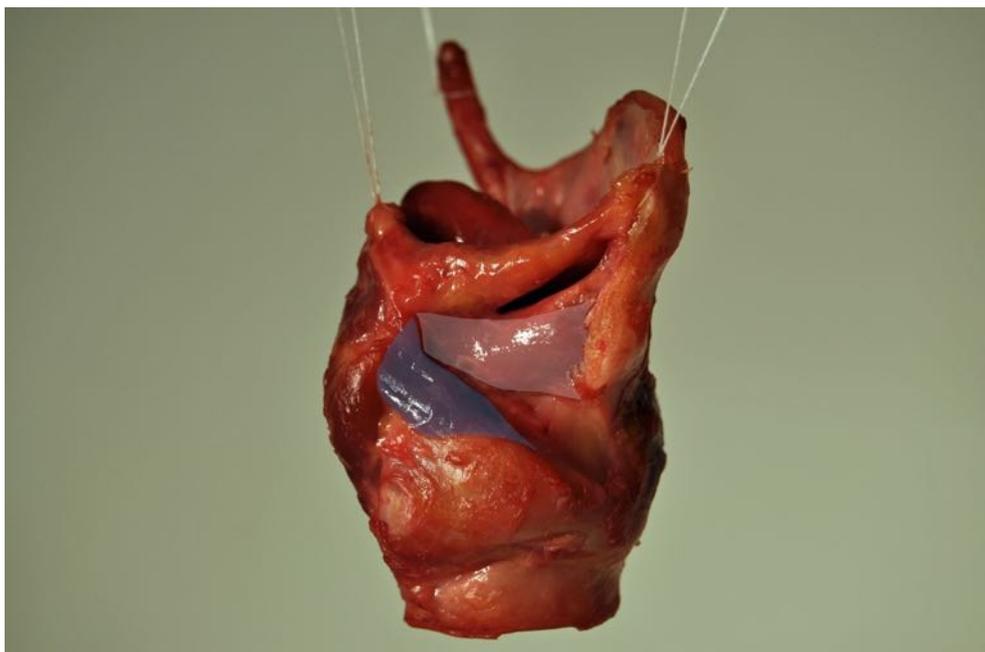


Abb. 35: Abbildung 34 – bearbeitet; LCA (rosa) und TA (blau) dargestellt

Präparat 4: LCA und TA weisen die anfänglich beschriebene Morphologie auf. Beide Muskeln sind eindeutig voneinander abzugrenzen. Auffällig sind bei diesem weiblichen Präparat die Größenverhältnisse der Muskeln. LCA und TA wirken etwa gleich groß. Dies resultiert aus einer scheinbar verkürzten Strecke zwischen Aryknorpel und Ringknorpel, weshalb insbesondere der TA kürzer ist und dadurch den LCA relativ größer wirken lässt. Das Vorhandensein eines Taschenfaltenmuskels ist nicht erkennbar.



Abb. 36: Kehlkopf (weiblich, 83 Jahre) in der Ansicht von rechts; Schildknorpel rechtsseitig entfernt



Abb. 37: Abbildung 36 – bearbeitet; LCA (rosa) und TA (blau) dargestellt

Präparat 5: Der LCA gleicht der vorangestellten Beschreibung. Der TA ist bei diesem Präparat nur eingeschränkt beurteilbar, da große Teile vom Taschenfaltenmuskel überlagert werden. Der Verlauf sowie Ansatz am Schildknorpel sind jedoch wie bereits beschrieben. Der Taschenfaltenmuskel imponiert mit seiner deutlichen Ausprägung. Er verläuft in leicht aufsteigender Richtung zur Plica vestibularis, wo er etwa im anterioren Drittel inseriert. Alle Muskeln sind eindeutig voneinander abgrenzbar.

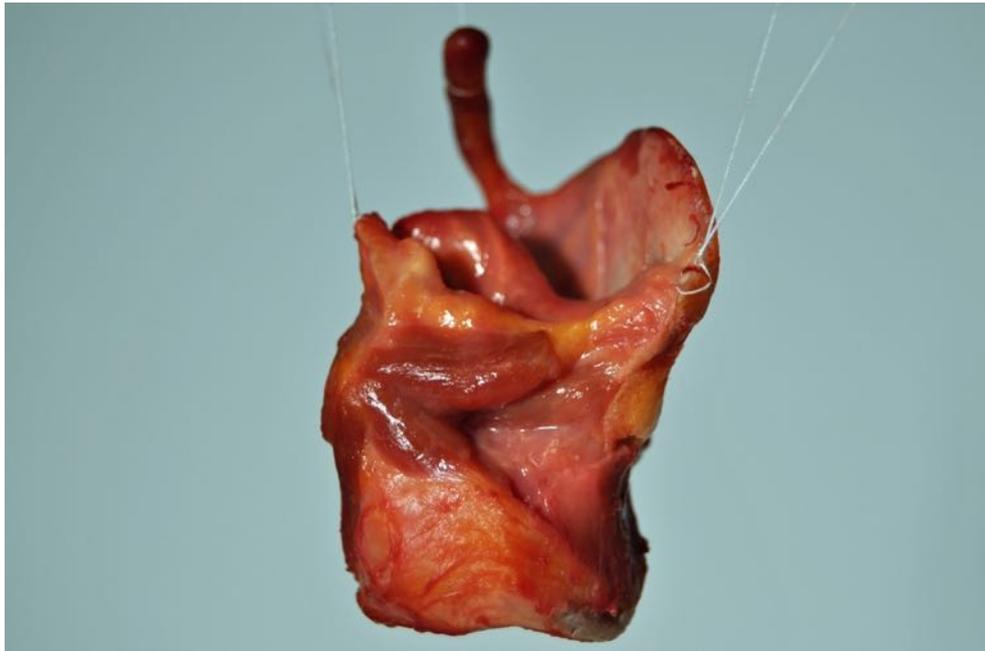


Abb. 38: Kehlkopf (männlich, 92 Jahre) in der Ansicht von rechts; Schildknorpel rechtsseitig entfernt

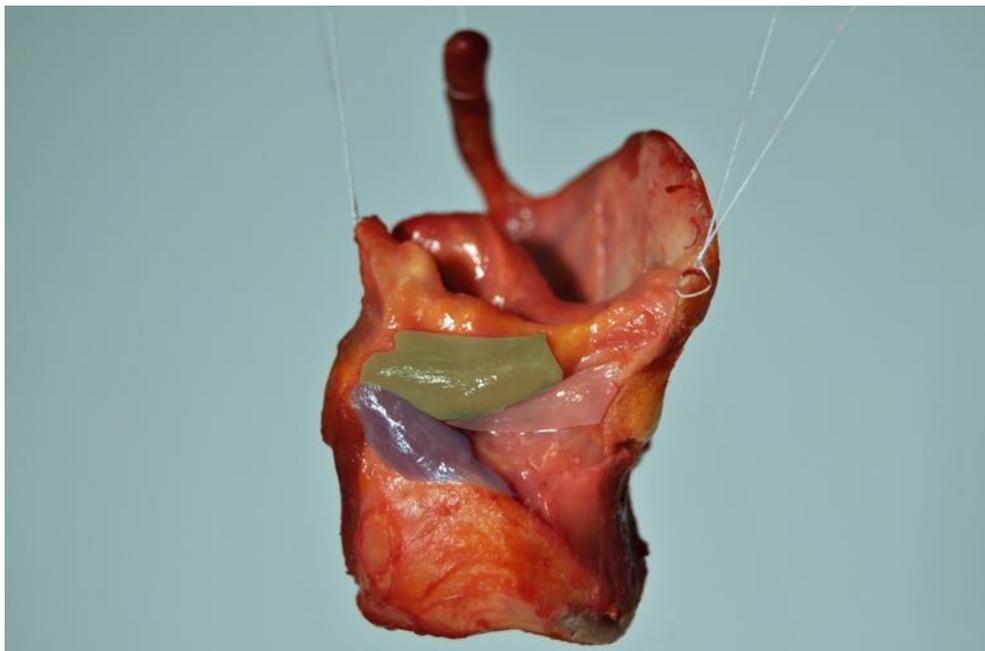


Abb. 39: Abbildung 38 – bearbeitet; LCA (rosa), TA (blau) & Taschenfaltenmuskel (grün) dargestellt

Präparat 6: Der LCA weist die anfänglich beschriebene Morphologie auf. Der TA wirkt an seinem Insertionspunkt am Aryknorpel vergleichsweise massig, da sich der Ursprung des Muskels von der Facies anterolateralis weiter nach kranial ausdehnt. Hieraus resultiert ein veränderter Zugvektor. Anstelle der zuvor beobachteten horizontalen Ausrichtung, orientiert sich der TA in diesem Präparat in leicht deszendierender Richtung. Dies legt die Vermutung nah, dass es sich hier um die Darstellung der Pars lateralis des TA handelt. Der Ansatz am Schildknorpel ist nicht optimal erhalten. Ein Taschenfaltenmuskel ist nicht erkennbar.

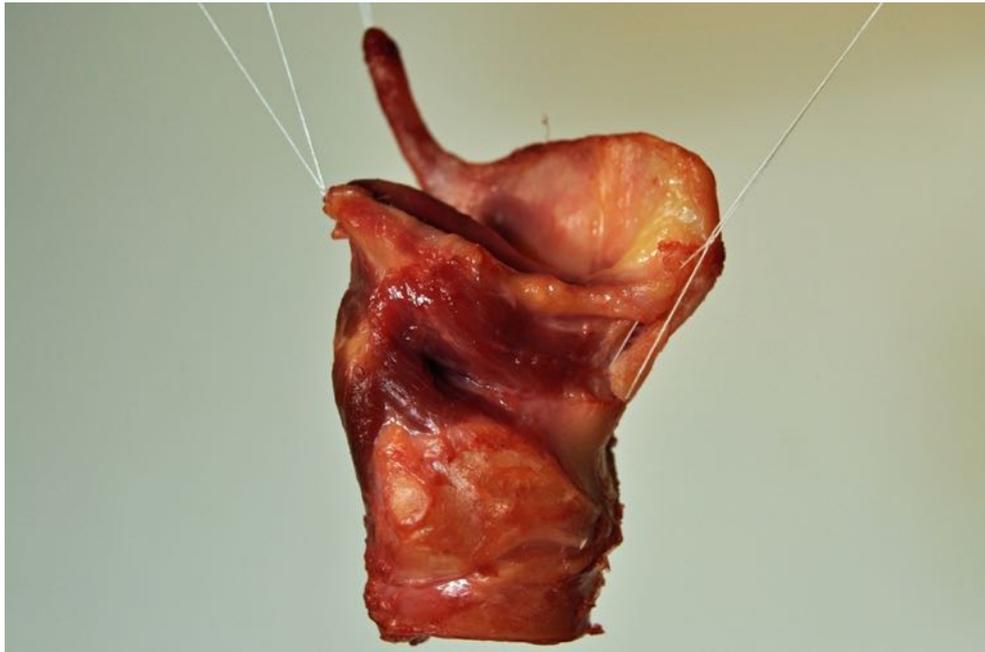


Abb. 40: Kehlkopf (männlich, 77 Jahre) in der Ansicht von rechts; Schildknorpel rechtsseitig entfernt

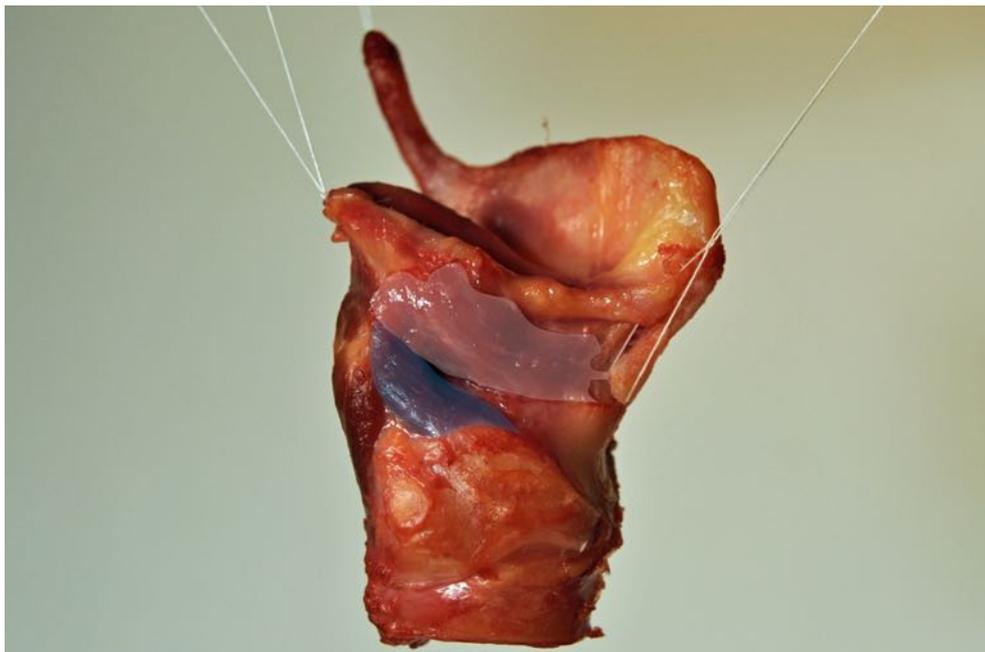


Abb. 41: Abbildung 40 – bearbeitet; LCA (rosa) und TA (blau) dargestellt

Präparat 7: Der LCA gleicht der vorangestellten Beschreibung. Der Muskelfaserzug des TA wirkt schmal. Er verläuft etwa parallel zur Plica vestibularis, welche mittig leicht einzusinken scheint. Deshalb sollte der atypisch erscheinende Verlauf des TA in diesem Präparat vermutlich eher auf die mangelnde Spannung in der Plica zurückgeführt werden. Ansätze eines Taschenfaltenmuskels sind nicht ersichtlich.

