

UNIVERSITÄTSKLINIKUM HAMBURG-EPPENDORF

Kopf- und Neurozentrum
Klinik und Poliklinik für Hör-, Stimm- und Sprachheilkunde
Direktorin PD Dr. med. Christina Pflug

**Optimierung einer Operationsmethode zur intralaryngealen Platzierung von
Verweil-Elektroden zur selektiven Stimulation der Stimmlippen-Adduktoren bei
Patienten mit einseitiger Nervus laryngeus recurrens Parese**

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
der Medizinischen Fakultät des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf

vorgelegt von
Philip A. Renz

aus
Hamburg
2022

**Angenommen von der
Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg am: 25.10.2022**

**Veröffentlicht mit Genehmigung der
Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg.**

Prüfungsausschuss, der/die Vorsitzende: Prof. Dr. Thomas Grundmann

Prüfungsausschuss, zweite/r Gutachter/in: Prof. Dr. Markus Hess

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	1
1.1	Anatomie des Kehlkopfes	1
1.1.1	Kehlkopf Übersicht	1
1.1.2	Knorpelskelett	1
1.1.3	Muskulatur.....	4
1.1.4	Gefäßversorgung	6
1.1.5	Innervation.....	6
1.1.6	Physiologie und Funktion des Kehlkopfes	7
1.1.7	Anatomie und Physiologie der Stimmlippen.....	9
1.1.8	Der Nervus laryngeus recurrens – Verlauf und Beschaffenheit	12
1.2	Stimmlippenpareesen	13
1.2.1	Einleitung	13
1.2.2	Diagnose	15
1.3	Therapien der Stimmlippenpareesen.....	16
1.3.1	Einleitung	16
1.3.2	Therapien der einseitigen Stimmlippenparese	17
1.3.3	Ein neuer Therapieansatz bei der beidseitigen Stimmlippenparese	21
1.4	Fragestellung und Hypothese	22
2	MATERIAL UND METHODEN	23
2.1	Versuchsbeschreibung und Organbeschreibung (Rechtsmedizin).....	23
2.1.1	Einleitung	23
2.1.2	Präparation der Kehlköpfe	23
2.1.3	Analyse der idealen Elektrodenimplantationsposition.....	24
2.1.4	Entwicklung des Versuches	25
2.2	Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung	27
2.2.2	Versuchsaufbau inkl. Schemazeichnung	27
2.2.3	Unterschiede in der Versuchsdurchführung.....	33

3	ERGEBNISSE	38
3.1	Einleitung	38
3.2	Versuchsergebnisse in Bezug auf die Versuchsdurchführung	39
4	DISKUSSION.....	59
4.1	Diskussion der Methodik und der Ergebnisse.....	61
5	ZUSAMMENFASSUNG	68
5.1	SUMMARY.....	69
6	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	70
7	LITERATURVERZEICHNIS.....	72
8	TABELLARISCHER ANHANG	77
9	LEBENS LAUF	79
10	DANKSAGUNG	80
11	EIDESSTÄTTLICHE ERKLÄRUNG.....	81

1 EINLEITUNG

1.1 Anatomie des Kehlkopfes

1.1.1 Kehlkopf Übersicht

Der Kehlkopf liegt im vorderen Halsbereich vor der Halswirbelsäule und ist dort am Zungenbein beweglich „aufgehängt“. Er liegt als Teil des Luftweges zwischen Schlund (Pharynx) und Luftröhre (Trachea) und erfüllt als knorpelig-muskuläres Verschluss-System mehrere lebenswichtige Funktionen. Die zwei wichtigsten Aufgaben des Larynx sind der reflektorische Schutz der unteren Atemwege, indem er durch dessen Verschluss das Gelangen von Speiseresten bzw. Fremdkörpern in die Luftröhre verhindert und die Phonationsfunktion, indem der Larynx die Laut- und Stimmbildung durch Regulation der Stimmlippen entstehen lässt (6). Darüber hinaus wirkt er bei der Bauchpresse mit und besitzt eine Atemfunktion, wobei er die Lumenweite des Atemrohrs durch Änderung der Stimmfaltenstellung modifiziert (7).

Andere Halseingeweide wie die Schilddrüse (*Glandula thyroidea*), die Speiseröhre (Oesophagus) und der Gefäß- Nerven- Strang (*Arteria carotis communis*, *Vena jugularis interna* und der *Nervus vagus*) haben enge topographische Beziehungen zum Kehlkopf. Dieser liegt zwischen der tiefen (*Lamina praevertebralis*) und der mittleren (*Lamina praetrachealis*) Halsfaszie (*Fascia cervicalis*) und grenzt hiermit der dorsal anliegenden *Pars laryngea* des Pharynx und dem kranialen Abschnitt des Oesophagus, dem praevertebralen Gleitraum, an. Die Fixierung des Kehlkopfes über Bänder und Muskeln ermöglicht es ihm, seine Lage bei Aktionen wie dem Schlucken und der Phonation zu verändern (1, 6, 7).

1.1.2 Knorpelskelett

Der Kehlkopf besteht aus gelenkig verbundenen Knorpelplatten, bei denen vier große Knorpel funktionell bedeutend und drei kleine Knorpel weniger bedeutend sind (*Cartilagine cuneiformes*, *Cartilagine corniculatae*, *Cartilagine triticeae*).

Es handelt sich bei den vier großen Knorpeln um den Kehlkopfdeckel (*Epiglottis*), den Schildknorpel (*Cartilago thyroidea*), den Ringknorpel (*Cartilago cricoidea*) und den

paarigen Stellknorpel, genannt auch Aryknorpel (Cartilago arytenoidea).

Zwischen diesen Knorpelplatten gibt es zwei Gelenke, die Articulatio cricothyroidea (zwischen Ring- und Schildknorpel) und die Articulatio cricoarytenoidea (zwischen Ring- und Stellknorpel). Die Epiglottis enthält einen elastischen Knorpel, wohingegen die Grundlage von Schild- und Ringknorpel und des hinteren Bereichs der Aryknorpel ein hyaliner Knorpel ist. Dieser kann bei älteren Menschen verkalken bzw. auch stellenweise verknöchern (6).

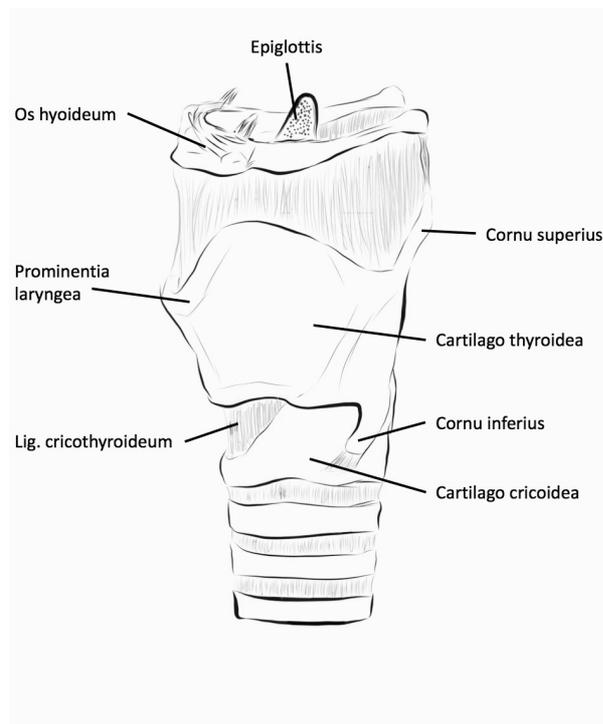


Abbildung 1 - Der Kehlkopf als Ganzes. (Schrägansicht von links-ventral) - modifiziert nach Prometheus LernAtlas der Anatomie. Kopf, Hals und Neuroanatomie (4)

Die Epiglottis überdeckt den Kehlkopfeingang von kranioventral. Sie ist über den Petiolus epiglottidis (basal gelegene Spitze) und dem Ligamentum thyroepiglotticum innen am Schildknorpel und oben mit dem Zungenbein (Os hyoideum) über das Ligamentum hyoepiglotticum verbunden. Sie besteht aus einem mehrfach perforierten elastischen Knorpel. Ihr liegt ein leicht verformbarer präepiglottischer Fettkörper an (7).

Der Schildknorpel besteht aus zwei anterior kielartig verbundenen Laminae. Der Verbindungswinkel dieser zwei Laminae beträgt bei Männern 90°, bei Frauen hingegen 120°. Aus diesem Grund ist die Prominentia laryngea beim männlichen Geschlecht als Adamsapfel tastbar. Am Hinterrand jeder Lamina besteht nach cranial das Oberhorn

(Cornu superius) und nach kaudal das Unterhorn (Cornu inferius), welches mit der Ringknorpelpatte ein Scharniergelenk bildet. Dies ermöglicht Kippbewegungen des Ringknorpels zum Schildknorpel. Das Ligamentum conicum verbindet anterior den Schildknorpel mit dem Ringknorpel. Dieses Ligament ist die Landmarke, die man in Situationen mit akuter Luftnot, wenn eine Intubation nicht möglich ist, schnell identifizieren muss, um eine Koniotomie durchzuführen (6, 7).

Der Ringknorpel bildet die Basis des Kehlkopfskeletts und besitzt die Form eines Siegelrings (7). Vorne bildet er eine schmale Spange (Arcus cricoidea), im Vergleich zu hinten, wo die Ringknorpelplatte (Lamina cricoidea) liegt. Für das Unterhorn des Schildknorpels befindet sich an der Lateralfäche der Lamina eine Gelenkfläche und auf der dorsalen Oberkante der Lamina ist die Gelenkfläche für den Aryknorpel ausgebildet. Da der Ringknorpel durchaus einen komplett geschlossenen Ring darstellt, ist dies die typische Stelle für Stenosen im Kindes- und Erwachsenenalter (1).

Die Aryknorpel sind mit der Lamina cricoidea des Ringknorpels in einem Zylindergelenk beweglich verbunden. Da die Gelenkkapsel sehr locker ist, sind sowohl Dreh-, als auch Gleit- und Scharnierbewegungen möglich (1). Sie sind mit dreiseitigen Pyramiden vergleichbar und haben demnach vier Flächen und drei Fortsätze (7). Am anterioren Fortsatz (Processus vocalis) ist das eigentliche Stimmband (Ligamentum vocale) befestigt. Die Musculus cricoarytaenoidei posterior und lateralis inserieren an den lateralen Fortsatz des Aryknorpels (Processus muscularis) (siehe Abbildung 2) (1).

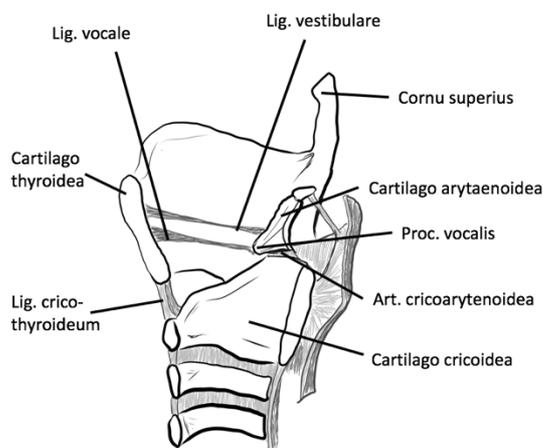


Abbildung 2 - Kehlkopfknorpel und -bänder (Sagittalschnitt, Ansicht von links-medial) modifiziert nach Prometheus LernAtlas der Anatomie. Kopf, Hals und Neuroanatomie (4)

Man unterteilt den Kehlkopf in drei Etagen, den supraglottischen, den transglottischen und den subglottischen Raum. Der supraglottische Raum reicht vom Kehlkopfeingang (Aditus laryngis) bis zu den beidseitig gelegenen Taschenfalten (Plicae vestibulares). Der transglottische Raum (Ventriculus laryngis) ist der schmale Raum zwischen den Taschenfalten und den Stimmfalten (Plicae vocales). Die unterste Etage ist die Subglottis (Cavitas infraglottica), die den Raum zwischen den Stimmfalten und der Trachea bildet (6).

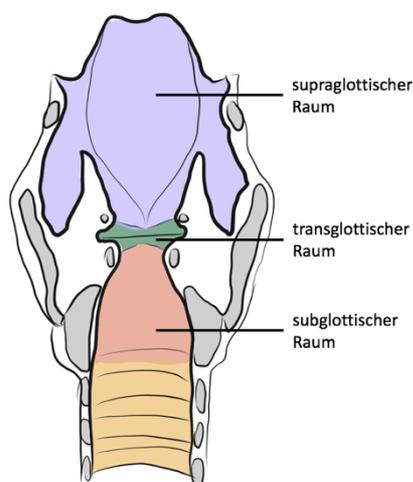


Abbildung 3 - Etagengliederung des Kehlkopfs (Frontalschnitt, Ansicht von dorsal) - modifiziert nach Prometheus LernAtlas der Anatomie. Kopf, Hals und Neuroanatomie (4)

1.1.3 Muskulatur

Die eigentlichen Kehlkopfmuskeln können nach Herkunft, Lage und Innervation in innere und äußere Muskeln unterteilt werden (1). Hinzu kommen noch die supra- und infrahyoidalen Muskeln, die durch ihre Wirkung auf das Zungenbein den Kehlkopf als Ganzes bewegen (6).

Der Musculus cricothyroideus, der einzige äußere Kehlkopfmuskel, zieht vom Arcus cricoideus zum Schildknorpelunterrand und wird vom Ramus externus des Nervus laryngeus superior innerviert. Er spannt das Stimmband indem es den Ringknorpel in Richtung des Schildknorpels kippt.

Man kann die inneren Kehlkopfmuskeln, die alle vom Nervus laryngeus inferior innerviert werden, in drei funktionell unterschiedliche Gruppen einteilen, nämlich einen Öffner der Stimmritze (Rima glottidis), mehrerer Schließer als auch einen Stimmlippenspanner.

Die Rima öffnet als einziger Muskel der Musculus cricoarytaenoideus posterior (sog. „Postikus“/ PCA) durch das Auswärtsschwenken des Processus vocalis des Aryknorpels. Ihm stehen die drei Muskel, Musculus cricoarytaenoideus lateralis (LCA), Musculus thyroarytaenoideus (TA), Musculus arytaenoidei transversus und obliquus (IA), zum Verschluss der Rima gegenüber.

Der Musculus cricoarytaenoideus lateralis ist der Gegenspieler des Postikus und führt zum Einwärtsschwenken des Processus vocalis des Aryknorpels. Der Musculus thyroarytaenoideus, dessen mediale Fasern den Musculus vocalis bilden, zieht die Aryknorpel nach vorne und verschließt somit die Glottis. Der Musculus vocalis führt zur Spannung der Stimmbänder, was für die Stimmcharakteristik entscheidend ist (6). Als dritter Schließmuskel der Glottis sind die Musculus arytaenoidei transversus und obliquus zu nennen, die beide Aryknorpel nach medial ziehen und die Pars intercartilaginea so verschließen (1).

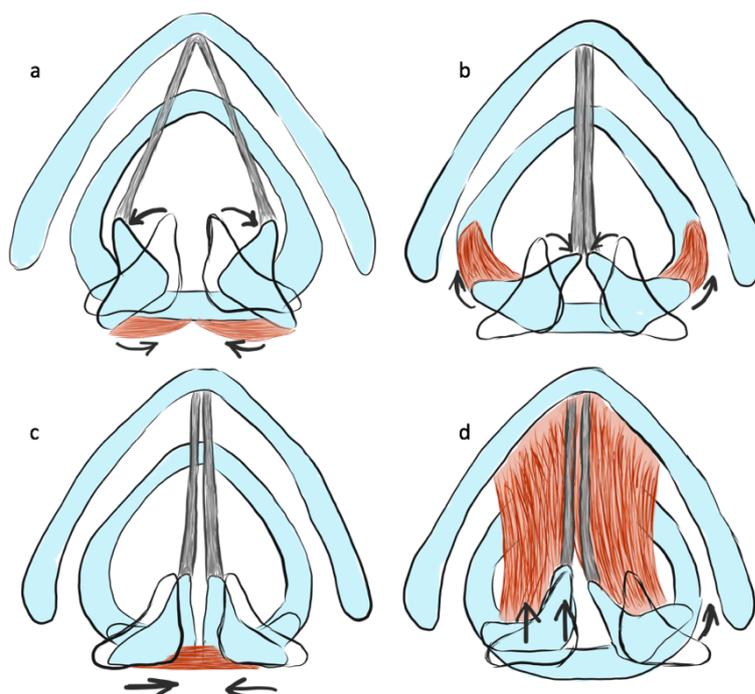


Abbildung 4 - Funktion der inneren Kehlkopfmuskeln - modifiziert nach Praxis der HNO-Heilkunde, Kopf-und Halschirurgie: Georg Thieme Verlag; 2009 (1)

- a) M. cricoarytaenoideus posterior
- b) M. cricoarytaenoideus lateralis
- c) Mm. arytaenoidei transversus und obliquus
- d) M. thyroarytaenoideus lateralis

1.1.4 Gefäßversorgung

Die arterielle Versorgung des Kehlkopfs ist zweigeteilt, mit der Grenze auf Höhe der Stimmritze liegend. Die Versorgung der oberen Hälfte erfolgt über die A. laryngea superior, einem Ast der A. thyroidea superior. Nachdem sie einen kleinen Zweig (A. cricothyroidea) für den M. cricothyroideus abgibt, tritt sie durch die Öffnung in der Membrana thyrohyoidea in das Kehlkopfinnere ein, wo sie diesen versorgt. Die A. laryngea inferior, ein Ast der A. thyroidea inferior, verläuft an der Seitenwand des unteren Pharynxabschnitts. Sie tritt hinter dem Unterhorn des Schildknorpels (Cornu inferius) in den Kehlkopf ein und versorgt hauptsächlich die dorsokaudalen Anteile des Kehlkopfs (6).