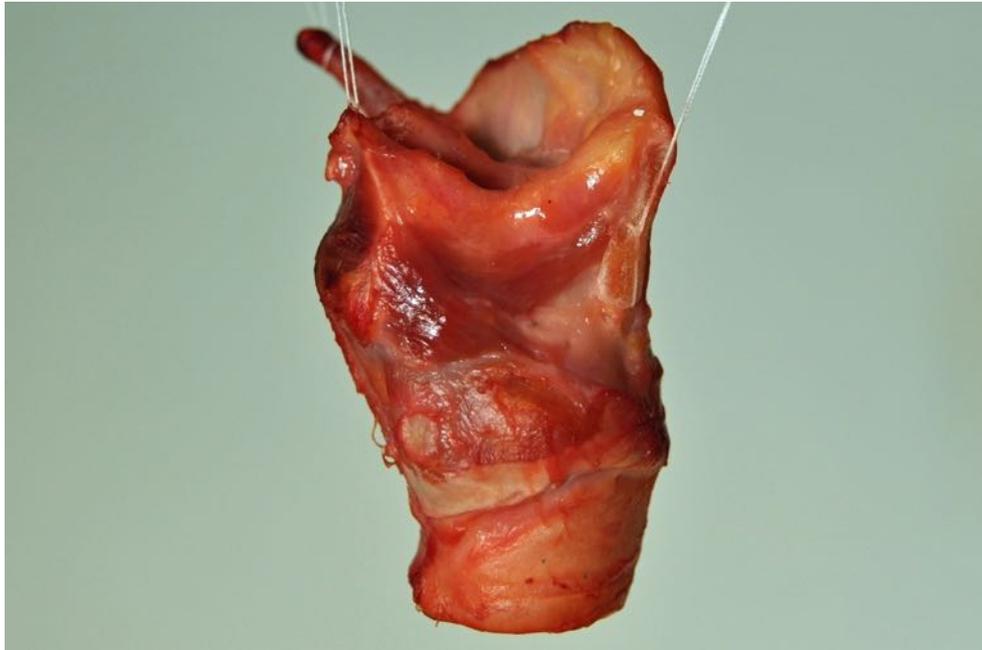


Abb. 42: Kehlkopf (weiblich, 81 Jahre) in der Ansicht von rechts; Schildknorpel rechtsseitig entfernt

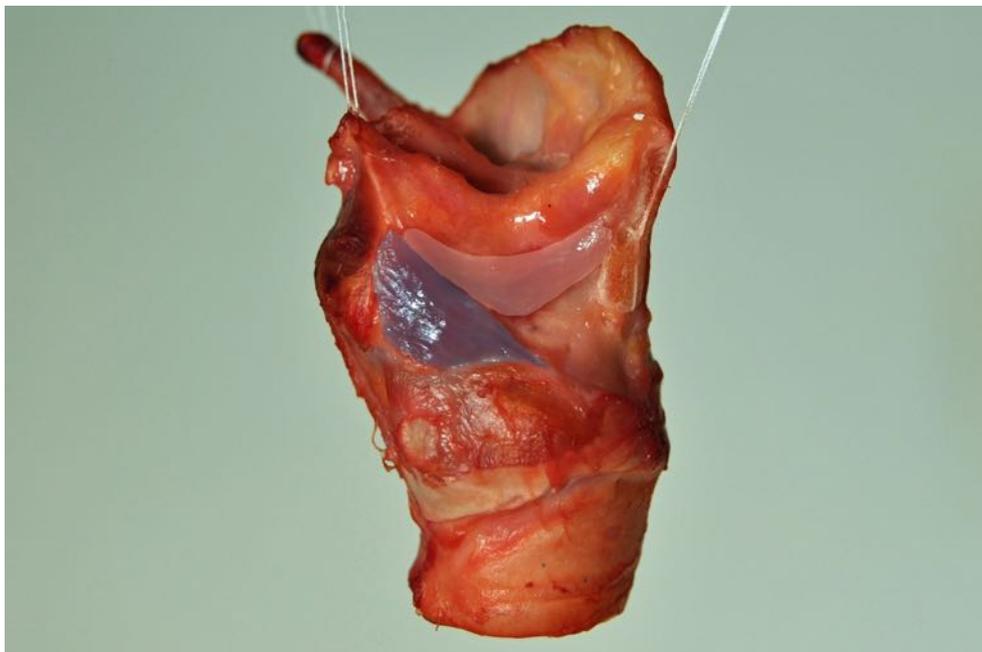


Abb. 43: Abbildung 42 – bearbeitet; LCA (rosa) und TA (blau) dargestellt

Präparat 8: LCA und TA weisen weitgehend die anfänglich aufgeführte Morphologie auf. Durch die Fensterung des transglottischen Raums ist außerdem die Lagebeziehung des TA zum Lig. vocale angedeutet. Der TA verläuft lateral des Ligaments. Entgegen aktuellen Beschreibungen kann die parallele Ausrichtung jedoch nicht ohne Weiteres bestätigt werden, da der TA in diesem Präparat verglichen mit dem Lig. vocale in minimal deszendierender Richtung verläuft. Deshalb wird der Verlauf des TA vermutlich zurecht nur als annähernd horizontal beschrieben. Ein Taschenfaltenmuskel ist in zarter Ausprägung vorhanden.

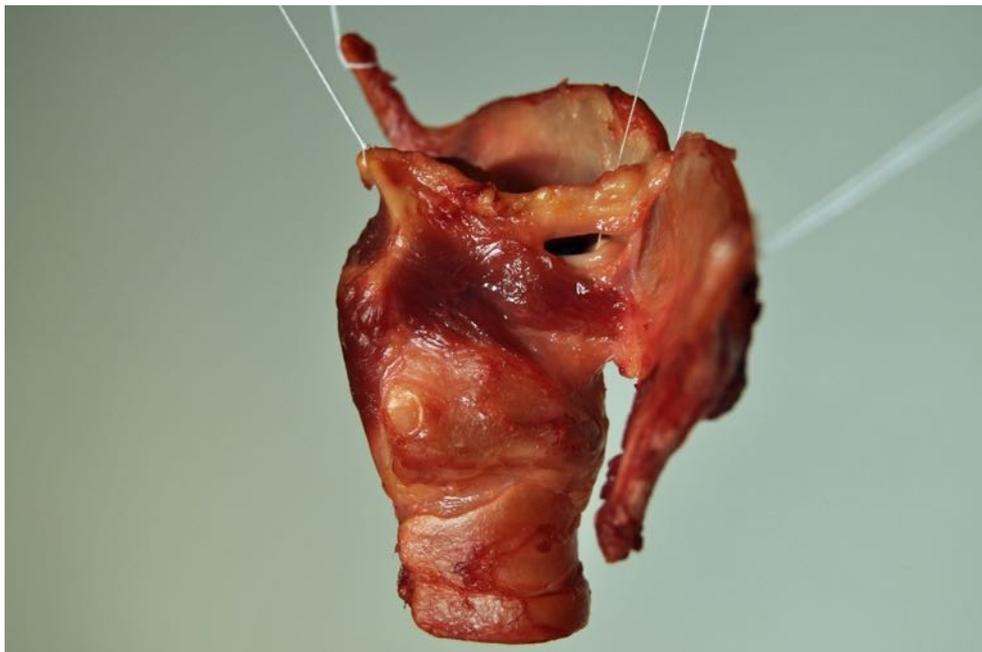


Abb. 44: Kehlkopf (männlich, 73 Jahre) in der Ansicht von rechts; Schildknorpel rechtsseitig entfernt

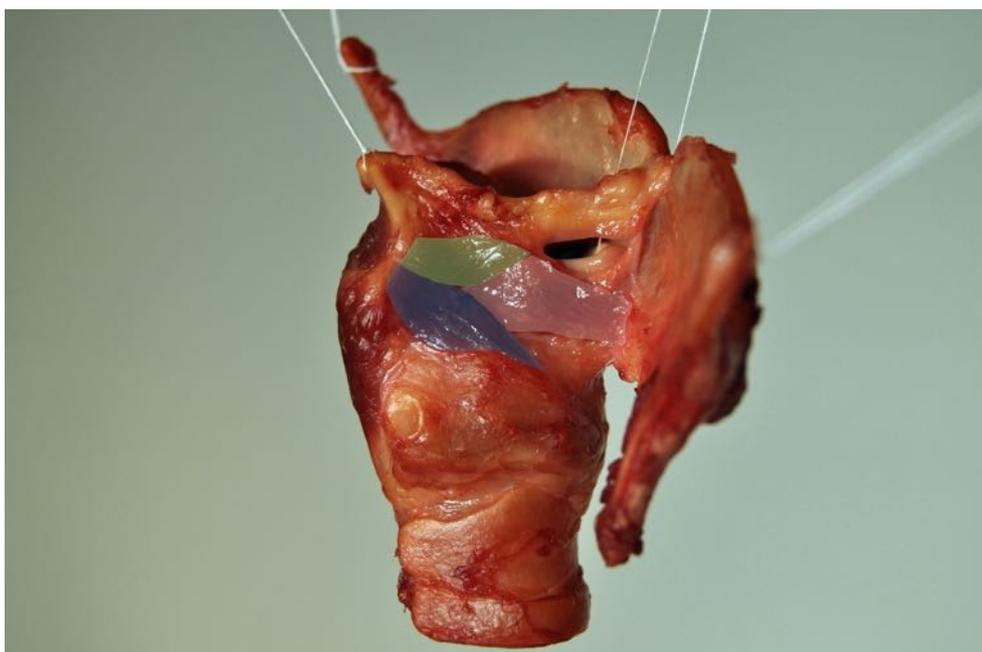


Abb. 45: Abbildung 44 – bearbeitet; LCA (rosa), TA (blau) & Taschenfaltenmuskel (grün) dargestellt

Präparat 9: Das Präparat ist eingeschränkt beurteilbar, da der Ringknorpel nicht vollständig erhalten ist. Die standardisierte Ausrichtung insbesondere zur Auswertung der Zugwertung wird so erschwert. Zudem sind LCA und TA auch im Verlauf nach anterior nicht eindeutig zu diskriminieren. Dennoch kann bei beiden Muskeln etwa von der anfänglich beschriebenen Morphologie ausgegangen werden. Ein Taschenfaltenmuskel ist nicht erkennbar.

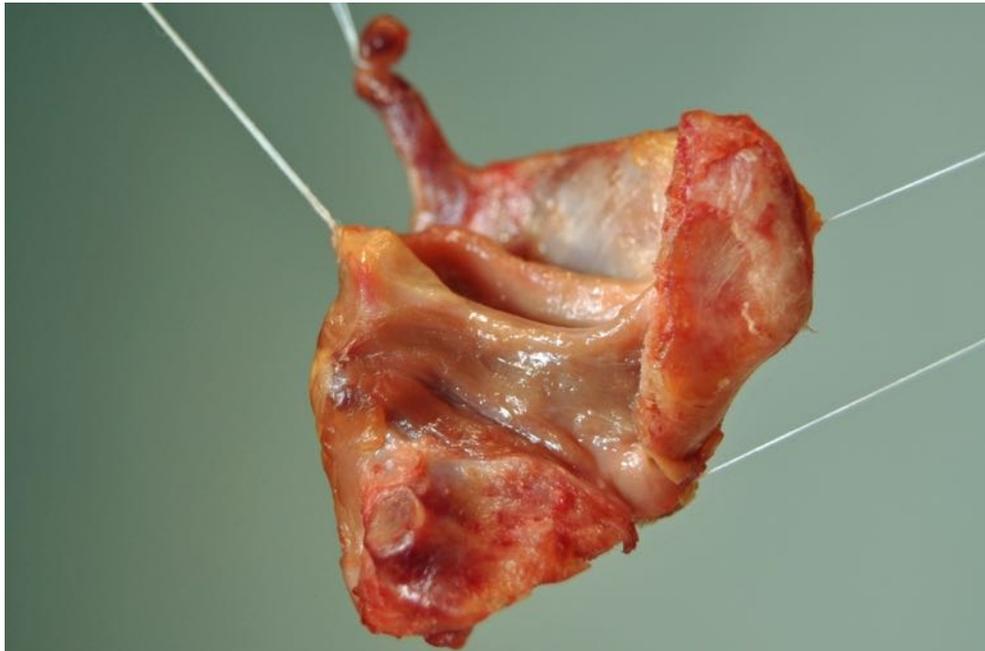


Abb. 46: Kehlkopf (männlich, 65 Jahre) in der Ansicht von rechts; Schildknorpel rechtsseitig entfernt

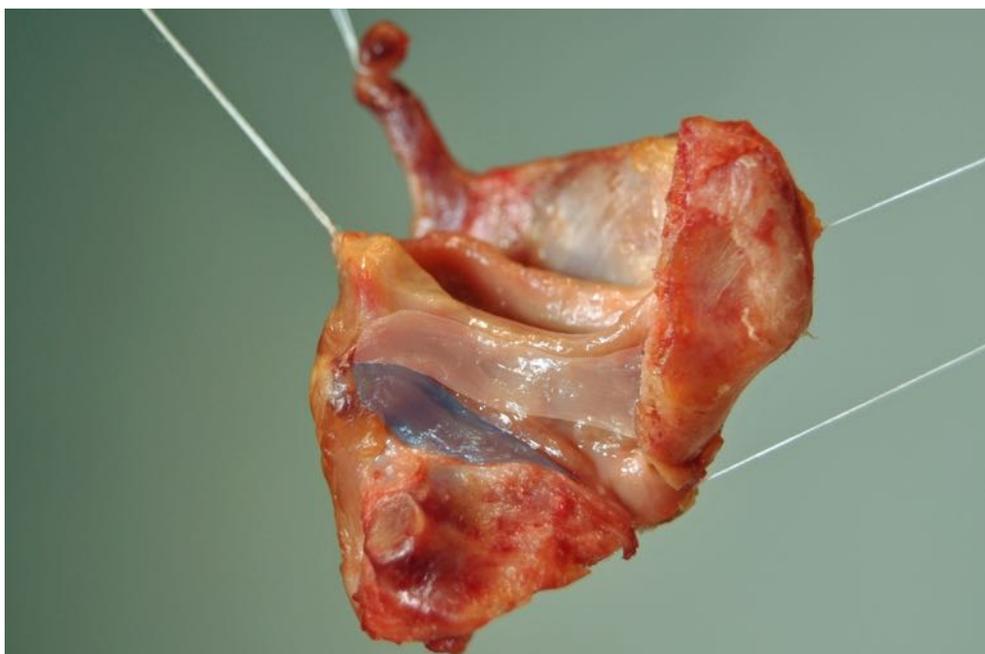


Abb. 47: Abbildung 46 – bearbeitet; LCA (rosa) und TA (blau) dargestellt

Präparat 10: Der LCA gleicht der vorangestellten Beschreibung. Der TA ist vermutlich wie auch bei Präparat 6 mit seiner Pars lateralis dargestellt. Der Faserverlauf von LCA und TA wirkt nahezu identisch, dennoch kann durch eine schmale Fettschicht klar zwischen den beiden Muskeln differenziert werden. Bei Präparation der darunterliegenden Schicht wäre die Erwartung, auf die Pars medialis des TA und somit eher horizontal verlaufende Muskelfasern zu stoßen. Anhalt für das Vorhandensein eines Taschenfaltenmuskels ist bei diesem Präparat nicht geboten.

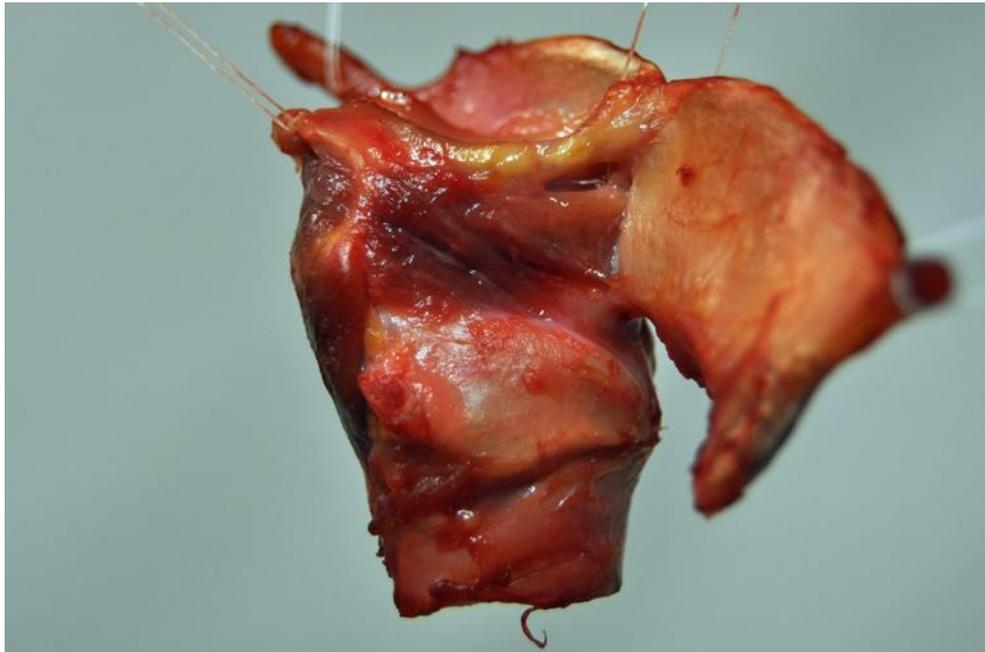


Abb. 48: Kehlkopf (weiblich, 69 Jahre) in der Ansicht von rechts; Schildknorpel rechtsseitig entfernt