Der venöse Abfluss erfolgt durch Venen, die entsprechend ihren parallel verlaufenden Arterien benannt sind. Sie drainieren in die V. jugularis interna (1) und bilden an der Hinterwand des Kehlkopfs ein Geflecht ähnlich dem Plexus pharyngeus, mit dem sie in Verbindung stehen (6).

Der Lymphabfluss der Supraglottis erfolgt zu den oberen Nodi lymphatici cervicales profundi sowie zu den Nodi lymphatici infrahyoidales. Die Lymphgefäße der Subglottis drainieren hingegen zu den mittleren und tiefen Nodi lymphatici cervicales profundi und paratracheales. Die Stimmlippen selbst sind spärlich mit Lymphbahnen ausgestattet, weswegen die späte Metastasierung von bösartigen Stimmlippentumoren durch diese anatomische Besonderheit erklärt werden kann (1).

1.1.5 Innervation

Der Kehlkopf wird vom X. Hirnnerven, dem Nervus vagus innerviert. Dieser versorgt den Larynx mit zwei großen Ästen in die er sich aufteilt, den Nervus laryngeus superior und inferior. Der N. laryngeus superior (SLN) gibt einen motorischen Ast (Ramus externus) für den M. cricothyroideus ab (der einzige Kehlkopfmuskel, der nicht vom N. laryngeus inferior innerviert wird) und verläuft mit dem R. internus entlang der gleichnamigen Arterie zu dem Kehlkopfinnere, welches er bis zu der Stimmritze sensibel versorgt (6). Der N. laryngeus inferior (N. laryngeus recurrens bzw. RLN)

verläuft seitenunterschiedlich, indem der linke RLN um den Aortenbogen und der rechte RLN um die A. subclavia zieht. Zum Kehlkopf gelangt er durch eine Rinne zwischen Ösophagus und Trachea, wo er alle inneren Kehlkopfmuskeln innerviert. Mit seinen sensiblen Fasern innerviert er zusätzlich die infraglottische Schleimhaut (siehe Abbildung 5) (1).

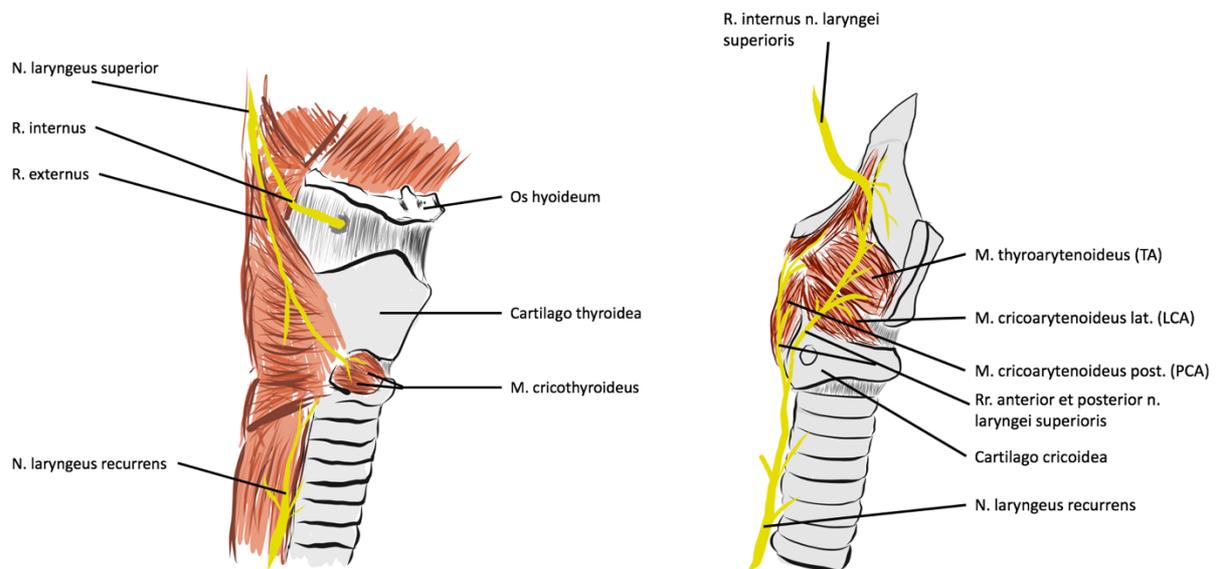


Abbildung 5 - Nerven des Kehlkopfes. (Ansicht von rechts lateral: Cartilago thyroidea teilweise entfernt) - modifiziert nach Atlas der Anatomie Netter FH, Elsevier, Urban & Fischer; 2011 (3)

1.1.6 Physiologie und Funktion des Kehlkopfes

Der Larynx befindet sich an der Kreuzungsstelle zwischen Atem- und Schluckweg. Seine Primärfunktionen bestehen aus der Respiration und der Deglutition (Akt des Schluckens), seine Sekundärfunktion ist die Phonation, welche phylogenetisch jünger ist. Des Weiteren unterstützt der Larynx die Thoraxstabilisierung beim Husten, Pressen, Heben schwerer Lasten und dem Geburtsvorgang.

Sind die Primärfunktionen beeinträchtigt, kann es zu lebensbedrohlichen Folgen wie Dyspnoe oder einer Aspirationspneumonie kommen. Bei der Beeinträchtigung der Sekundärfunktion sind Dysphonie oder auch Aphonie als Folgen möglich (8).

Der Schutz der Atemwege ist die wichtigste Aufgabe des Larynx. Er wird durch die Epiglottis, die beim Schlucken den Aditus laryngis verschließt, und die Einengung der Atemwege durch die Rima glottidis ermöglicht. Bei ruhiger Atmung ist nur die Pars intercartilaginea der Rima vocalis geöffnet, im Gegensatz zur forcierten Atmung, bei der sich auch die ventralen Anteile der Stimmritze öffnen.

Zu einem reflektorischen Verschluss der Epiglottis kommt es beim Eindringen von reizenden Gasen, kleinen Partikeln, Flüssigkeiten, Fremdkörpern oder festen Nahrungsbestandteilen (9). Beim physiologischen Schluckvorgang hebt sich der Kehlkopf und die Epiglottis wird mithilfe des Zungengrunds und des präepiglottischen Fettkörpers über den Kehlkopfeingang gedrückt und dieser so verschlossen. Partikel, die auf die Stimmlippen gelangen, werden nach Pressverschluss der Glottis und Sprengung dieses Verschlusses während der Ausatmung im Sinne eines reflektorischen Hustenstoßes herausgeschleudert. Abgesehen davon wird der Verschluss der Atemwege für die mechanische Unterstützung der Thoraxfixierung bei körperlichen Anstrengungen und Körperfunktionen, wie zum Beispiel Miktion, Defäkation und Geburt, herbeigeführt (1, 10, 11).

Sekundär dient die Glottis der Phonation (Tonerzeugung). Die Phonation beschreibt Vorgänge, mit denen kontrollierte Sprachtöne durch die sich im Larynx befindlichen Stimmlippen erzeugt werden. Man unterscheidet hier zwischen der respiratorischen Motilität der Stimmlippen, welche den Wechsel zwischen Respirations- und Phonationsstellung beinhaltet (Einstellbewegungen durch muskuläre Aktivitäten der Öffner und Schließer) und der phonatorischen Motilität der Stimmlippen, die den Wellenablauf der Stimmlippen bei der Phonation wiedergibt (8, 11, 12). Die heute gültige Theorie der Phonation gründet sich auf die Wirkung myoelastisch - aerodynamischer Prinzipien (nach Müller, Ewald und Tonndorf) (13).

Die kontinuierliche Erhöhung des subglottischen Drucks führt zu einem Gefälle zwischen dem hohen subglottischen und dem niedrigen supraglottischen Druck. Dadurch überwindet der subglottische Druck den durch die adduzierten Stimmlippen produzierten Widerstand, indem die Randkanten der Stimmlippen von unten nach oben verschoben werden. Dies führt zu der Öffnung der Glottis mit hindurchströmender Luft, welche die Stimmlippen in Schwingungen versetzt. Die Frequenz dieser Schwingungen bildet den Grundton, bei der ihre erreichbare Höhe von der Länge, der Masse, der Elastizität der Stimmlippen und dem subglottischen Druck abhängig ist.

Zum Glottisschluss kommt es durch: Senkung des subglottischen Drucks durch die entweichende Luft, die elastischen Rückstellkräfte der Stimmlippen und einen Ansaugeneffekt entsprechend des Bernoulli Gesetzes (schnelle Luftströmung durch die Glottis führt zur Sogwirkung auf die Stimmlippen) (siehe Abbildung 6) (1, 2, 8, 11, 13, 14).

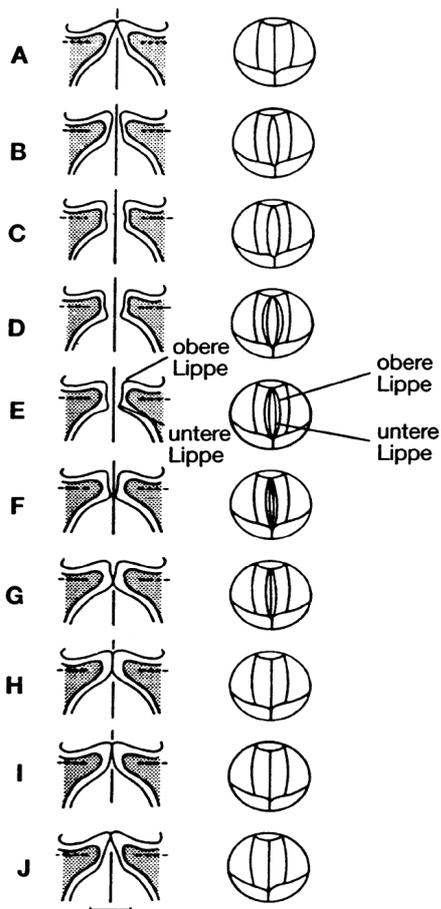


Abbildung 6 - Schematische Darstellung des stroboskopischen Bewegungsablaufs (in: Böhme 1997; Hirano u. Bless 1993; mod. nach Schönhärl 1960) (2)

1.1.7 Anatomie und Physiologie der Stimmlippen

Die Stimmlippen sind für die Phonation verantwortlich. Sie bestehen im Wesentlichen aus Stimmband (Lig. vocale, oberer freier Rand des Conus elasticus), Stimmlippenmuskel (M. vocalis), Bindegewebe, Nerven, Gefäßen und verschieblicher umhüllender Schleimhaut (11). Ihr Hauptbestandteil, der Stimmlippenmuskel (M.

vocalis), verläuft von der paramedianen Innenfläche des Schildknorpels zum Processus vocalis des Aryknorpels und ist im Querschnitt nahezu keilförmig (1, 14). Diesen Stimmlippenmuskel bildet die Pars interna des TA- Muskels, der durch isometrische Kontraktion die Feinregulierung der Stimmlippenspannung und ihre Massenverteilung bestimmt (1). Diese Feinspannung der Stimmfalte ermöglicht die Phonation und wirkt somit nicht nur auf den Spann-, sondern auch auf den Stellapparat (7). Im Gegensatz zur Pars externa des TA- Muskels, die mit dem LCA-Muskel für die Annäherung der Stimmfalten (Plicae vocales) zuständig ist.

Änderungen in der Feinspannung der Stimmlippen sind für die Tonhöhenvariationen der menschlichen Stimme verantwortlich. Sie werden durch das Zusammenspiel von zwei Muskeln produziert, dem M. vocalis und dem M. cricothyroideus. Eine veränderte Rahmeneinstellung, durch die eine Spannungserhöhung der Stimmlippen ermöglicht ist, wird durch den M. cricothyroideus herbeigeführt, indem durch die Kontraktion des Muskels der Ringknorpelbogen an den Schildknorpel gekippt wird. Diese Kippbewegung führt zu einer Verlängerung und Anspannung der Stimmlippen und somit zu einer Steigerung der Tonhöhe. Der M. vocalis ist, in Zusammenarbeit mit den inneren Larynxmuskeln (Pars externa des TA-Muskels, LCA-Muskel und M. interarytaenoidei), für die Feineinstellung der Stimmlippen zuständig.

Die inneren zarten Ränder, die einen Spalt (die sogenannte Stimmritze bzw. Rima glottidis) begrenzen, bestehen überwiegend aus elastischen Fasern, sie bilden die Stimmbänder (Ligg. vocale). Die Muskelfasern des M. vocalis sind teilweise vom Lig. vocale durchflochten.

Die linguale Epiglottisfläche und der Kehlkopfeingang werden von einem mehrschichtigen, unverhornten Plattenepithel ausgekleidet. Der Übergang zu einem mehrreihigen Flimmerepithel mit eingestreuten Becherzellen erfolgt auf Höhe der Taschenfalten. Jedoch sind die Kanten der Stimmlippen aufgrund ihrer speziellen mechanischen Beanspruchung wieder von einem mehrschichtigen unverhornten Plattenepithel bedeckt. Oberhalb der Stimmlippen befinden sich auf jeder Seite kleine Einbuchtungen (Morgagnische Taschen), in denen sich Drüsen befinden, welche die Stimmlippen feucht halten indem sie ein seromuköses Sekret produzieren. Des Weiteren erfüllt dieses Sekret eine Spülfunktion zur Reinigung von Partikeln und exogenen Noxen. Das unverhornte Plattenepithel ist die wichtigste schwingende Struktur.

Der typische Schichtaufbau der menschlichen Stimmlippe ist von großer funktioneller Bedeutung. Die Lamina propria ist in drei Schichten unterteilt (die oberflächliche, die mittlere und tiefe Schicht). Zwischen Epithel und Muskulatur befindet sich subepithelial in der obersten Schicht der Lamina propria ein schmaler, gelatineartiger Verschieberaum (Reinke-Raum) (1). Gemeinsam mit dem M. vocalis werden diese fünf Schichten durch das Body-Cover-Modell von Hirano in drei funktionelle Schichten eingeteilt (15).

Die 1. Schicht (Cover) ist die Schleimhaut mit Epithel und oberer Schicht der Lamina propria.

Die 2. Schicht (Transition) ist die Übergangsschicht, das Stimmband, das aus den elastischen und kollagenen Fasern der mittleren und tiefen Schicht der Lamina propria gebildet wird.

Die 3. Schicht (Body) ist schließlich der M. vocalis (11).

Hirano konnte veranschaulichen, dass sich die Gewebeschichten unterschiedlich am Schwingungsablauf beteiligen und dies in Abhängigkeit vom Spannungszustand der Stimmlippen. Der Muskel und die Schleimhaut werden bei geringer Stimmlippenspannung gleichermaßen verformt. Der Anteil der muskulären Wellenbewegung nimmt mit zunehmender Anspannung jedoch ab und ist bei der stärksten Anspannung von Muskel und Schleimhaut nicht mehr vorhanden. Es ergeben sich nur noch Schwingungen mit einer kleinen Amplitude ohne wellenförmige Bewegungen (15). Lange Stimmlippen bilden somit im Vergleich zu kurzen Stimmlippen eine tiefere Stimmlage. Im Durchschnitt haben Männer längere Stimmlippen und somit auch tiefere Stimmen. Je stärker die Stimmlippen durch aktive Kontraktion der äußeren und inneren Kehlkopfmuskulatur gespannt werden, desto höher sind die produzierten Töne. Die Stimmlippen sind hier langgezogen, schmal und stark gespannt. Bei tiefen Tönen hingegen sind die Stimmlippen kurz, plump und wenig gespannt. Hohe Töne sind somit von der muskulären Anspannung abhängig (8). Das Flüstern jedoch nimmt eine Sonderstellung ein. Die Sprache wird hier durch den dem Kehlkopf kranial aufsitzenden Teil gestaltet (9).