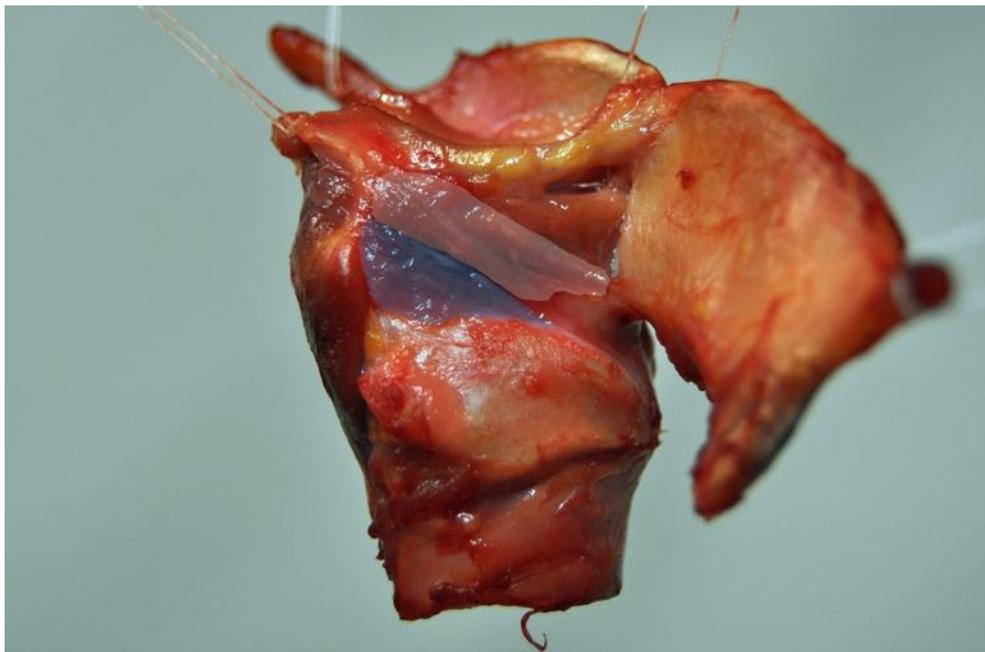


Abb. 49: Abbildung 48 – bearbeitet; LCA (rosa) und TA (blau) dargestellt

Präparat 11: Der LCA weist die anfänglich beschriebene Morphologie auf. Der TA verläuft in der Horizontalen zum unteren Drittel des Schildknorpels. Dadurch ist er insbesondere nach anterior leicht vom LCA abgrenzbar. Der Insertionspunkt am Aryknorpel ist vom Taschenfaltenmuskel überlagert, der ebenfalls hier entspringt und nach vorne oben zur Plica vestibularis zieht. Dennoch kann der TA auch hier durch eine schmale Fettschicht eindeutig vom LCA und dem Taschenfaltenmuskel unterschieden werden. Alle Zugvektoren sind deutlich erkennbar.

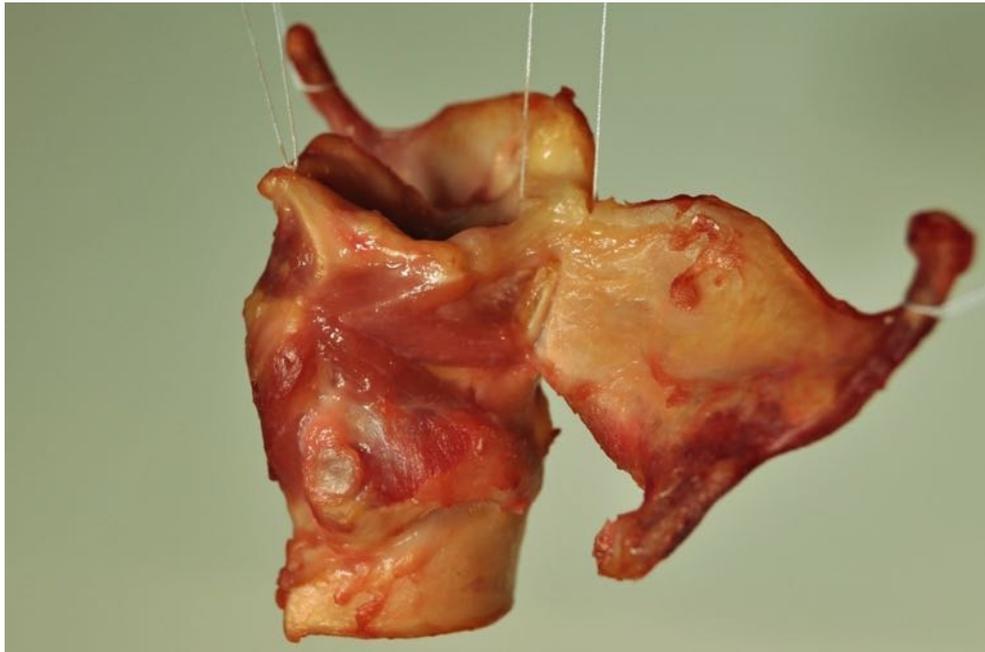


Abb. 50: Kehlkopf (weiblich, 91 Jahre) in der Ansicht v. rechts; Schildknorpel rechtsseitig entfernt

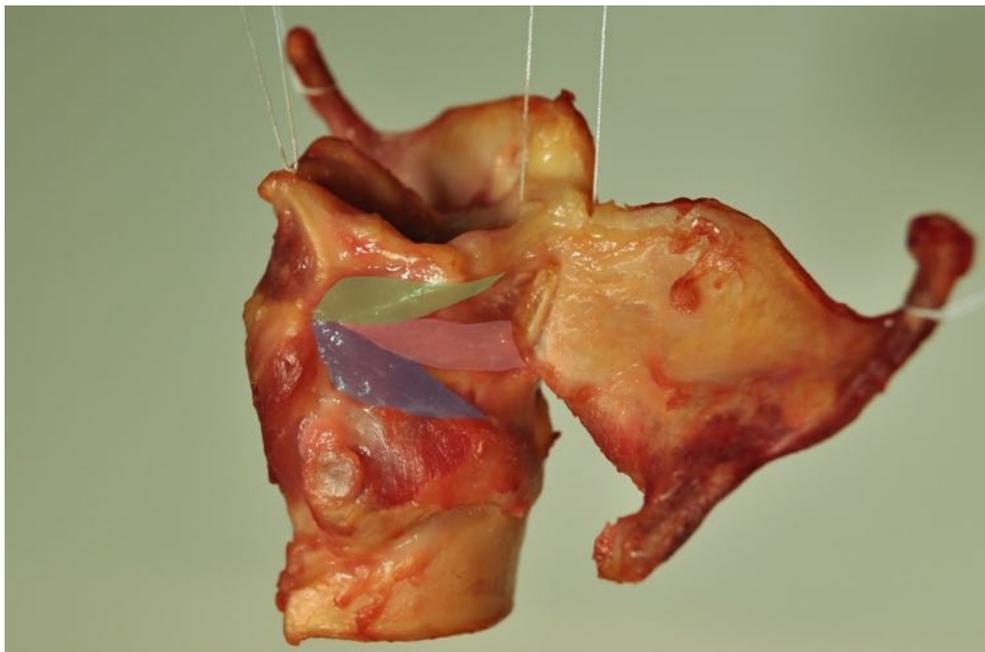


Abb. 51: Abbildung oben – 50t; LCA (rosa), TA (blau) & Taschenfaltenmuskel (grün) dargestellt

Präparat 12: LCA und TA gleichen vermutlich der anfänglich aufgeführten Beschreibung. Der Ursprung des TA am Aryknorpel ist allerdings aufgrund seiner Überlagerung vom Taschenfaltenmuskeln erneut nicht beurteilbar. Auffällig ist, dass der Taschenfaltenmuskel bei diesem Präparat die ganze Plica vestibularis von außen überzieht und in seiner anterioren Ausbreitung bis ganz zum Schildknorpel reicht. Alle Richtungsvektoren sind gut erkennbar.

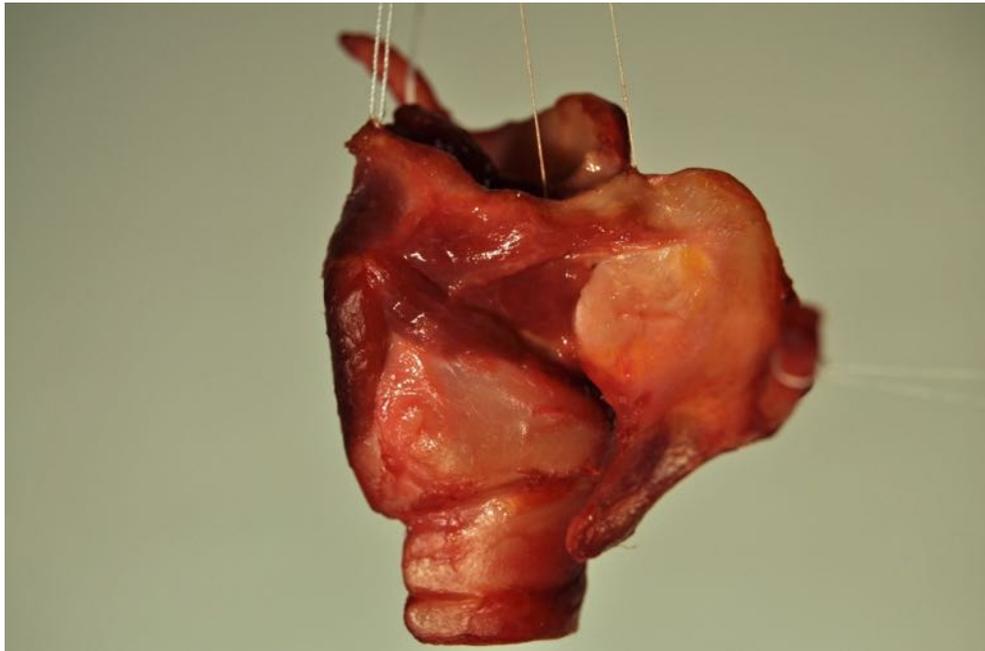


Abb. 52: Kehlkopf (weiblich, 51 Jahre) in der Ansicht von rechts; Schildknorpel rechtsseitig entfernt

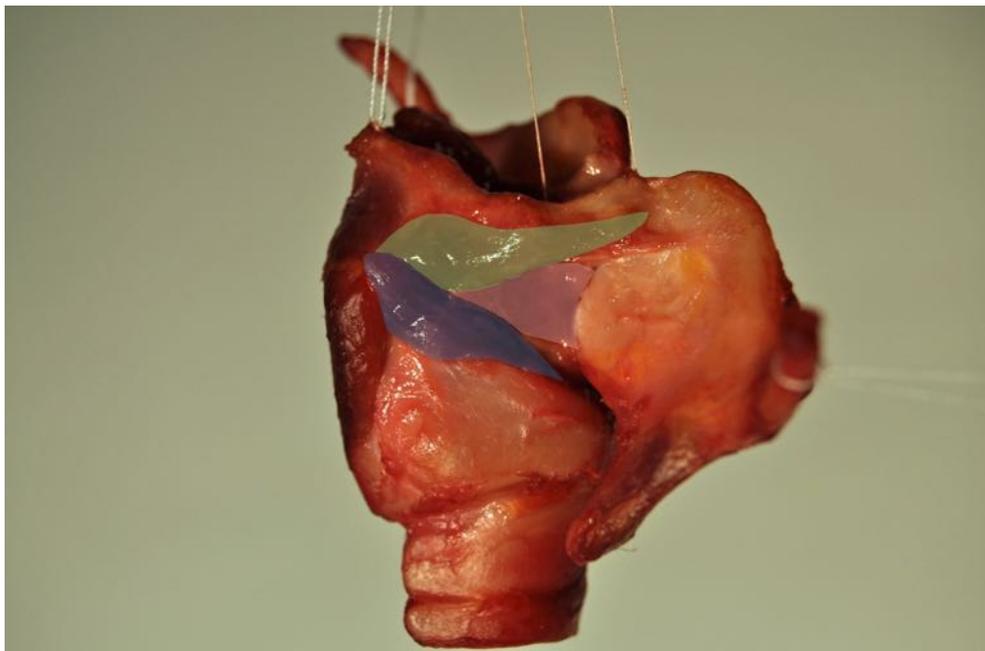


Abb. 53: Abbildung 52 – bearbeitet; LCA (rosa), TA (blau) & Taschenfaltenmuskel (grün) dargestellt

Präparat 13: Der LCA weist die anfänglich beschriebene Morphologie auf. Der TA legt sich mit seinem Faserverlauf entsprechend Präparat 6 und 10 dem LCA an, weshalb erneut von der Darstellung der Pars lateralis ausgegangen wird. Beide Muskeln sind dennoch gut voneinander abzugrenzen. Ansätze eines Taschenfaltenmuskels sind nicht ersichtlich.

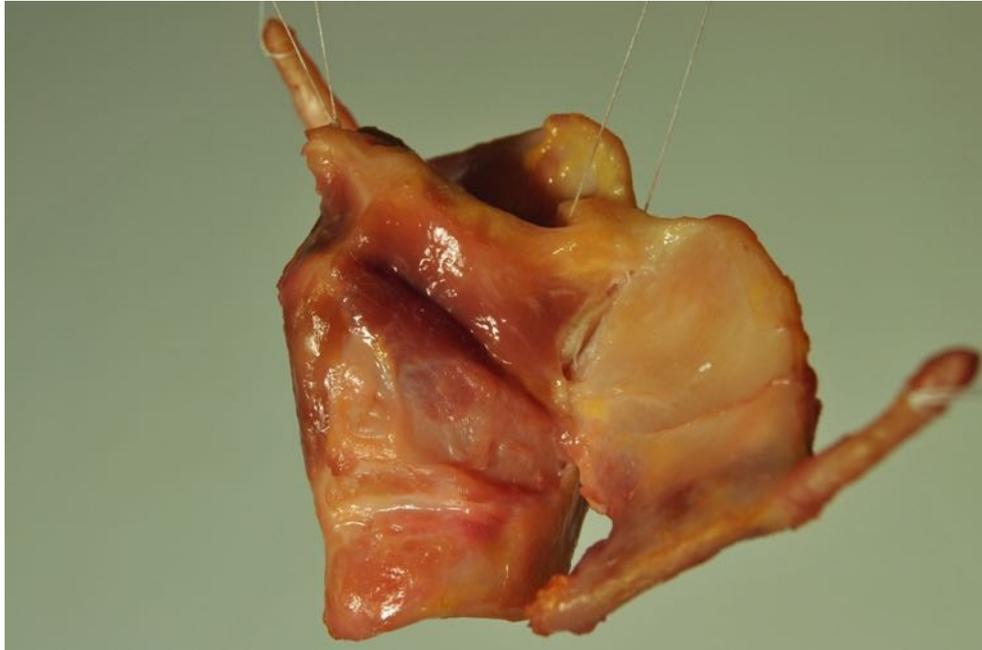


Abb. 54: Kehlkopf (weiblich, 55 Jahre) in der Ansicht von rechts; Schilddrüse rechtsseitig entfernt

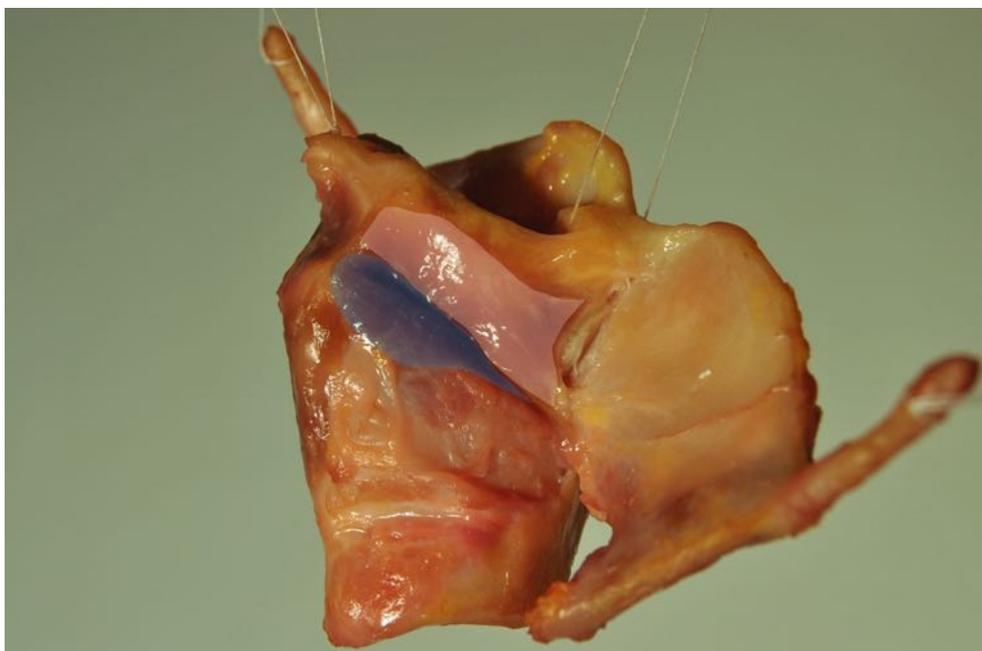


Abb. 55: Abbildung 54 – bearbeitet; LCA (rosa) und TA (blau) dargestellt

Präparat 14: Der LCA folgt der anfänglich aufgeführten Beschreibung. Der TA vermittelt auf den ersten Blick einen deszendierenden Eindruck. Konzentriert man sich auf die Faseranteile unterhalb der kleinen Fensterung zwischen Plica vestibularis und Plica vocalis, verlaufen diese nahezu parallel zur Stimmlippe. Anhalt für das Vorhandensein eines Taschenfaltenmuskels ist bei diesem Präparat nicht geboten.