1.1.8 Der Nervus laryngeus recurrens – Verlauf und Beschaffenheit

Für die motorische Innervation des Larynx sind zwei Neuronen verantwortlich, der Nucleus ambiguus (NA) und der Nucleus retrofacialis (RFN, eine kleine Zellgruppe die zwischen dem NA und dem Nucleus nervi facialis liegt).

Die Motoneuronen, welche die Schließer (LCA, TA, IA über den RLN, und Musculus cricoarytenoideus über den N. laryngeus sup.) der Stimmlippen versorgen, befinden sich in den dorsalen Anteilen des NA. Im Gegensatz zu den Neuronen, die für den Öffner der Stimmlippen (PCA) verantwortlich sind; diese befinden sich in den ventralen Anteilen des NA.

Die Axone der Motorneurone (beider Nuclei) verlassen den Hirnstamm im 1. oder 2. anterioren Ast des Nervus Vagus. Diese Fasern verlaufen im N. vagus und vermischen sich mit dessen Nervenfasern. Die Nervenfasern, die Öffner- und Schließmuskeln versorgen, sind innerhalb des RLN- Anteils jedoch schon vollkommen durchmischt. Der RLN Anteil verlässt den N. vagus nach dem Eintritt in den Brustkorb in Form einer wieder nach oben führenden Schleife. Dabei verlaufen beide RLN- Schleifen asymmetrisch. Der rechte RLN schlingt sich um die Arteria subclavia, während der linke RLN eine tiefere Schlinge um den Aortenbogen macht.

Zum Larynx gelangt er dann medial in einer Rinne zwischen Ösophagus und Trachea. Kurz bevor der RLN in den Larynx eintritt, bündeln sich die Faseranteile von Öffner und Schließer in einen gemeinsamen anterioren (PCA) und posterioren (TA und LCA) Teil.

Dieser Nervenast, des RLN verläuft beidseits auf Höhe des 2. oder 3. Trachearinges dorsal der Schilddrüse. Er trennt sich dort unmittelbar vor der Galen's Anastomose, einer sensorischen Anastomose zwischen dem RLN und dem SLN, und durchdringt den Musculus pharyngealis constrictor inferior. Ungefähr einen Zentimeter über der Unterkante des Schildknorpels gibt der RLN 2-3mm hinter der Articulatio cricothyreoidea die Abzweigungen seines posterioren Astes ab und verläuft weiter als anteriorer Ast (siehe Abbildung 5). Der posteriore Nervenzweig läuft zuerst an der lateralen Vorderkante des Schildknorpels entlang und schiebt sich lateral in die untere Hälfte der Vorderseite des PCAs, um diesen dort zu innervieren. Ein kleiner Teil der Nervenfasern verläuft jedoch nicht zum PCA, sondern zum Musculus arytenoideus transversus. Der anteriore Ast verläuft kranial zu den Stimmbandschließermuskeln (TA und LCA) um diese zu innervieren (siehe Abbildung 8 & Abbildung 7) (11, 16-18).

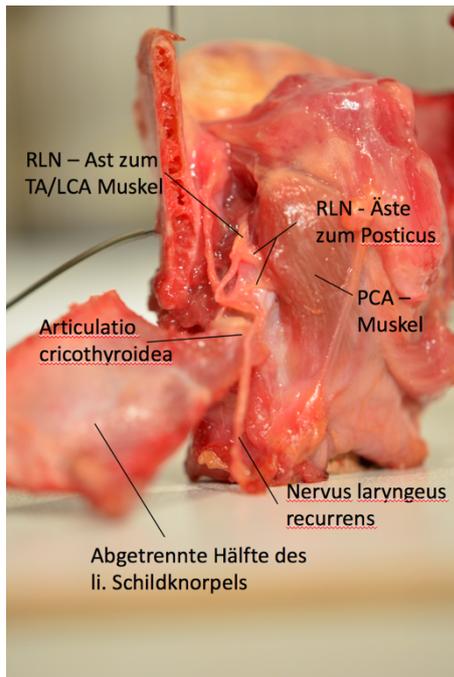


Abbildung 8 - Freipräparierter RLN mit durchtrenntem Schildknorpel (Ansicht von dorsal)

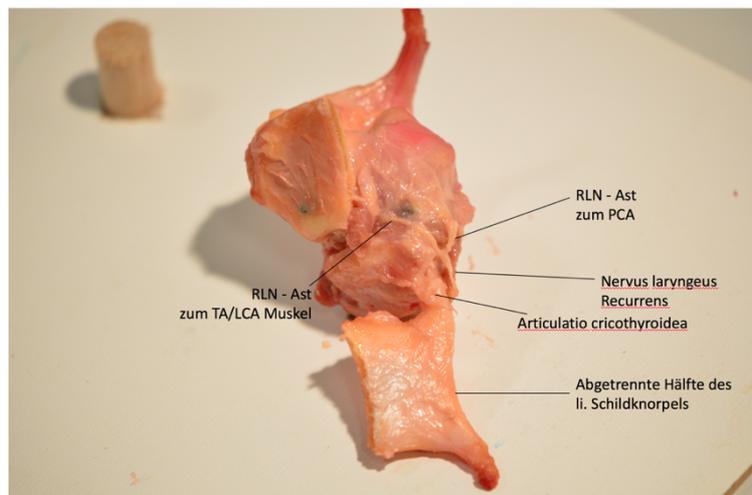


Abbildung 7 - Freipräparierter RLN mit durchtrenntem Schildknorpel (Ansicht von links lateral)

1.2 Stimmlippenparesen

1.2.1 Einleitung

Stimmlippenparesen führen entweder zu einer Minderbeweglichkeit der Stimmlippe oder zu einem kompletten Stillstand der Stimmlippe (inkomplette vs. komplette Lähmung), bei dem es zu einer Fehlstellung der Stimmlippe kommt. Es kann eine einseitige bzw. eine beidseitige Stimmlippenparese vorkommen (ESP vs. BSP). Des Weiteren differenziert man bezüglich des zeitlichen Verlaufs zwischen temporären und permanenten Paresen und kann abhängig vom Läsionsort zwischen zentralen Lähmung und peripheren Lähmungen unterscheiden (19, 20). Bei einer zentralen Lähmung kann die Ursache z.B. an einem Schädel-Hirn-Trauma, einer zerebralen Ischämie oder einer entzündlichen Erkrankung (z.B. Multiple Sklerose oder Enzephalitis) liegen. Sprach-, Sprech- und Schluckstörungen sind hierbei oft begleitend. Bei der peripheren Lähmung handelt es sich entweder um eine Nervenschädigung der Nervenkerne des N. vagus (in der Medulla oblongata), des N. vagus selbst, bzw. um die Schädigung eines seiner Äste (N. laryngeus sup. und inf.) (19-21).

Bei dem RLN ist eine Schädigung in seinem gesamten langstreckigen Verlauf von der Schädelbasis zum oberen Mediastinum und zurück zum Kehlkopf möglich. Dabei kann der Nerv durch Traumata und Tumorarrosionen in Mitleidenschaft gezogen werden, jedoch ist die häufigste Ursache von Läsionen des N. laryngeus recurrens iatrogen. Operative Eingriffe an der Schilddrüse, zunehmend auch an der Halswirbelsäule (anteriorer Zugang), bergen das größte Verletzungsrisiko. Hinzu kommen noch gefäßchirurgische Eingriffe am Aortenbogen und den Karotiden. Weiterhin können Operationen am Ösophagus, am Hals und an der Schädelbasis zu Verletzungen des RLN führen. Als idiopathisch bezeichnet man die Lähmung, wenn keine mögliche Ursache für die Nervenläsion gefunden wird (21-23).

Bei einseitigen Stimmlippenpareesen befindet sich die betroffene Stimmlippe in einer Paramedianstellung. Der intakte N. laryngeus superior innerviert den M. cricothyroideus, welcher die Stimmlippe über seinen Kontraktionstonus medialisiert. Typischerweise führt die einseitige Stimmlippenparese zu einer heiseren und verhauchten Stimme. Dies geschieht, da die unvollständige Adduktion der Stimmlippen einen glottischen Restspalt bestehen lässt und dieser zu einem irregulären Luftverlust und unkoordinierten Stimmlippenschwingungen führt. Da es nicht zu Dyspnoe kommt, ist die einseitige Recurrensparese jedoch praktisch nie atemrelevant (20, 21, 24).