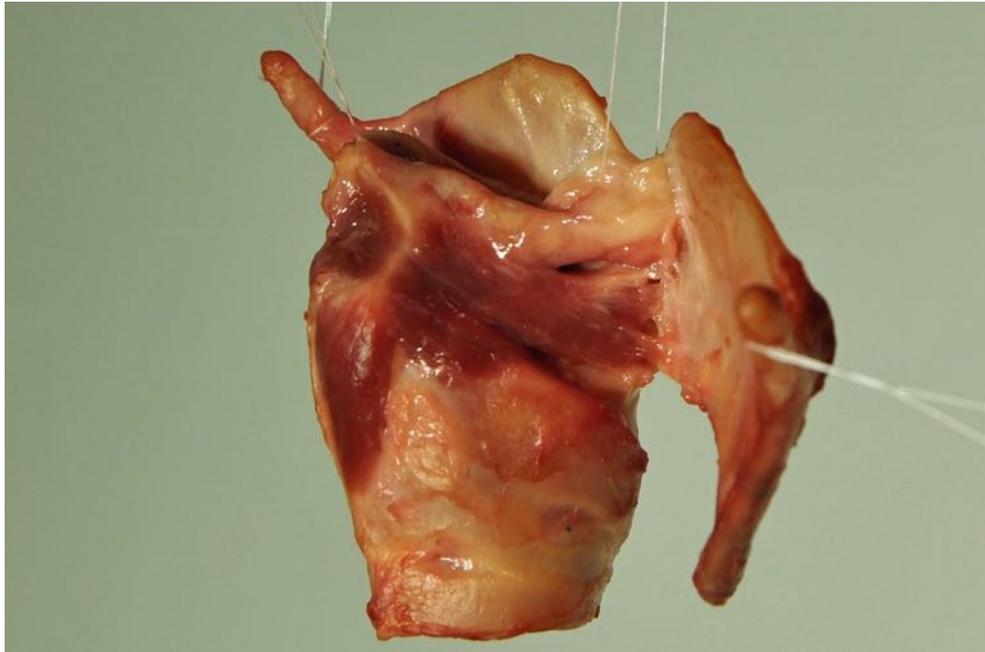


Abb. 56: Kehlkopf (männlich, 63 Jahre) in der Ansicht von rechts; Schildknorpel rechtsseitig entfernt

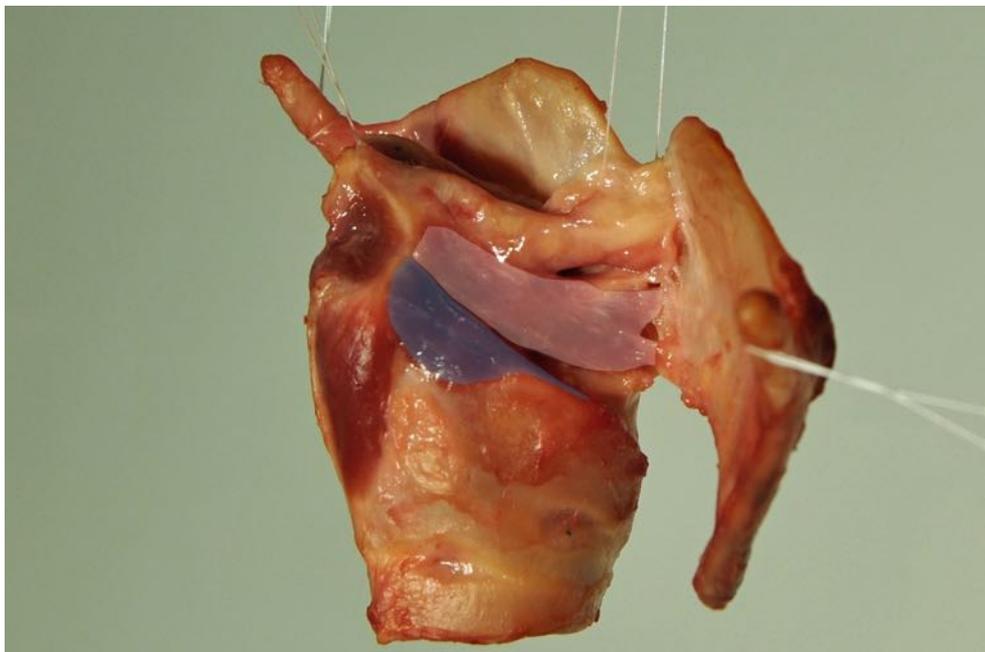


Abb. 57: Abbildung 56 – bearbeitet; LCA (rosa) und TA (blau) dargestellt

Präparat 15: Der Verlauf des LCA wirkt vergleichsweise leicht abgeflacht. Der TA ist von Ansatz bis Ursprung dargestellt und scheint im Gesamtbild nicht wesentlich von den vorherigen Annahmen abzuweichen. Ansätze eines Taschenfaltenmuskels sind nicht zu erkennen.

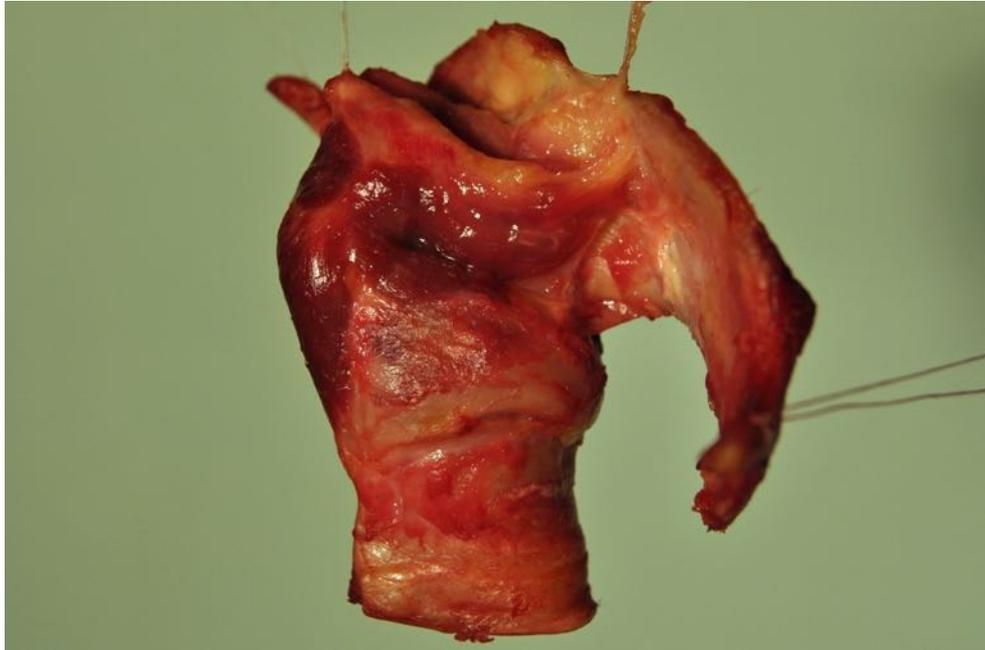


Abb. 58: Kehlkopf (männlich, 57 Jahre) in der Ansicht von rechts; Schildknorpel rechtsseitig entfernt

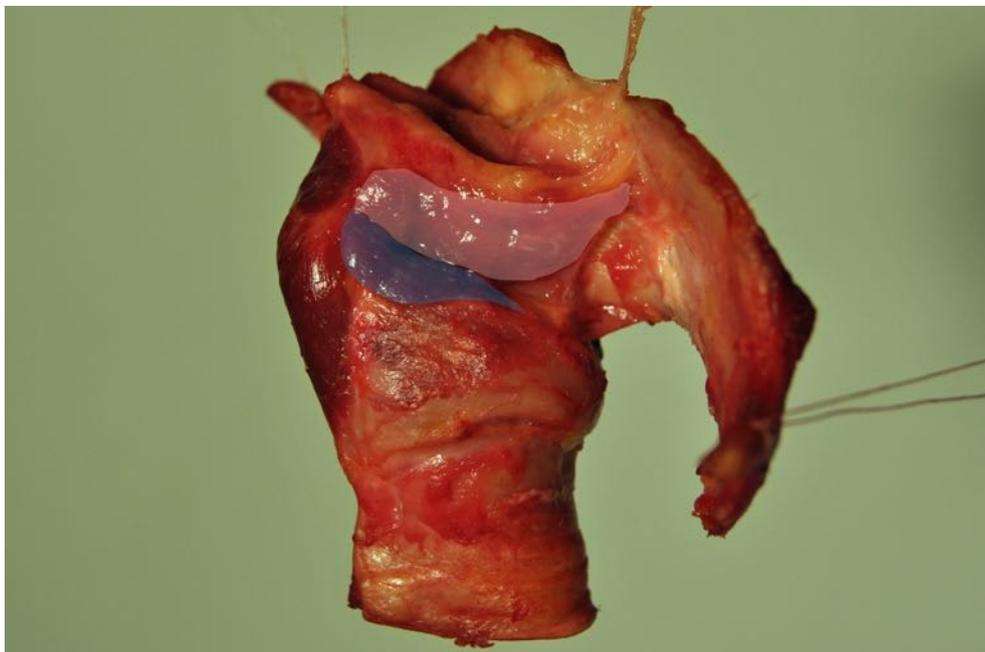


Abb. 59: Abbildung 58 – bearbeitet; LCA (rosa) und TA (blau) dargestellt

Präparat 16: Der LCA ist bei diesem Präparat sehr kräftig ausgeprägt, sodass sich das Größenverhältnis zum TA zu Gunsten des LCA verschiebt, was in diesem Fall jedoch nicht mit einer verkürzten Strecke zwischen Aryknorpel und Schildknorpel zu erklären ist. Der TA ist besonders im anterioren Anteil gut zu differenzieren. Die Zugvektoren sind lediglich eingeschränkt beurteilbar, da eine standardisierte Ausrichtung aufgrund der kaudal abgerundeten Struktur bei diesem Präparat nicht gewährleistet ist, scheinen jedoch nicht von dem zuvor beschriebenen Verlauf abzuweichen. Anhalt für das Vorhandensein eines Taschenfaltenmuskels ist bei diesem Präparat nicht geboten.

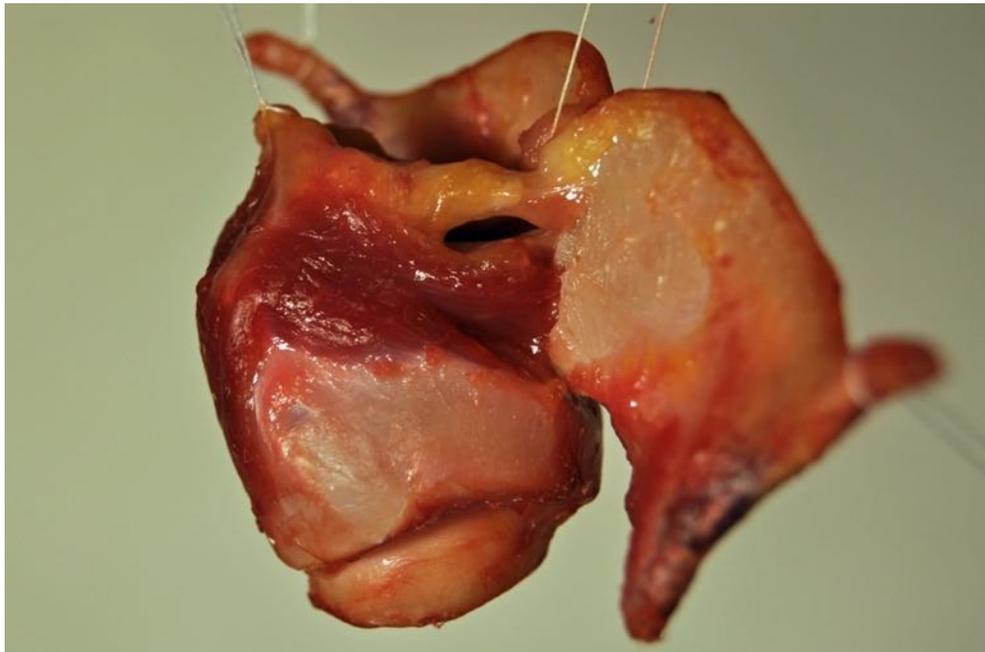


Abb. 60: Kehlkopf (weiblich, 49 Jahre) in der Ansicht von rechts; Schildknorpel rechtsseitig entfernt

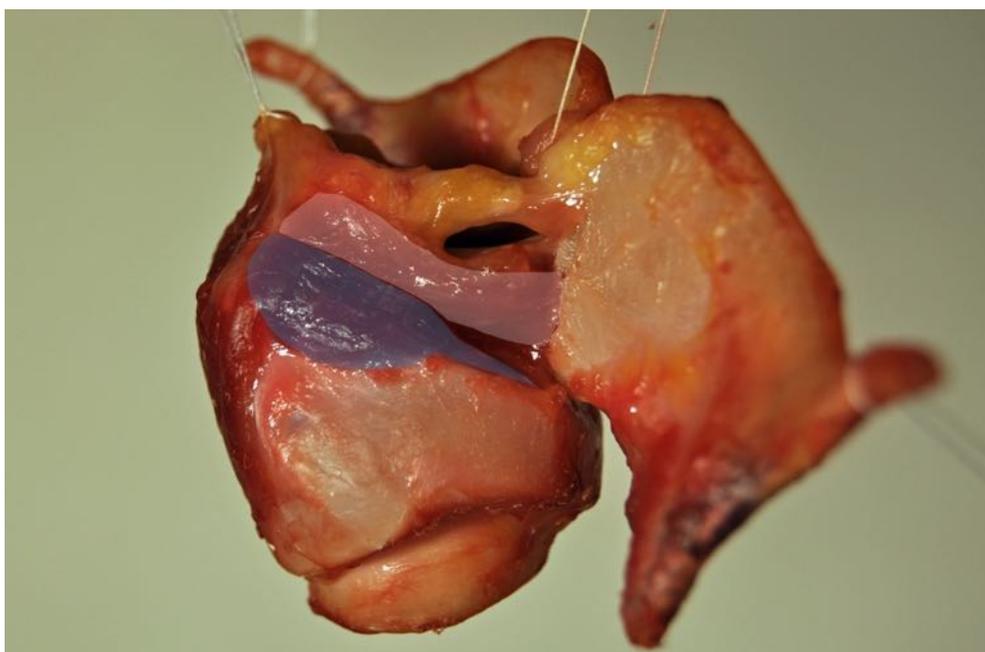


Abb. 61: Abbildung 60– bearbeitet; LCA (rosa) und TA (blau) dargestellt

Präparat 17: Der LCA weist die anfänglich beschriebene Morphologie auf. Allerdings scheint der Verlauf relativ steil. Der TA gleicht ebenfalls der anfänglich aufgeführten Beschreibung. Ansätze eines Taschenfaltenmuskels sind nicht ersichtlich.

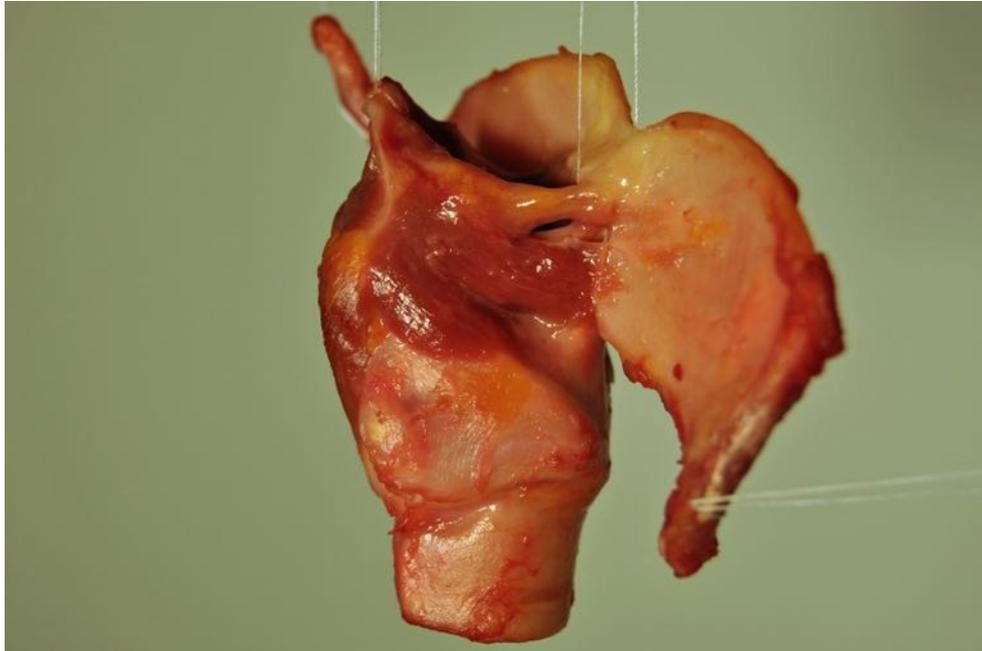


Abb. 62: Kehlkopf (weiblich, 68 Jahre) in der Ansicht von rechts; Schildknorpel rechtsseitig entfernt

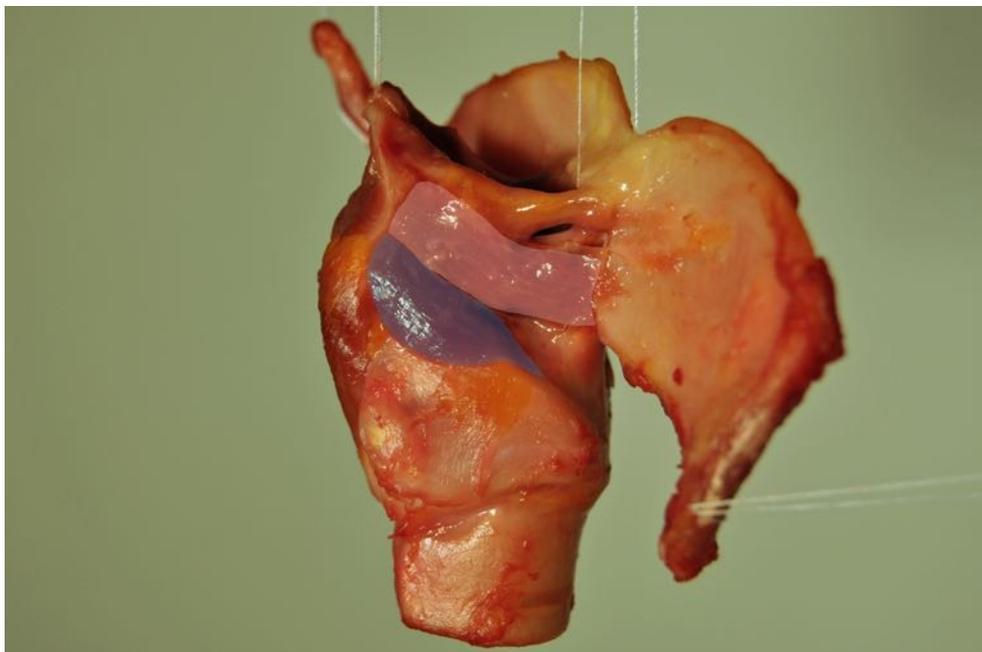


Abb. 63: Abbildung 62 – bearbeitet; LCA (rosa) und TA (blau) dargestellt

Präparat 18: Der LCA gleicht morphologisch der anfänglich aufgeführten Beschreibung. Durch eine schmale Fettschicht ist der Muskel gut vom TA zu differenzieren. Der TA ist von Ansatz bis Ursprung dargestellt und scheint im Gesamtbild nicht wesentlich von den vorherigen Annahmen abzuweichen. Da das Präparat kaudal durch die Unterkante des Ringknorpels begrenzt ist, wurde stattdessen versucht die Plica vestibularis parallel zum oberen Bildrand auszurichten. Dies entspricht jedoch nicht den Standards der Arbeit, weshalb die Zugvektoren nicht vorbehaltlos beurteilt werden können. In diesem Kontext wirkt der Verlauf des LCA abgeflacht. Ein Taschenfaltenmuskel ist nicht zu erkennen.

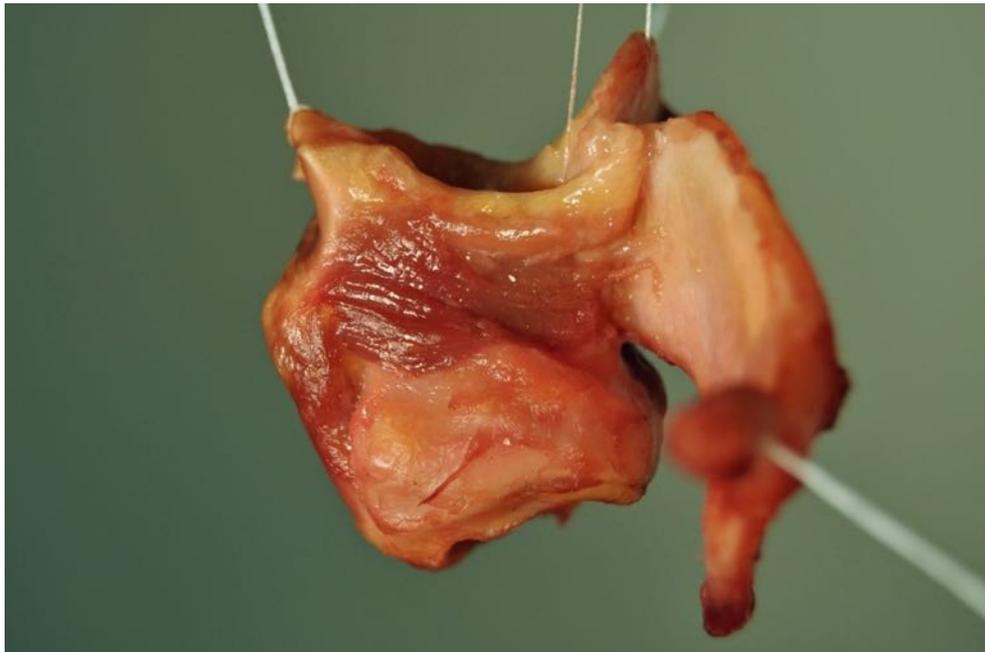


Abb. 64: Kehlkopf (weiblich, 75 Jahre) in der Ansicht von rechts; Schildknorpel rechtsseitig entfernt

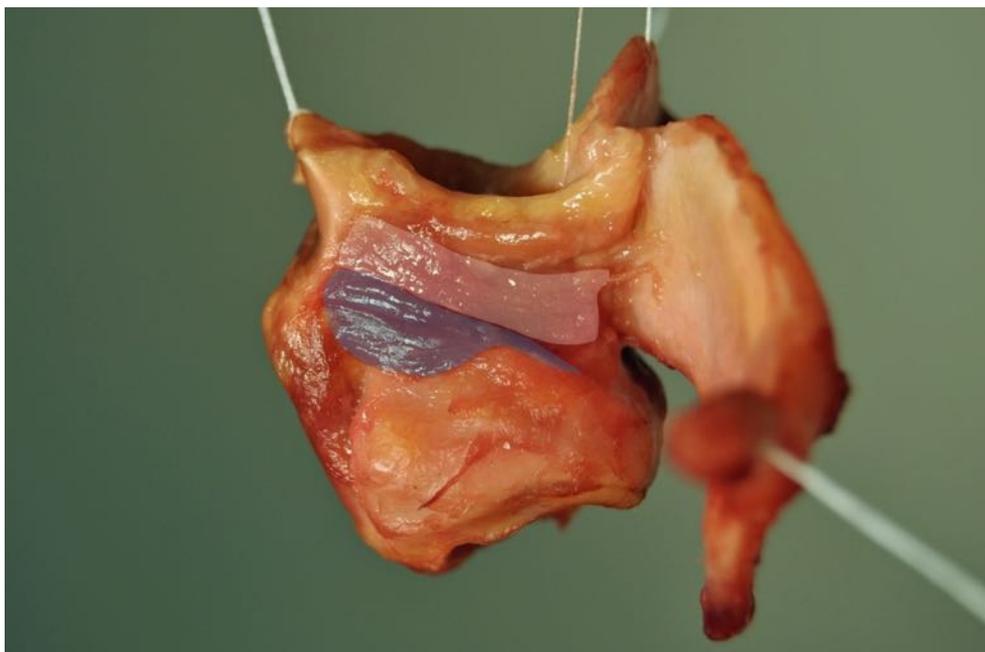


Abb. 65: Abbildung 64 – bearbeitet; LCA (rosa) und TA (blau) dargestellt

Präparat 19: Der LCA folgt der anfänglich aufgeführten Beschreibung. Der TA verläuft streng horizontal zum unteren Drittel des Schildknorpels. Dadurch ist er leicht vom LCA abgrenzbar. Der Insertionspunkt am Aryknorpel ist vom Taschenfaltenmuskel überlagert, der dort ebenfalls entspringt und nach vorne oben zur Plica vestibularis zieht, wo er etwa im vorderen Drittel ansetzt. Alle Zugvektoren sind deutlich erkennbar. Der Verlauf des Taschenfaltenmuskels scheint bei diesem Präparat besonders steil aufsteigend.

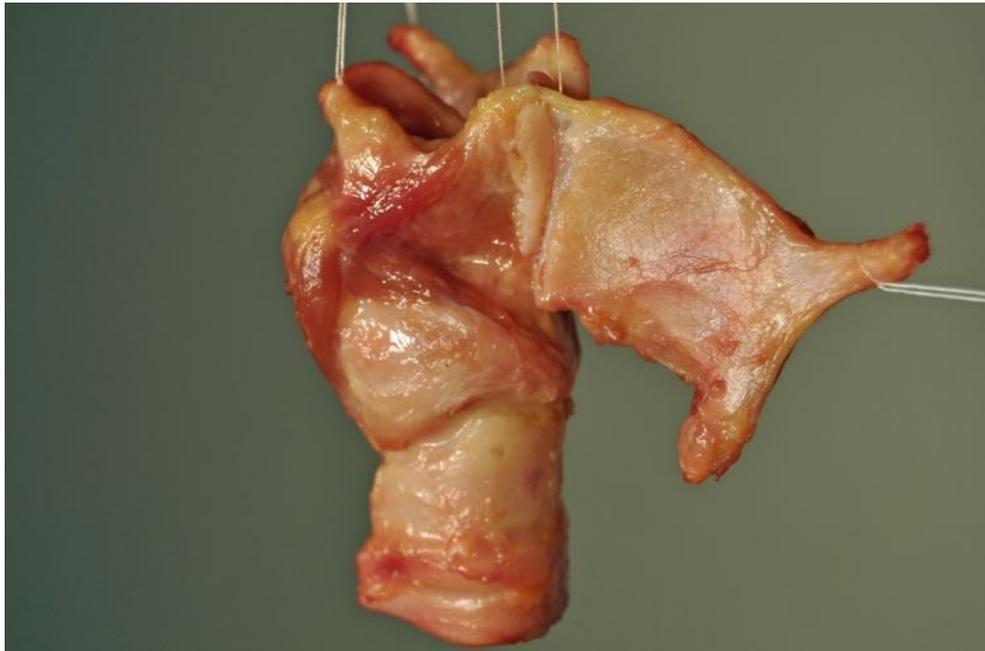


Abb. 66: Kehlkopf (weiblich, 79 Jahre) in der Ansicht von rechts; Schildknorpel rechtsseitig entfernt

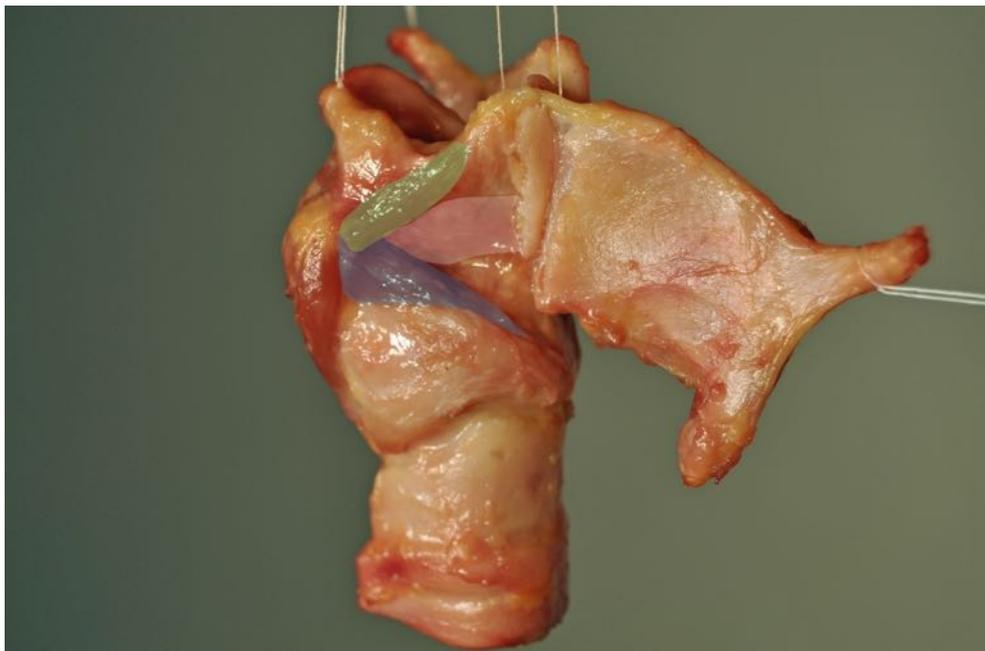


Abb. 67: Abbildung 66 – bearbeitet; LCA (rosa), TA (blau) & Taschenfaltenmuskel (grün) dargestellt

Präparat 20: Der LCA weist die zuvor beschriebene Morphologie auf. Auffällig ist der ascendierende Verlauf des TA und sein punktueller Ansatz etwa mittig des Schildknorpels. An dieser Stelle sollte bedacht werden, dass während der Präparation Probleme bei der Spaltung des Schildknorpels aufgetreten sind, was zu einer Destabilisierung des Präparats geführt hat. Deshalb kann nicht abschließend geklärt werden, ob es sich um ein Artefakt oder die tatsächliche Morphologie des TA handelt. Ein Taschenfaltenmuskel ist nicht ersichtlich.