Für beidseitige Recurrensparesen sind überwiegend Schilddrüsenoperationen verantwortlich, wobei das Risiko beim Ersteingriff bei unter 1% liegt. Jedoch erhöhen insbesondere rezidivierende Eingriffe an der Schilddrüse das Risiko einer beidseitigen Verletzung erheblich (25, 26). Man versucht deshalb durch eine gründliche Präparation des Nervs, sowie mit neurophysiologischem Monitoring, Recurrensverletzungen bei operativen Schilddrüseneingriffen zu vermindern. Bei der beidseitigen Recurrensparese stehen beide gelähmten Stimmlippen in Adduktionsstellung, die sich als Paramedianstellung darstellt. Der Winkel der Stimmlippen in Respirationsstellung ist demnach vermindert. Der Atemwegsquerschnitt verengt sich somit auf ein Viertel des normalen Querschnitts (21). Dies führt häufig zu einem inspiratorischen Stridor und akuter Dyspnoe. Dabei kann eine notfallmäßige Intubation oder Tracheotomie erforderlich sein. Die Stimmqualität hingegen ist weniger gestört, da ein kompletter Glottisschluss bei der Phonation erreicht wird (20, 21, 27-31).

1.2.2 Diagnose

Bei Verdacht auf eine Recurrensparese wird mithilfe der Laryngoskopie die Beweglichkeit der Stimmlippen überprüft. Hierfür wird inzwischen bevorzugt ein flexibles Laryngoskop benutzt. Man könne zudem ein starres 90° Winkeloptik- Endoskop benutzen. Zusätzlich ist die Laryngostroboskopie bedeutend für die Beurteilung der Stimmlippenparese und der Stellung der Stimmlippe (Median-, Paramedian-, Intermediär-, und Lateralstellung) (21). Glottisschlussinsuffizienz, Stimmlippenexkavation und asymmetrische Feinschwingungen sind neben der Stimmlippenparese weitere mögliche Erscheinungsbilder (20, 21, 32). Außerdem kann man bei einer Stimmstörung die Stimmqualität auditiv perzeptiv beurteilen (11, 33), als auch die maximale Phonationsdauer mit Hilfe von akustischen und aeodynamischen Untersuchungen überprüfen, die bei einer ESP pathologische Werte aufweisen kann (32, 34).



Abbildung 9 - Stimmlippenstillstand und exkavierte Stimmlippe links, Befund bei transnasaler Laryngoskopie (5)

Die Position der gelähmten Stimmlippe zeigt nicht sicher an welchem Ort sich die Nervenläsion befindet. Dies liegt zum Teil am Denervierungsgrad, dem Ausmaß der Reinnervierung und dem Verlauf der Lähmung (man unterscheidet hier zwischen akut und chronisch).

Stimm lippenparenen können auch durch Tumore (wie Bronchial-, Schilddrüsenkarzinom, Schädelbasis- und mediastinale Tumore) oder raumfordernde Erkrankungen wie z.B. ein Aortenaneurysma hervorgerufen werden, für deren Diagnostik die CT- oder MRT-Bildgebung infrage kommen (20, 35-37).

Um die Einschränkungen der Lebensqualität bei Patienten mit Stimmlippenparenen zu bewerten, können spezielle Fragebögen wie der SF36 (Short Form Health Survey) und der VHI (Voice Handicap Index) ausgewertet werden (38, 39).

Neben den invasiven bildgebenden Verfahren (starre Winkeloptik-Endoskopie, flexible Laryngoskopie, Laryngostroboskopie) und nicht invasiven (CT/MRT), lässt sich das Ausmaß einer zentralen Atemwegsobstruktion mittels Fluss-Volumen-Kurve auswerten. Mittels elektrophysiologischer Diagnostik lässt sich eine Ausheilungswahrscheinlichkeit der Recurrensparese genauer einzuschätzen, um Stimmlippenparenen nicht zu übertherapieren. Dabei werden Aktionspotentiale der Kehlkopfmuskulatur aufgezeichnet, um die Integrität der neuromuskulären Einheit zu überprüfen. Pathologische Spontanaktivitäten, unwillkürliche Potentiale, die von einzelnen Muskelfasern rhythmisch erzeugt werden, können dabei auftreten und sind Ausdruck einer Nervendegeneration. Man kann die inneren Kehlkopfmuskeln elektromyographisch entweder transoral oder transkutan untersuchen (21, 40).

Als mögliche Differenzialdiagnosen der Recurrensparese (uni- und bilateral) kommen eine Arthritis oder Ankylose der Cricoarytenoidgelenke, Aryknorpelluxationen, eine Interarytenoidfibrose nach Langzeitintubation mit Fixation der Stimmlippen oder ein Larynxkarzinom in Frage. Ebenso kann das Pressen als Abwehrreaktion bei der indirekten Laryngoskopie eine funktionelle Parese darstellen (19, 20).

1.3 Therapien der Stimmlippenparenen

1.3.1 Einleitung

Der Therapieansatz ist abhängig von der Diagnose (ESP vs. BSP). Bei der einseitigen Parese will man die Stimmstörung therapieren, die durch die Glottisschlussinsuffizienz bei Phonation verursacht wird, wobei diese durch das Adduktionsdefizit der gelähmten Stimmlippe hervorgerufen wird. Das Ziel der Therapie ist es, einen Glottisschluss zu erreichen, bzw. diesen zu verbessern. Die Stimmqualität bei der beidseitigen

Stimm lippenparese bleibt bestehen, jedoch kommt es durch die Stenosierung des Atemwegs zu Dyspnoe. Das bedeutet, dass bei akuter Atemnot eine temporäre Glottiserweiterung durch eine Tracheotomie oder eine Laterofixation der Stimmlippe geschafft werden muss. Wenn es zu keiner Besserung der Dyspnoe kommt muss eine permanente Glottiserweiterung vorgenommen werden (20, 21, 23, 41).

1.3.2 Therapien der einseitigen Stimmlippenparese

Für die einseitige Recurrensparese gibt es heutzutage verschiedene therapeutische Ansätze. Dabei handelt es sich vorwiegend um nicht-invasive bzw. minimal-invasive Eingriffe. In den meisten Fällen benötigt die einseitige Recurrensparese keine operative Therapie, eine alleinige Stimmtherapie ist oft ausreichend. Besonders erfolgsversprechend ist diese bei neu aufgetretenen Paresen mit komplettem Glottisschluss und auch nach erfolgter Medialisierung der betroffenen Stimmlippe (42-44).

Bei 21,8% der Patienten konnte damit eine vollständig normalisierte Beweglichkeit festgestellt werden, die partielle Wiederherstellung jedoch nur bei 10,9%. Die restlichen Patienten verblieben mit einer persistierenden und vollständigen Lähmung (21). Selbst eine stark eingeschränkte Funktion der inneren Larynxmuskulatur mit schwacher Adduktion oder Abduktion kann noch gut kompensiert werden, so dass die Folgen für die Stimmleistungsfähigkeit nur minimal sein können und die Phonation als solche sogar unbeeinträchtigt bleibt (21, 45).

Die Stimmbeeinträchtigung kann durch eine logopädische Therapie schneller kompensiert werden, daher sollte diese immer indiziert werden. Bei einem persistierenden glottischen Restspalt und einer subjektiv empfundenen Beeinträchtigung der Stimmleistungsfähigkeit besteht die Indikation zur operativen Stimmverbesserung. Abhängig vom zeitlichen Eintritt der Lähmung und ihrer Heilungstendenz ist diese entweder temporär oder permanent. Die vielen zur Verfügung stehenden Verfahren sollen alle die beeinträchtigte bzw. gelähmte Stimmlippe in eine mediane Position verlagern. Die dann in der medianen Position liegende (beeinträchtigte) Stimmlippe soll ein festes Widerlager für die freibewegliche Stimmlippe bieten, um einen kompletten Glottisschluss zu ermöglichen (21, 46, 47).

Ist mit einer Rückkehr der Funktion zu rechnen bzw. liegt die Parese weniger als 12 Monate zurück, wird die betroffene Stimmlippe temporär augmentiert. Wenn eine

Nervenerholung als unwahrscheinlich gilt oder diese nach > 12 Monaten immer noch nicht eingetreten ist, geht die Tendenz zu einer permanenten Augmentation, die abhängig von der Breite des bestehenden Glottisspalt es ist. Der effektivste Therapieansatz bei einer Glottisschlussinsuffizienz von ≤ 2 mm ist die permanente Injektionslaryngoplastik, bei einer Glottisschlussinsuffizienz von ≥ 3 mm ist die Thyreoplastik hingegen am effektivsten (20, 34, 48, 49).