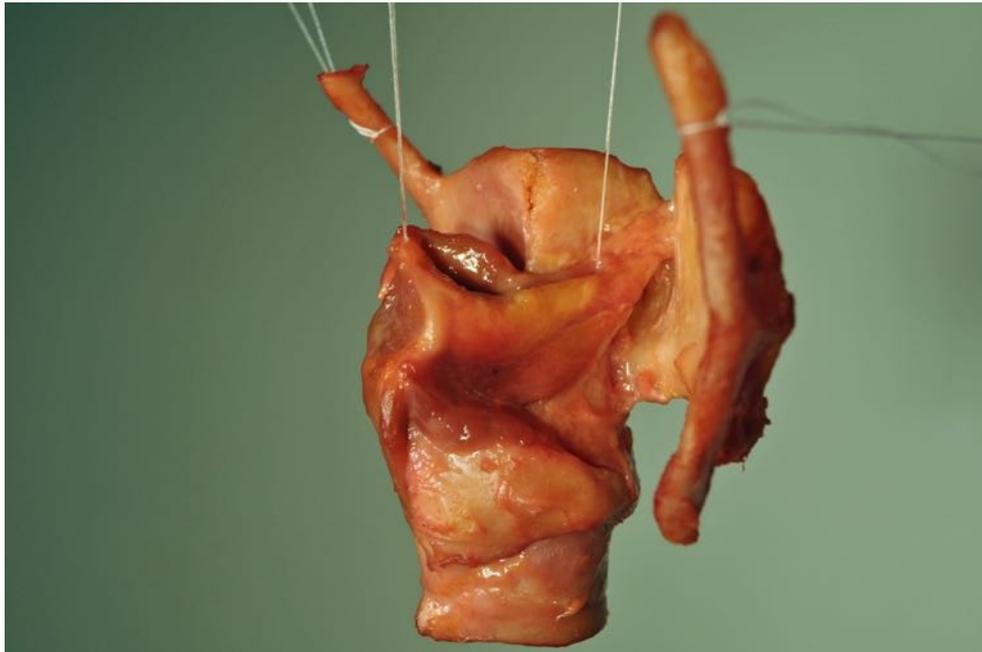


Abb. 68: Kehlkopf (männlich, 75 Jahre) in der Ansicht von rechts; Schildknorpel rechtsseitig entfernt

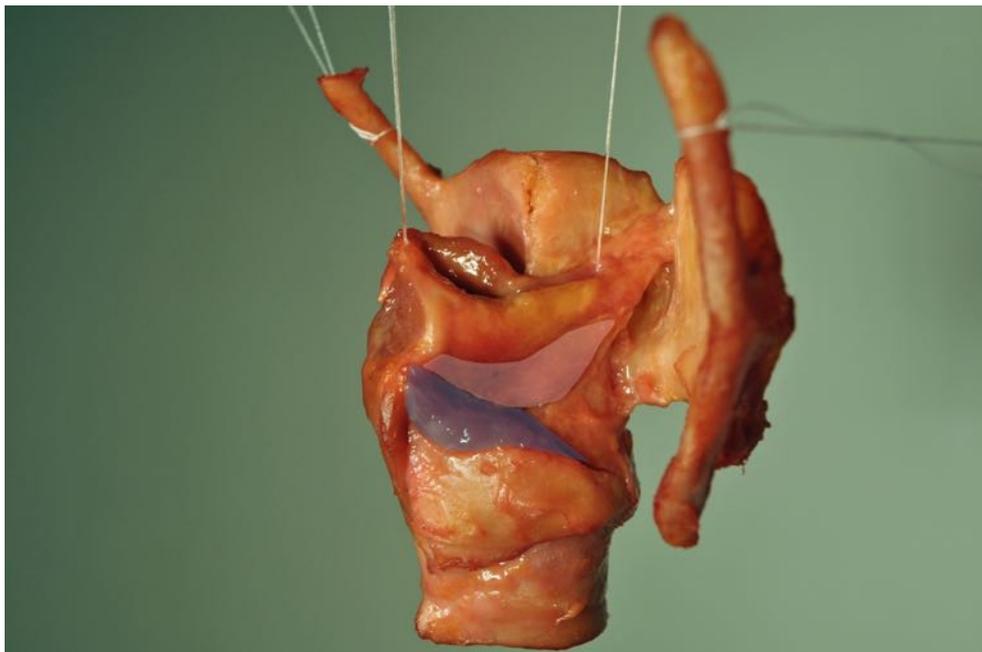


Abb. 69: Abbildung 68 – bearbeitet; LCA (rosa) und TA (blau) dargestellt

4 Diskussion

4.1 Diskussion der Methodik

Um die Übertragbarkeit der Versuchsergebnisse auf den menschlichen Körper zu gewährleisten, ist eine größtmögliche Übereinstimmung zwischen den Bedingungen im Labor und den Gegebenheiten im menschlichen Organismus anzustreben.

Die Arbeit wurde an humanen exzidierten Kadaverkehlköpfen durchgeführt. Menschliche Gewebe stellen die Grundlage vieler Untersuchungen in der Forschung dar, für die es in absehbarer Zeit keinen geeigneten Ersatz geben wird. Zwar werden Modelle immer weiter verbessert, können allerdings bisher „das Original“ nicht ersetzen. Dies gilt auch für Tierexperimente (Püschel, 2016).

Nichtsdestotrotz gilt zu berücksichtigen, dass es sich auch bei den Präparaten um devitalisiertes Gewebe handelt, welches weder eine regelrechte Durchblutung noch einen intakten Lymphabfluss aufweist. Zudem sind sie nicht mehr Gegenstand von Bewegung, wie sie beispielsweise bei der Atmung, dem Schluckakt oder der Phonation entsteht, weshalb die Präparate nicht umfassend die Funktion des Kehlkopfes widerspiegeln können.

Dennoch ermöglicht die Präparation an exzidierten Kehlköpfen ein genaueres dreidimensionales Verständnis der anatomischen Strukturen, welches durch die fotografische Darstellung hochauflösend festgehalten und dokumentiert werden kann.

Der Zugang zum Zielgebiet wird bei dieser Arbeit durch die Entfernung einiger haltgebender Strukturen erreicht. Dies schafft Übersicht und ermöglicht den uneingeschränkten Blick auf LCA und TA. Andererseits führt die Aufhebung des Knorpelgerüsts zu zunehmender Destabilisierung der Präparate, weshalb kritisch betrachtet werden sollte, ob daraus gegebenenfalls eine verzerrte Darstellung anatomischer Verhältnisse resultiert. Durch die Aufhängung der Präparate an den Okularen soll dieser Effekt jedoch weitgehend aufgehoben und die ursprüngliche Zugrichtung der Muskeln simuliert werden.

Im Rahmen der Arbeit wurden möglichst standardisierte Abläufe etabliert. Dies beinhaltet nicht nur die Präparation, sondern auch die fotografische Darstellung bis hin zur Auswertung der Ergebnisse.

Kontrovers zu diskutieren bleibt die Anwendung einer untersucherabhängigen Darstellungsmethode. Es ist nicht auszuschließen, dass abhängig von den Fertigkeiten und Erfahrungen im Umgang mit der Präparation divergierende Ergebnisse entstehen können. Angestrebt wurde eine detaillierte und individuelle Betrachtung der anatomischen Gegebenheiten und nicht die Erstellung eines Querschnitts der Präparate, weshalb auf objektive Kriterien zur Auswertung der Ergebnisse bewusst verzichtet wurde.

In Konklusion lässt sich festhalten, dass die Präparation an exzidierten Kehlköpfen eine adäquate Methode zur Darstellung der intrinsischen Kehlkopfmuskulatur ist, mit deren Hilfe übertragbare und reproduzierbare Ergebnisse erzielt werden können.

4.2 Diskussion der Ergebnisse

Ziel der Arbeit war es durch durch minutiöse Präparation des M. cricoarytaenoideus lateralis, des M. thyroarytaenoideus mit Pars medialis und Pars lateralis sowie der am Aryknorpel inserierenden Taschenfaltenmuskeln die Zugvektoren visuell kenntlich zu machen. Durch geschickte Präparation sollte die Lagebeziehung der Muskeln verdeutlicht werden.

Die erhobenen Ergebnisse zeigen einen gelungenen Beitrag zur Darstellung der paraglottischen Muskulatur. Die Qualität der Aufnahmen ist so hochauflösend, dass alle Beobachtungen am Präparat festgehalten werden konnten. Mithilfe von Photoshop gelang zudem eine didaktisch wertvolle Aufarbeitung der Fotos.

Die individuelle Betrachtung schafft einen detaillierten Blick für die Morphologie, Zugrichtung und Lagebeziehung der Muskeln. Darüber hinaus ermöglicht die Fallzahl auch eine kontextuelle Beurteilung.

Das Erscheinungsbild des LCA wirkt überwiegend konstant. Der TA hingegen imponiert mit größerer Varianz. Dies legt die Vermutung nahe, dass der Muskel in unterschiedlichen Schichten abgebildet ist. Unter Berücksichtigung aller Ergebnisse gilt anzunehmen, dass die Pars lateralis des TA einen eher absteigenden Richtungsvektor aufweist wohingegen die Pars medialis annähernd horizontal verläuft. Dies führt zur dimorphen Gestalt des TA.

Im Hinblick auf geschlechtsspezifische Unterschiede bleibt zu hinterfragen, ob diese wirklich ausschließlich auf das Knorpelskelett zurückzuführen sind. Durch die kürzere Strecke zwischen Schild- und Aryknorpel entstehen am weiblichen Präparat teilweise andere Größen- und Winkelverhältnisse. Im Zuge dessen erscheint der LCA in Relation

zum TA bei einigen weiblichen Präparaten größer als am männlichen Präparat, wo stets der TA als dominanter Muskel imponiert. Zudem wirkt der Verlauf des LCA bei der Frau steiler absteigend. Dies betrifft auch den Taschenfaltenmuskel, welcher stärker aszendiert. Der Ansatz des Taschenfaltenmuskels an der Plica vestibularis lässt ebenfalls Raum zur Diskussion. Durch die sporadische Ausprägung ist eine konkrete Aussage aufgrund der niedrigen Fallzahl (n=6) jedoch nur eingeschränkt zulässig. Unklar bleibt deshalb in welchem Drittel der Plica vestibularis der Taschenfaltenmuskel vornehmlich inseriert. Im Rahmen dieser Arbeit konnten Ansatzpunkte sowohl im vorderen Drittel als auch am Schildknorpel beobachtet werden.

Diskutabel ist außerdem, ob die kräftige Ausprägung des Taschenfaltenmuskels in Präparat 5 als kompensatorische Hypertrophie infolge einer Stimmbandlähmung bewertet werden kann (vgl. Kap. 1.1.3 Taschenfaltenmuskel).

Zur besseren Evaluation einzelner Ergebnisse wären zusätzliche Informationen bezüglich der individuellen Krankengeschichte von Bedeutung.

Durch das neu gewonnene Wissen kann ein besseres Verständnis stimmphysiologischer Grundlagen vermittelt werden. Die genaue Kenntnis der Lagebeziehung der inneren Kehlkopfmuskeln kann außerdem therapeutisch zur Injektion von Medikamenten und Implantaten genutzt werden.

4.3 Ausblick

Besondere Aufmerksamkeit sollte zukünftig auf den Taschenfaltenmuskel gerichtet werden. Der Ursprung des Taschenfaltenmuskels am Aryknorpel konnte bereits im Rahmen dieser Arbeit reproduziert werden, fraglich bleibt jedoch an welchem Teil der Plica vestibularis er vornehmlich inseriert. Hier entstanden bisher divergierende Ergebnisse.

Um repräsentative Resultate zu erzielen, sollte aufgrund der sporadischen Ausprägung dazu außerdem eine höhere Fallzahl angestrebt werden.

Von weiterem Interesse wäre eine Verknüpfung von Auftreten eines Taschenfaltenmuskels und Anamnese des Patienten, um möglicherweise Rückschlüsse auf dessen Funktion ziehen zu können. Die Bedeutung des Taschenfaltenmuskels konnte in der Literatur bisher nur unzureichend geklärt werden (vgl. Kap. 1.1.3 Taschenfaltenmuskel).

Ebenfalls gut vorstellbar wäre, die zum Teil veralteten Abbildungen in Lehrbüchern auf einen neueren Stand zu bringen. Gleichmaßen wünschenswert wäre die Einführung einer einheitlichen Nomenklatur des TA mit seiner Pars medialis und Pars lateralis einzuführen.

Dazu sollte auch geklärt werden, ob es sich bei dem M. vocalis um einen eigenständigen Muskel oder die Pars medialis des TA handelt. Diesbezüglich herrscht in der Literatur weiterhin keine Einigkeit.

5 Zusammenfassung

Die vorgelegte Arbeit widmet sich der Lagebeziehung der inneren Kehlkopfmuskeln. In der gängigen Literatur herrscht nach wie vor Unklarheit über das Zusammenspiel von *M. cricoarytaenoideus lateralis*, *M. thyroarytaenoideus* mit Pars medialis und Pars lateralis sowie der am Aryknorpel inserierenden Taschenfaltenmuskeln.

Deshalb wurden an 20 exzidierten Kehlkopfpräparaten durch minutiöse Präparation die Zugvektoren visuell kenntlich gemacht. Im fotografischen Teil der Arbeit wurden die Ergebnisse hochauflösend dokumentiert. Durch die didaktisch wertvolle Aufbereitung der Fotos sollen diese zukünftig ein breiteres Publikum ansprechen, da die genaue Kenntnis der Anatomie des Kehlkopfes für das Verständnis der Phonation und ihrer Pathologien von grundlegender Bedeutung ist.

Zusammenfassend weist der LCA die konstanteste Morphologie auf. Der Muskel verläuft stets in einem ca 45° absteigenden Winkel. Er entspringt an der Vorderseite des Proc. muscularis des Aryknorpels und zieht zur oberen Kante des Arcus cartilaginis cricoideae der gleichen Seite.

In enger Nachbarschaft zum LCA befindet sich der TA, welcher nur unmittelbar über dem Proc. muscularis an der Facies anterolaterales des Aryknorpels entspringt. Betrachtet man den Verlauf des Muskels wird eine Pars medialis und Pars lateralis sichtbar. Die Pars lateralis folgt eher der leicht deszendierenden Richtung des LCA, wohingegen die Pars medialis einen nahezu horizontalen Verlauf zeigt und auf der Innenseite etwa im unteren Drittel des Schildknorpels inseriert.

Weniger vorhersehbar ist die Ausprägung des Taschenfaltenmuskels. Er weist nicht nur ein unregelmäßiges Auftreten, sondern auch eine variable Morphologie auf. In Konklusion kann jedoch von einem leicht aufsteigenden Richtungsvektor gesprochen werden. Dabei überlagert der Taschenfaltenmuskel – wenn vorhanden – den Ursprung des TA am Aryknorpel. Im Rahmen dieser Arbeit war er bei 30 Prozent der Präparate ersichtlich.

5.1 Summary

This study deals with the relative position of the inner laryngeal muscles. In common literature the exact course and interaction of LCA, TA, including its medial and lateral part, as well as the ventricular muscle, which inserts at the arytenoid cartilage, are still unclear. Therefore postmortem examination was performed on 20 larynxes in order to visualize the directional vectors of these muscles. The results were documented using a high-resolution camera. By preparing the photos in an educational manner, they should prospectively speak to a wider audience, since detailed knowledge of anatomy and physiology of the human larynx is essential for deeper understanding of the phonation and its pathologies.

In summary, the LCA shows the most continuous morphology. The muscle mostly descends at a 45° angle. It originates at the front side of the muscular process of the arytenoid cartilage and courses towards the upper border of the arch of cricoid cartilage of the same side.

In close relationship to the LCA, the TA originates directly from the muscular process at the anterolateral facies of the arytenoid cartilage. On closer inspection of the fiber course a medial and lateral part become obvious. The lateral part of the muscle follows more the slightly descending direction of the LCA, whereas the medial part courses almost horizontally and inserts on the back side of the lower third of the thyroid cartilage.

Less predictable are the characteristics of the ventricular muscle. Not only its appearance, but also its morphology is hard to anticipate. All in all, it has a slightly ascending directional vector. If present, it overlays the insertion point of the TA at the arytenoid cartilage. Within this study the presence of a ventricular muscle was shown in 30 percent of the cases.

6 Abkürzungsverzeichnis

A.	Arteria
ALM	anterolaterales Muskelbündel
AML	akute lymphatische Leukämie
AMM	anteromediales Muskelbündel
Art.	Articulatio
Btx	Botulinumtoxin
BVFP	bilateral vocal fold paralysis
CaHA	Calcium Hydroxylapatite
CT	M. cricothyroideus
EMG	Elektromyographie
FDA	Food and Drug Administration
inf.	inferior
kD	Kilodalton
LCA	M. cricoarytaenoideus lateralis
LEMG	laryngeal electromyography
Lig.	Ligamentum
M.	Musculus
MPT	maximum phonation time
MRT	Magnetresonanztomographie
MTD	muscle tension dysphonia
MUP	motor unit potential
N.	Nervus
n	Fallzahl
NIH	National Institutes of Health
PCA	M. cricoarytaenoideus posterior
PLM	posterolaterales Muskelbündel
post.	posterior
Proc.	Processus
Procc.	Processuus
SD	Spasmodische Dysphonie
SNAP-25	synaptosomal-associated protein of 25 kD
SNARE	soluble N-ethylmaleimide-sensitive-factor attachment receptor
T	Tesla
TA	M. thyroarytaenoideus
UVFP	unilateral vocal fold paralysis
VHI	Voice Handicap Index

7 Literaturverzeichnis

- Arviso, L., Johns, M., Mathison, C. & Klein, A. (2010). Long-term outcomes of injection laryngoplasty in patients with potentially recoverable vocal fold paralysis¹. *The Laryngoscope*. 120 (11). p.pp. 2237–2240.
- Benninger, M. (2016). Medialization Laryngoplasty (Thyroplasty) and Arytenoid Rotation/Adduction. In: R. T. Sataloff & M. S. Benninger (eds.). *Sataloff's comprehensive textbook of otolaryngology head and neck surgery (Vol. 4) - Laryngology*. New Delhi, London, Philadelphia, Panama: Jaypee Brothers Medical Publishers, pp. 805–812.
- Blitzer, A. (2010). Spasmodic dysphonia and botulinum toxin: experience from the largest treatment series. *European Journal of Neurology*. 17 (s1). p.pp. 28–30.
- Blitzer, A., Lovelace, R., Brin, M., Fahn, S. & Fink, M. (1985). Electromyographic findings in focal laryngeal dystonia (spastic dysphonia). *The Annals of otology, rhinology, and laryngology*. 94 (6 Pt 1). p.pp. 591–4.
- Blumin, J. (2016). Principles of timing and treatment - unilateral. In: R. T. Sataloff & M. S. Benninger (eds.). *Sataloff's comprehensive textbook of otolaryngology head and neck surgery (Vol. 4) - Laryngology*. New Delhi, London, Philadelphia, Panama: Jaypee Brothers Medical Publishers, pp. 773–776.
- Boenninghaus, H.-G. & Lenarz, T. (2007). *Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde*. 13th Ed. Springer Medizin Verlag Heidelberg.
- Borodic, G., Joseph, M., Fay, L., Cozzolino, D. & Ferrante, R. (1990). Botulinum A toxin for the treatment of spasmodic torticollis: dysphagia and regional toxin spread. *Head & neck*. 12 (5). p.pp. 392–9.
- Brin, M., Blitzer, A., Fahn, S., Lovelace, R. & Gould, W. (1989). Adductor laryngeal dystonia (spastic dysphonia): Treatment with local injections of botulinum toxin (Botox). *Movement Disorders*. 4 (4). p.pp. 287–296.
- Bryson, P. & Devine, C. (2016). Vocal Fold Injection. In: R. T. Sataloff & M. S. Benninger (eds.). *Sataloff's comprehensive textbook of otolaryngology head and neck surgery (Vol. 4) - Laryngology*. New Delhi, London, Philadelphia, Panama: Jaypee Brothers Medical Publishers, pp. 791–803.
- Busto Crespo, O., Uzcanga Lacabe, M., Abad Marco, A., Berasategui, I., García, L., Aguilera Albesa, S. & Fernández González, S. (2016). [Unilateral vocal fold paralysis: quality of voice after speech therapy]. *Anales del sistema sanitario de Navarra*. 39 (1). p.pp. 69–75.
- Cannito, M. & Johnson, J. (1981). Spastic dysphonia: a continuum disorder. *Journal of communication disorders*. 14 (3). p.pp. 215–33.
- Cantarella, G., Dejonckere, P., Galli, A., Ciabatta, A., Gaffuri, M., Pignataro, L. & Torretta, S. (2016). A retrospective evaluation of the etiology of unilateral vocal fold paralysis over the last 25 years. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*. p.pp. 1–7.
- Castellanos, P., Gates, G., Esselman, G., Song, F., Vannier, M. & Kuo, M. (1994). Anatomic Considerations in Botulinum Toxin Type A Therapy for Spasmodic Dysphonia. *Laryngoscope*. 104 (6 Pt 1). p.pp. 656–62.

- Chan, R., Gray, S. & Titze, I. (2001). The importance of hyaluronic acid in vocal fold biomechanics. *Otolaryngology--head and neck surgery: official journal of American Academy of Otolaryngology-Head and Neck Surgery*. 124 (6). p.pp. 607–14.
- Chen, T., Chodara, A., Sprecher, A., Fang, F., Song, W., Tao, C. & Jiang, J. (2012). A New Method of Reconstructing the Human Laryngeal Architecture Using Micro-MRI. *Journal of Voice*. 26 (5). p.pp. 555–562.
- Chheda, N., Rosen, C., Belafsky, P., Simpson, C. & Postma, G. (2008). Revision laryngeal surgery for the suboptimal injection of calcium hydroxylapatite. *The Laryngoscope*. 118 (12). p.pp. 2260–3.
- Dedo, H. (1976). Recurrent laryngeal nerve section for spastic dysphonia. *The Annals of otology, rhinology, and laryngology*. 85 (4 Pt 1). p.pp. 451–9.
- DeFatta, R., Chowdhury, F. & Sataloff, R. (2012). Complications of injection laryngoplasty using calcium hydroxylapatite. *Journal of voice : official journal of the Voice Foundation*. 26 (5). p.pp. 614–8.
- Ford, C., Bless, D. & Lowery, J. (1990). Indirect laryngoscopic approach for injection of botulinum toxin in spasmodic dysphonia. *Otolaryngology--head and neck surgery: official journal of American Academy of Otolaryngology-Head and Neck Surgery*. 103 (5 (Pt 1)). p.pp. 752–8.
- Fried, M., Meller, S. & Rinaldo, A. (2009). Adult laryngeal anatomy. In: F. A. Fried MP (ed.). *The Larynx (Vol. 1)*. San Diego: Plural Publishing, pp. 85–100.
- Friedman, A., Burns, J., Heaton, J. & Zeitels, S. (2010). Early versus late injection medialization for unilateral vocal cord paralysis. *The Laryngoscope*. 120 (10). p.pp. 2042–2046.
- Friedrich, G. & Hammer, G. (2016). Gross Anatomy of the Larynx. In: R. T. Sataloff & M. S. Benninger (eds.). *Sataloff's comprehensive textbook of otolaryngology head and neck surgery (Vol. 4) - Laryngology*. New Delhi, London, Philadelphia, Panama: Jaypee Brothers Medical Publishers, pp. 23–43.
- Fulmer, S., Merati, A. & Blumin, J. (2011). Efficacy of laryngeal botulinum toxin injection: Comparison of two techniques. *The Laryngoscope*. 141 (9). p.pp. 1924–8.
- Gosling, J. & Lippert, H. (2005). *Fotoatlas Anatomie : Präparate, Zeichnungen und Text*. 1st Ed. München, Jena: Elsevier, Urban und Fischer.
- Halderman, A., Bryson, P., Benninger, M. & Chota, R. (2014). Safety and length of benefit of restylane for office-based injection medialization-a retrospective review of one institution's experience. *Journal of voice : official journal of the Voice Foundation*. 28 (5). p.pp. 631–5.
- Hirano, M., Tanaka, S., Tanaka, Y. & Hibi, S. (1990). Transcutaneous intrafold injection for unilateral vocal fold paralysis: functional results. *The Annals of otology, rhinology, and laryngology*. 99 (8). p.pp. 598–604.
- Inagi, K., Ford, C., Bless, D. & Heisey, D. (1996). Analysis of factors affecting botulinum toxin results in spasmodic dysphonia. *Journal of voice : official journal of the Voice Foundation*. 10 (3). p.pp. 306–13.
- Isshiki, N., Morita, H., Okamura, H. & Hiramoto, M. (1974). Thyroplasty as a new phonosurgical technique. *Acta oto-laryngologica*. 78 (5–6). p.pp. 451–7.

- Jacobson, B., Johnson, A., Grywalski, C., Silbergleit, A., Jacobson, G., Benninger, M. & Newman, C. (1997). The Voice Handicap Index (VHI). *American Journal of Speech-Language Pathology*. 6 (3). p.p. 66.
- Kelchner, L., Stemple, J., Gerdeman, E., Le Borgne, W. & Adam, S. (1999). Etiology, pathophysiology, treatment choices, and voice results for unilateral adductor vocal fold paralysis: a 3-year retrospective. *Journal of voice : official journal of the Voice Foundation*. 13 (4). p.pp. 592–601.
- Klotz, D., Shahinfar, A., Maronian, N., Robinson, L., Waugh, P. & Hillel, A. (2004). Findings of Multiple Muscle Involvement in a Study of 214 Patients with Laryngeal Dystonia Using Fine-Wire Electromyography. *Annals of Otolaryngology, Rhinology & Laryngology*. 113 (8). p.pp. 602–612.
- Koike, Y., Hirano, M., Morio, M. & Kasuya, T. (1975). [Function of the laryngeal muscles on the position and shape of the vocal cord (author's transl)]. *Nihon Jibiinkoka Gakkai kaiho*. 78 (12). p.pp. 1249–57.
- Kotby, M., Kirchner, J., Kahane, J., Basiouny, S. & El-Samaa, M. (1991). Histo-anatomical structure of the human laryngeal ventricle. *Acta oto-laryngologica*. 111 (2). p.pp. 396–402.
- Koufman, J. (1986). Laryngoplasty for vocal cord medialization: an alternative to Teflon. *The Laryngoscope*. 96 (7). p.pp. 726–31.
- Kwon, T.-K., Lee, J.-E., Cha, W., Song, C., Sung, M.-W. & Kim, K. (2013). Serial computed tomographic and positron emission tomographic properties of injection material used for vocal fold augmentation. *The Laryngoscope*. 123 (10). p.pp. 2491–6.
- Larson, H. (1987). Botulism, gas gangrene and clostridium gastrointestinal infections. In: D. Weatherall, J. Leingham, & D. Warrell (eds.). *Oxford Textbook of Medicine*. Oxford: Oxford University Press, pp. 270–277.
- Ludlow, C., Adler, C., Berke, G., Bielowicz, S., Blitzer, A., Bressman, S., Hallett, M., Jinnah, H., Juergens, U., Martin, S., Perlmutter, J., Sapienza, C., Singleton, A., Tanner, C. & Woodson, G. (2008). Research priorities in spasmodic dysphonia. *Otolaryngology--head and neck surgery : official journal of American Academy of Otolaryngology-Head and Neck Surgery*. [Online]. 139 (4). p.pp. 495–505. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18922334>. [Accessed: 10 January 2017].
- Ludlow, C., Naunton, R., Sedory, S., Schulz, G. & Hallett, M. (1988). Effects of botulinum toxin injections on speech in adductor spasmodic dysphonia. *Neurology*. 38 (8). p.pp. 1220–5.
- Moon, J. & Alipour, F. (2013). Muscular anatomy of the human ventricular folds. *The Annals of otology, rhinology, and laryngology*. 122 (9). p.pp. 561–7.
- De Oliveira Alonso, V., Chagury, A., Hachiya, A., Imamura, R., Tsuji, D. & Sennes, L. (2013). Diffusion of aniline blue injected into the thyroarytenoid muscle as a proxy for botulinum toxin injection: an experimental study in cadaver larynges. *International archives of otorhinolaryngology*. 17 (3). p.pp. 315–20.
- Paulsen, F., Rudert, H. & Tillmann, B. (1999). New insights into the pathomechanism of postintubation arytenoid subluxation. *Anesthesiology*. 91 (3). p.pp. 659–66.

- Pinho, S., Pontes, P., Gadelha, M. & Biasi, N. (1999). Vestibular vocal fold behavior during phonation in unilateral vocal fold paralysis. *Journal of voice : official journal of the Voice Foundation*. 13 (1). p.pp. 36–42.
- Püschel, K. (2016). Lehre und Forschung an Verstorbenen. *Rechtsmedizin*. 26 (2). p.pp. 115–119.
- Reichel, G., Jost, W. & Wissel, J. (2012). *Therapieleitfaden Spastik - Dystonien*. 5. Auflage. Bremen: UNI-MED Verlag AG.
- Reidenbach, M. (1998). The muscular tissue of the vestibular folds of the larynx. *European archives of oto-rhino-laryngology: official journal of the European Federation of Oto-Rhino-Laryngological Societies (EUFOS): affiliated with the German Society for Oto-Rhino-Laryngology - Head and Neck Surgery*. 255 (7). p.pp. 365–7.
- Roberts, J. (1990). Functional anatomy of the larynx. *International Anesthesiology Clinics*. 28 (2). p.pp. 101–5.
- Rohen, J., Yokochi, C. & Lütjen-Drecoll, E. (2006). *Anatomie des Menschen / Fotografischer Atlas der systematischen und topografischen Anatomie*. 6th Ed. Stuttgart: Schattauer.
- Rosen, C. & Simpson, C. (2008). Percutaneous Vocal Fold Augmentation in the Clinic Setting. In: C. A. Rosen & C. B. Simpson (eds.). *Operative Techniques in Laryngology*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, pp. 215–220.
- Rosenthal, L. (2016). Etiology, Incidence, and Prevalence of Laryngeal Disorders. In: R. T. Sataloff & M. S. Benninger (eds.). *Sataloff's comprehensive textbook of otolaryngology head and neck surgery (Vol. 4) - Laryngology*. New Delhi, London, Philadelphia, Panama: Jaypee Brothers Medical Publishers, pp. 459–470.
- Rosenthal, L.H.S., Benninger, M.S. & Deeb, R.H. (2007). Vocal fold immobility: a longitudinal analysis of etiology over 20 years. *The Laryngoscope*. 117 (10). p.pp. 1864–70.
- Roy, N., Mazin, A. & Awan, S. (2014). Automated acoustic analysis of task dependency in adductor spasmodic dysphonia versus muscle tension dysphonia. *The Laryngoscope*. 124 (3). p.pp. 718–724.
- Ruben, R. (2000). Redefining the Survival of the Fittest: Communication Disorders in the 21st Century. *The Laryngoscope*. 110 (2). p.pp. 241–241.
- Schünke, M., Schulte, E., Schumacher, U., Voll, M. & Wesker, K. (2009). *Kopf, Hals und Neuroanatomie*. 3rd Ed. Stuttgart: Thieme.
- Scott, A. (1980). Botulinum toxin injection into extraocular muscles as an alternative to strabismus surgery. *Ophthalmology*. 87 (10). p.pp. 1044–9.
- Selbie, W., Gewalt, S. & Ludlow, C. (2002). Developing an anatomical model of the human laryngeal cartilages from magnetic resonance imaging. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 112 (3). p.p. 1077.
- Sittel, C., Stennert, E., Thumfart, W., Dapunt, U. & Eckel, H. (2001a). Prognostic value of laryngeal electromyography in vocal fold paralysis. *Archives of otolaryngology--head & neck surgery*. 127 (2). p.pp. 155–60.
- Sittel, C., Wassermann, K., Mathen, F. & Eckel, H. (2001b). [Unilateral and bilateral recurrence of inferior laryngeal nerve paralysis]. *Pneumologie (Stuttgart, Germany)*. 55 (12). p.pp. 568–78.