Die logopädische Therapie ist ein wirksames Verfahren zur Behandlung der einseitigen Stimmlippenparese. Dies kann mit Hilfe objektiver Stimmparameter wie z.B. der maximalen Tonhaldedauer, der Breite des Glottisspalt es und der subjektiven Stimmeinschätzungen verifiziert werden. Präoperativ kann eine Stimmtherapie auch zur Tonusregulierung benutzt werden. Jedoch kann der jeweilige Erfolg einer logopädischen Therapie überschätzt werden, da die Verbesserung der Stimmqualität auch aufgrund einer spontanen Erholung eingetreten sein könnte (20, 42-44, 50-52).

Bei inkomplettem Glottisschluss sind die anatomischen Voraussetzungen für eine alleinige Stimmtherapie jedoch schlecht. Hier müsste vorher durch eine Augmentation der Stimmlippen ein kompletter Glottisschluss erzeugt werden. Diese frühzeitige Augmentation schafft demnach die anatomischen Voraussetzungen um eine erfolgreiche logopädische Therapie zum Abbau der Fehlkompensation zu gewährleisten. Bei einer Augmentation wird in Vollnarkose auf mikrolaryngoskopischem Weg eine Substanz in die gelähmte Stimmlippe injiziert. Durch diese Injektion wird der glottische Restspalt reduziert und die betroffene Stimmlippe zudem medialisiert (siehe Abbildung 10). Temporäre Augmentationen sind der gewählte Therapieweg bei akuten Paresen und Paresen mit unklarer Prognose, da immer noch mit einer Spontanheilung der Parese zu rechnen ist (49, 53-57). Bei Ihnen werden Materialien in den atrophierten Muskel injiziert, die nach ca. 4-9 Monaten resorbiert werden, hierzu gehören Porcine Gelatine (z.B. Gelfoam®), Carboxymethylcellulose (z. B. Radiesse® Voice Gel), Kollagen basierte Produkte (z. B. Cymetra®) und Hyaluronsäure (z. B. Restylane® / Hyalaform®) (21, 49, 58-62).

Als permanente Augmentatoren für die beeinträchtigten Stimmlippen gelten Kalziumhydroxylapatit (z. B. Radiesse® Voice, RENÚ® VOICE), autologes Fett oder Faszien. Auch diese Materialien werden mit der Zeit resorbiert, jedoch findet die Resorption meist nach 12 Monaten statt (20, 34, 49, 63-66). Es ist selten möglich die resorbierte Menge bzw. den Langzeiterfolg der Injektionslaryngoplastik vorherzusagen

(34, 67). Man geht von einer Erfolgsrate von ca. 70% nach dem ersten und 55% nach dem vierten Jahr aus (68). Aus diesem Grund sind auch bei den permanenten Substanzen wiederholte Behandlungen notwendig. Um die Zahl der wiederholten Behandlungen zu minimieren und der Resorption entgegenzuwirken wird in der Praxis eine Überkorrektur der beeinträchtigten Stimmlippe von ca. 20% angestrebt (63), bei autologem Fett sogar von ca. 30-50%. Hier erhält die gelähmte Stimmlippe eine konvexe Biegung bzw. das initiale Stimmlippenvolumen wird durch die Injektion mit dem autologen Fett verdoppelt (66, 69, 70). Allerdings ist mit Bioplastique™ eine neue Substanz erschienen, die dauerhafte und nebenwirkungsarme Augmentation ermöglicht (71). Man geht bei der Injektionslaryngoplastik von einer drei prozentigen Komplikationsrate aus, zu denen die Fremdkörpergranulom- und Zystenbildung am häufigsten zählen (20, 70).

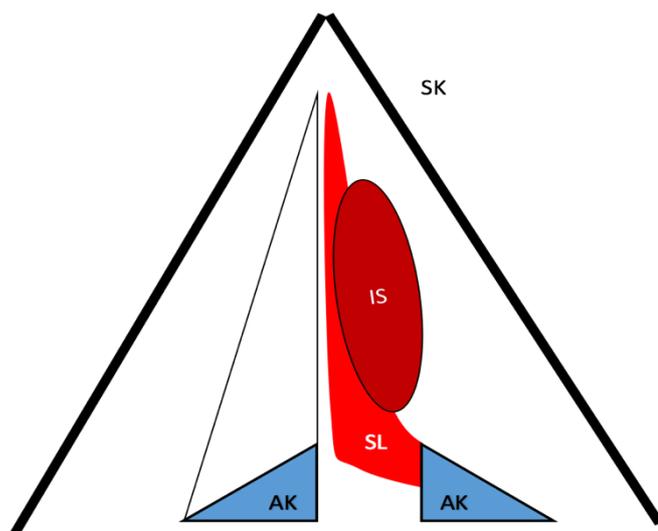


Abbildung 10 - Schema des Larynx im Horizontalschnitt mit Injektionsplastik

Dargestellt wird auf Höhe der Stimmlippen (SL) eine Injektionssubstanz (IS), die die gelähmte rechte Stimmlippe (SL) medialisiert. AK = Aryknorpel; SK = Schildknorpel.

Die Thyreoplastik stellt ein Verfahren zur permanenten Stimmlippenaugmentation dar. Ebenso wie die Injektionsplastik zielt die Thyreoplastik darauf ab, die gelähmte Stimmlippe zu medialisieren um als festes Widerlager für die frei bewegliche Stimmlippe zu wirken, damit ein kompletter Glottisschluss erzielt werden kann. Dies erreicht die Thyreoplastik indem ein Schildknorpelfenster präpariert wird, durch das ein Implantat in den paraglottischen Raum eingesetzt wird und die gelähmte Stimmlippe von außen

nach medial verlagert (siehe Abbildung 11). Das Implantat ist von außen an dem Schildknorpelfenster befestigt (46, 47).

Die Thyreoplastik ist bei ca. 20-30% der Patienten nach temporärer Stimmlippenaugmentation notwendig, da der gewollte komplette Glottisschluss allein durch die Implantationsplastik nicht erzielt werden konnte. Sie wird angewandt, wenn nicht mehr mit einer Spontanheilung des Nervens zu rechnen ist, was üblicherweise mehr als 12 Monaten nach Lähmungseintritt der Fall ist (53, 72). Als Material für die Medialisierung der betroffenen Stimmlippe können das für das Schildknorpelfenster entnommene Stück Schildknorpel, aber auch Silikon, Keramik und Titan verwendet werden (73-75). Wenn man die Thyreoplastik mit der Injektionsplastik vergleicht, haben beide Verfahren, in einem kurzen Zeitraum (<6 Monate) betrachtet, sehr ähnliche Erfolge (76, 77). Auf längere Sicht jedoch hat die Thyreoplastik einen klaren Vorteil, da hier keine Resorption des Injektionsmaterials stattfindet. Gründe für eine Revision der Thyreoplastik können sein: Fehlplatzierung des Implantats, Verrutschen oder Abstoßen des Implantats oder eine auftretende Glottisschlussinsuffizienz aufgrund einer progredienten Atrophie der Stimmlippe (78).

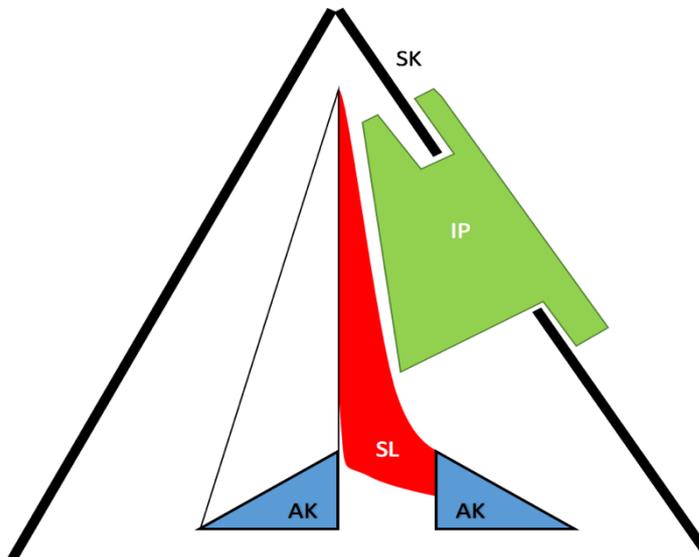


Abbildung 11 - Schema des Larynx im Horizontalschnitt mit Thyreoplastik

Dargestellt wird auf Höhe der Stimmlippen (SL) ein Implantat (IP), das die gelähmte rechte Stimmlippe (SL) medialisiert. Das Implantat (IP) wird von außen durch ein Knorpelfenster im Schildknorpel (SK) positioniert und ist an der Außenseite des Schildknorpels (SK) verankert. AK = Aryknorpel.