- Smith, L., Rosen, C., Niyonkuru, C. & Munin, M. (2012). Quantitative electromyography improves prediction in vocal fold paralysis. *The Laryngoscope*. 122 (4). p.pp. 854–859.
- Storck, C., Gehrler, R., Hofer, M., Neumayer, B., Stollberger, R., Schumacher, R., Gugatschka, M., Friedrich, G. & Wolfensberger, M. (2012). Laryngeal electromyography: Electrode guidance based on 3-dimensional magnetic resonance tomography images of the larynx. *Journal of Voice*. 26 (1). p.pp. 110–116.
- Sulica, L. (2008). The natural history of idiopathic unilateral vocal fold paralysis: evidence and problems. *The Laryngoscope*. 118 (7). p.pp. 1303–7.
- Sulica, L., Rosen, C., Postma, G., Simpson, B., Amin, M., Courey, M. & Merati, A. (2010). Current practice in injection augmentation of the vocal folds: indications, treatment principles, techniques, and complications. *The Laryngoscope*. 120 (2). p.pp. 319–25.
- Vázquez, T., Cobiella, R., Marañillo, E., Valderrama, F., McHanwell, S., Parkin, I. & Sañudo, J.R. (2009). Anatomical variations of the superior thyroid and superior laryngeal arteries. *Head & neck*. 31 (8). p.pp. 1078–85.
- Venkatesan, N., Johns, M., Hapner, E. & DelGaudio, J. (2010). Abductor paralysis after botox injection for adductor spasmodic dysphonia. *The Laryngoscope*. 120 (6). p.pp. 1177–80.
- Venketasubramanian, N., Seshadri, R. & Chee, N. (1999). Vocal cord paresis in acute ischemic stroke. *Cerebrovascular diseases (Basel, Switzerland)*. 9 (3). p.pp. 157–62.
- Vinson, K., Zraick, R. & Ragland, F. (2010). Injection versus medialization laryngoplasty for the treatment of unilateral vocal fold paralysis: follow-up at six months. *The Laryngoscope*. 120 (9). p.pp. 1802–7.
- Wang, C.-P., Chen, T.-C., Lou, P.-J., Yang, T.-L., Hu, Y.-L., Shieh, M.-J., Ko, J.-Y. & Hsiao, T.-Y. (2012). Neck ultrasonography for the evaluation of the etiology of adult unilateral vocal fold paralysis. *Head & Neck*. 34 (5). p.pp. 643–648.
- Ward, P., Hanson, D. & Abemayor, E. (1985). Transcutaneous Teflon injection of the paralyzed vocal cord: a new technique. *The Laryngoscope*. 95 (6). p.pp. 644–9.
- Woodson, G. & Benninger, M. (2016). Spasmodic Dysphonia. In: R. T. Sataloff & M. S. Benninger (eds.). *Sataloff's comprehensive textbook of otolaryngology head and neck surgery (Vol. 4) - Laryngology*. New Delhi, London, Philadelphia, Panama: Jaypee Brothers Medical Publishers, pp. 519–526.
- Yang, Q., Xu, W., Li, Y. & Cheng, L. (2015). Value of Laryngeal Electromyography in Spasmodic Dysphonia Diagnosis and Therapy. *The Annals of otology, rhinology, and laryngology*. 124 (7). p.pp. 579–83.
- Young, V., Zullo, T. & Rosen, C. (2010). Analysis of laryngeal framework surgery: 10-year follow-up to a national survey. *The Laryngoscope*. 120 (8). p.pp. 1602–8.

8 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abb. 1: Zeichnung in der Ansicht von kranial; Epiglottis entfernt (Friedrich & Hammer, 2016) Fig. 3.9A, S.36	6
Abb. 2: Zeichnung in der Ansicht von dorsolateral rechts; rechte Hälfte des Schilddrüsenknorpels entfernt (Friedrich & Hammer, 2016) Fig. 3.9B, S. 36.....	6
Abb. 3: Zeichnung in der Ansicht von kranial (Roberts, 1990) Fig. 6, S. 103	7
Abb. 4: Foto und Zeichnung in der Ansicht von dorsal (Castellanos et al., 1994) Fig. 5, S. 659.....	8
Abb. 5: Kehlkopfpräparat und Zeichnung in der Ansicht von links (Gosling & Lippert, 2005) Fig. 7.68, S. 326.....	9
Abb. 6: Kehlkopfpräparat und Zeichnung in der Ansicht von links (Gosling & Lippert, 2005) Fig. 7.69, S. 327.....	9
Abb. 7: Kehlkopfpräparate in der Ansicht von dorsolateral rechts (Rohen et al., 2006) Fig. I, S. 160	10
Abb. 8: Kehlkopfpräparate in der Ansicht von dorsolateral rechts (Rohen et al., 2006) Fig. II, S. 160	10
Abb. 9: Zeichnung in der Ansicht von links; linke Hälfte des Schilddrüsenknorpels fast ganz entfernt (Boenninghaus & Lenarz, 2007) Fig. 12.4, S. 246	11
Abb. 10: Zeichnung in der Ansicht von links; linke Hälfte des Schilddrüsenknorpels fast ganz entfernt (Schünke et al., 2009) Fig. d, S. 206.....	11
Abb. 11: zusätzlich sind Epiglottis und TA entfernt worden (Schünke et al., 2009) Fig. b, S. 206...	12
Abb. 12: LCA (rosa) und TA (blau) in der MRT (Chen et al., 2012) Fig. 7, S. 559.....	13
Abb. 13: 3D-Rekonstruktion (Chen et al., 2012) Fig. 8, S. 560.....	13
Abb. 14: schematische Zeichnung in der Ansicht von kranial (Storck et al., 2012) Fig. 1, S.111....	14
Abb. 15: MRT-Aufnahmen (Storck et al., 2012) Fig. 6, S.113.....	14
Abb. 16: 3D-Rekonstruktion in der Ansicht von rechts lateral (Storck et al., 2012) Fig. 7, S. 113..	14
Abb. 17: Koronarschnitte entlang der Plica vestibularis von anterior nach posterior (Moon & Alipour, 2013) Fig. 1, S. 8.....	15
Abb. 18: Detail aus Histopräparat 3: TA (schwarze Pfeilspitze), Taschenfaltenmuskel (schwarzer Pfeil) (Moon & Alipour, 2013) Fig. 4, S. 11.....	15
Abb. 19: perkutaner Zugang; transcricothyroid (1), transthyrohyoid (2), transoraler Zugang (3) (Woodson & Benninger, 2016) Fig. 39.1-3, S. 523	19
Abb. 20: Medianstellung bei normaler Stimmlippenbeweglichkeit (1), Paramedianstellung der linken Stimmlippe bei Lähmung des N. laryngeus inf. links (= „Recurrenslähmung links“) (2), Intermediärstellung der linken Stimmlippe bei gleichzeitiger Lähmung des N. laryngeus sup. und des N. laryngeus inf. links (3) (Boenninghaus & Lenarz, 2007) Fig. 14.14a-c, S. 269.....	22
Abb. 21: perkutane Zugangswege: transthyroid (1), transthyrohyoid (2), transcricothyroid (3) (Rosen & Simpson, 2008) Fig. 34.2-4, S. 217-18.....	24
Abb. 22: Ansicht von ventral nach Entfernung des umliegenden Gewebes	29
Abb. 23: Ansicht von dorsal; Art. cricothyroidea rechts luxiert	29
Abb. 24: Ansicht von kranial nach Entfernung der Epiglottis	29

Abb. 25: Präparat an Okularen aufgehängt; Kamera und Stativ	31
Abb. 26: Scheinwerfer mit Verblendung.....	31
Abb. 27: Präparat 15 in der Ansicht von links	32
Abb. 28: Präparat 16 in der Ansicht von dorsolateral rechts.....	32
Abb. 29: Screenshot der Adobe Photoshop Elements 14 Maske	33
Abb. 30: Kehlkopf (männlich, 56 Jahre) in der Ansicht von rechts; Schildknorpel rechtsseitig entfernt	36
Abb. 31: Abbildung 30 – bearbeitet; LCA (rosa) und TA (blau) dargestellt	36
Abb. 32: Kehlkopf (männlich, 90 Jahre) in der Ansicht von rechts; Schildknorpel rechtsseitig entfernt	37
Abb. 33: Abbildung 32 – bearbeitet; LCA (rosa) und TA (blau) dargestellt	37
Abb. 34: Kehlkopf (männlich, 61 Jahre) in der Ansicht von rechts; Schildknorpel rechtsseitig entfernt	38
Abb. 35: Abbildung 34 – bearbeitet; LCA (rosa) und TA (blau) dargestellt	38
Abb. 36: Kehlkopf (weiblich, 83 Jahre) in der Ansicht von rechts; Schildknorpel rechtsseitig entfernt	39
Abb. 37: Abbildung 36 – bearbeitet; LCA (rosa) und TA (blau) dargestellt	39
Abb. 38: Kehlkopf (männlich, 92 Jahre) in der Ansicht von rechts; Schildknorpel rechtsseitig entfernt	40
Abb. 39: Abbildung 38 – bearbeitet; LCA (rosa), TA (blau) & Taschenfaltenmuskel (grün) dargestellt	40
Abb. 40: Kehlkopf (männlich, 77 Jahre) in der Ansicht von rechts; Schildknorpel rechtsseitig entfernt	41
Abb. 41: Abbildung 40 – bearbeitet; LCA (rosa) und TA (blau) dargestellt	41
Abb. 42: Kehlkopf (weiblich, 81 Jahre) in der Ansicht von rechts; Schildknorpel rechtsseitig entfernt	42
Abb. 43: Abbildung 42 – bearbeitet; LCA (rosa) und TA (blau) dargestellt	42
Abb. 44: Kehlkopf (männlich, 73 Jahre) in der Ansicht von rechts; Schildknorpel rechtsseitig entfernt	43
Abb. 45: Abbildung 44 – bearbeitet; LCA (rosa), TA (blau) & Taschenfaltenmuskel (grün) dargestellt	43
Abb. 46: Kehlkopf (männlich, 65 Jahre) in der Ansicht von rechts; Schildknorpel rechtsseitig entfernt	44
Abb. 47: Abbildung 46 – bearbeitet; LCA (rosa) und TA (blau) dargestellt	44
Abb. 48: Kehlkopf (weiblich, 69 Jahre) in der Ansicht von rechts; Schildknorpel rechtsseitig entfernt	45
Abb. 49: Abbildung 48 – bearbeitet; LCA (rosa) und TA (blau) dargestellt	45
Abb. 50: Kehlkopf (weiblich, 91 Jahre) in der Ansicht v. rechts; Schildknorpel rechtsseitig entfernt	46
Abb. 51: Abbildung oben – 50t; LCA (rosa), TA (blau) & Taschenfaltenmuskel (grün) dargestellt ..	46
Abb. 52: Kehlkopf (weiblich, 51 Jahre) in der Ansicht von rechts; Schildknorpel rechtsseitig entfernt	47

Abb. 53: Abbildung 52 – bearbeitet; LCA (rosa), TA (blau) & Taschenfaltenmuskel (grün) dargestellt	47
Abb. 54: Kehlkopf (weiblich, 55 Jahre) in der Ansicht von rechts; Schildknorpel rechtsseitig entfernt	48
Abb. 55: Abbildung 54 – bearbeitet; LCA (rosa) und TA (blau) dargestellt.....	48
Abb. 56: Kehlkopf (männlich, 63 Jahre) in der Ansicht von rechts; Schildknorpel rechtsseitig entfernt	49
Abb. 57: Abbildung 56 – bearbeitet; LCA (rosa) und TA (blau) dargestellt.....	49
Abb. 58: Kehlkopf (männlich, 57 Jahre) in der Ansicht von rechts; Schildknorpel rechtsseitig entfernt	50
Abb. 59: Abbildung 58 – bearbeitet; LCA (rosa) und TA (blau) dargestellt.....	50
Abb. 60: Kehlkopf (weiblich, 49 Jahre) in der Ansicht von rechts; Schildknorpel rechtsseitig entfernt	51
Abb. 61: Abbildung 60– bearbeitet; LCA (rosa) und TA (blau) dargestellt.....	51
Abb. 62: Kehlkopf (weiblich, 68 Jahre) in der Ansicht von rechts; Schildknorpel rechtsseitig entfernt	52
Abb. 63: Abbildung 62 – bearbeitet; LCA (rosa) und TA (blau) dargestellt.....	52
Abb. 64: Kehlkopf (weiblich, 75 Jahre) in der Ansicht von rechts; Schildknorpel rechtsseitig entfernt	53
Abb. 65: Abbildung 64 – bearbeitet; LCA (rosa) und TA (blau) dargestellt.....	53
Abb. 66: Kehlkopf (weiblich, 79 Jahre) in der Ansicht von rechts; Schildknorpel rechtsseitig entfernt	54
Abb. 67: Abbildung 66 – bearbeitet; LCA (rosa), TA (blau) & Taschenfaltenmuskel (grün) dargestellt	54
Abb. 68: Kehlkopf (männlich, 75 Jahre) in der Ansicht von rechts; Schildknorpel rechtsseitig entfernt	55
Abb. 69: Abbildung 68 – bearbeitet; LCA (rosa) und TA (blau) dargestellt.....	55
Tab. 1: Volumen der intrinsischen Kehlkopfmuskulatur (Chen et al., 2012).....	12
Tab. 2: Liste der Präparate	34

9 Danksagung

An erster Stelle möchte ich Prof. Markus Hess für die Überlassung des Themas und seine Betreuung danken. Die Zusammenarbeit hat mir große Freude bereitet!

Mein Dank gilt auch Dipl.-Ing. Frank Müller für die freundliche Einführung in die Arbeit im Labor und die Nutzung seines Stativs, wodurch tolle Fotos entstehen konnten.

Ich danke außerdem Prof. Klaus Püschel für die Bereitstellung der Präparate.

Ein weiterer Dank richtet sich an Prof. Thomas Grundmann für die Herstellung des Kontakts.

Vielen Dank auch an meinen guten Freund, Constantin Jahnke, der mir sein Präparierbesteck und seine Kamera zur Verfügung stellte.

Außerdem möchte ich mich bei meiner Tante, Kristin Maaß, für die Einführung in Photoshop bedanken.

Ich danke auch meinem Bruder, Julius Albrecht, für den technischen Support und den Hinweis, Sicherheitskopien anzulegen.

Zuletzt ein großes Dankeschön an meine Mutter, Silke Albrecht, für das Korrekturlesen meiner Arbeit.

10 Lebenslauf

Lebenslauf aus datenschutzrechtlichen Gründen nicht enthalten.

Lebenslauf aus datenschutzrechtlichen Gründen nicht enthalten.

11 Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe.

Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Ich erkläre mich einverstanden, dass meine Dissertation vom Dekanat der Medizinischen Fakultät mit einer gängigen Software zur Erkennung von Plagiaten überprüft werden kann.

Hamburg, 18.02.2018