1.3.3 Ein neuer Therapieansatz bei der beidseitigen Stimmlippenparese

Bei der beidseitigen Stimmlippenparese (BSP) ist das Therapieziel nicht der komplette Glottisschluss, sondern die Öffnung der Glottis bei der Respiration. Während der Respiration kommt es bei Patienten mit einer BSP zur akuten Dyspnoe, da beide Stimmlippen in Paramedianstellung stehen und hier ein Abduktionsdefizit vorliegt (die Stimmqualität ist aufgrund eines kompletten Glottisschlusses bei der Phonation kaum beeinträchtigt). Bei der BSP ist die laserchirurgische Glottiserweiterung bislang der Goldstandard. Die verbesserte bzw. gesicherte Atemfunktion, korreliert jedoch oft mit einem Qualitätsverlust der Stimme. Dies geschieht aufgrund der irreversiblen chirurgischen Veränderung des Stimmbandaufbaus (79-82). Ein dynamischer Therapieansatz würde hier eine Verbesserung der Atemfunktion generieren und zugleich keinen Einfluss auf die Stimmqualität nehmen (83). Dieser neue Therapieansatz zur Behandlung der BSP beruht auf der unilateralen selektiven Neurostimulation („laryngeal pacing“ = LP) mit Hilfe eines Larynxschrittmachers. Die Glottisöffnung wird hier aktiv durch die elektrische Stimulation des M. cricoarytenoideus posterior (PCA) herbeigeführt. Dies hat einen erheblich positiven Effekt auf die Atmung, wohingegen die Stimmgebung nicht beeinflusst wird (84, 85).

Der größte nicht heilende bzw. erholende Anteil der Recurrensparesen entwickelt eine synkinetische Reinnervation der Abduktor- und Adduktormuskeln. Hier findet eine Wiederherstellung neuromuskulärer Einheiten zwischen den Endästen des RLN und dem PCA-Muskel statt. Mit kleinsten elektrischen Impulsen können die Nervenäste im PCA-Muskel selektiv gereizt werden, was zu einer inspiratorischen Glottisöffnung des PCA-Muskels führt. In aktuellen Studien wird gezeigt, dass die Anwendung von Kehlkopfschrittmachern bei Patienten mit einer BSP sicher ist (86, 87). Bei den Kehlkopfschrittmachern handelt es sich um LP-Systeme der Firma Med-EL aus Innsbruck, Österreich. Es ließ sich bislang eine vergleichbare Verbesserung der Atemfunktion zu der laserchirurgischen Glottiserweiterung zeigen. Zudem blieben bei dem Therapieweg des laryngeal pacings die prätherapeutische Stimm- und Schluckfunktion erhalten (87, 88).

1.4 Fragestellung und Hypothese

Bei der einseitigen Stimmlippenlähmung werden bislang Augmentationen und Medialisierungs-Thyreoplastiken durchgeführt. Diese bewirken einen Stimmlippen-schluss bei Stimmgebung. Die klinische Erfahrung zeigt, dass trotz einseitiger Bewegungsstörung dennoch in ca. 80% der Fälle eine (Rest)Innervation erhalten bleibt und zudem die Adduktorenmuskeln (M. cricoarytenoideus lateralis, M. thyroarytenoideus) oft unbeschädigt sind. Perspektivisch möchte man sich von dem Ansatz der statischen Medialisierung der Stimmlippen (sprich Stimmlippenaugmentation durch Thyreoplastik oder Unterspritzung der Stimmlippen) in Richtung einer dynamischen Adduktion der Stimmlippen bewegen.

Neueste Therapieverfahren mit lokaler Elektrostimulation der Abduktoren-Äste des N. laryngeus recurrens (RLN) bei beidseitiger Parese der Stimmlippen zeigen bereits gute Erfolge bei der Stimulation der Stimmlippen-Abduktoren (M. cricoarytenoideus posterior = Öffner). Es liegt nun auf der Hand, diese bereits bewährte und erfolgreich praktizierte Methodik und Technik auch für das Indikationsgebiet der einseitigen Stimmlippenlähmung anzuwenden. Als erster Schritt stehen daher alle Fragestellungen im Zusammenhang mit der Elektrodenplatzierung im Vordergrund.

In dieser Arbeit soll somit erörtert werden (1) wie variabel die Verläufe des RLN innerhalb des Kehlkopfes sind, (2) wie die intralaryngealen Adduktoren-Äste des RLN selektiv mit einer von extralaryngeal nach intralaryngeal zu platzierenden Elektrode am besten erreicht werden können, (3) wie die Elektrodenspitze möglichst einfach und sicher fixiert wird, ohne den Kehlkopf operativ zu eröffnen und (4) ob die bereits vorhandene Schrittmacher-Elektrode auch für unsere Fragestellung verwendet werden kann.

An 20 humanen Kehlköpfen sollen Stimulations-Elektroden eingesetzt werden, die ggf. farblich markiert werden. Durch anschließende Dissektion des Kehlkopfes soll die Platzierung der Elektrode und deren Nähe zum RLN veranschaulicht, analysiert und fotodokumentiert werden.

2 MATERIAL UND METHODEN

2.1 Versuchsbeschreibung und Organbeschreibung (Rechtsmedizin)

2.1.1 Einleitung

Für die Durchführung dieser Studie wurde mit dem Institut für Rechtsmedizin des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf unter der Leitung von Prof. Dr. Klaus Püschel zusammengearbeitet. Insgesamt wurden 20 menschliche Kehlköpfe verwendet, welche zwischen September und November 2015 im Rahmen von Routineautopsien entnommen wurden (89). Diese wurden in dem Labor der Poliklinik für Hör-, Stimm-, und Sprachheilkunde bei -80°C eingefroren, seziiert und präpariert. Kehlköpfe von Spendern mit bekannten Tumorerkrankungen im Larynx oder Pharynx sowie traumatischen Verletzungen im Bereich des Halses wurden nicht in das Untersuchungsgut aufgenommen. Nach Versuchsende der jeweiligen Kehlköpfe wurden diese wieder eingefroren und anschließend nach Beendigung der Studie einschließlich des abpräparierten Gewebes vorschriftsgemäß in das Institut der Rechtsmedizin gebracht. Jeder Kehlkopfspender hatte eingewilligt, Organe seines Körpers zu Gunsten der Wissenschaft und Forschung zu Verfügung zu stellen. Bei den 20 Kehlköpfen, die für diesen Versuch verwendet wurden, handelte es sich um 10 männliche und 10 weibliche Kehlköpfe. Als Versuchsmaterial wurden durch die Kooperation mit Werner Lindenthaler, von der Firma MED-EL, zwei verschiedene Tubus Trokar Systeme (Laryngeal Pacing (LP) Insertion Tool Straight & Curved), sowie mehrere LP-Elektroden bereitgestellt, um die Elektroden unter besten Voraussetzungen und Bedingungen intralaryngeal zu platzieren.

2.1.2 Präparation der Kehlköpfe

Die gespendeten Kehlköpfe mussten vor dem Versuchsbeginn regelrecht präpariert werden. Es wurden übersichtshalber unmittelbar anliegende Strukturen von der Vorder- und Rückseite abpräpariert. An der Larynx Vorderseite wurden folgende Strukturen zur Schaffung übersichtlicherer Verhältnisse entfernt: M. thyrohyoideus, M. constrictor pharyngis inf., Membrana thyrohyoidea – Lig. thyrohyoideum med./lat., das Os

hyoideum mit zugehörigen Anteilen des M. mylohyoideus, die restlichen Bestandteile der Glandula thyroidea, bestehende Anteile des M. sternothyroideus und der M. sternohyoideus (siehe Abbildung 12).

Von der Rückseite wurden neben Bindegewebe auch Teile des Oesophagus sowie Mm. constrictor pharyngis inferior (die Pars cricopharyngea) entfernt. Die Kehlköpfe wurden mit anatomischen und chirurgischen Pinzetten, Skalpellern verschiedener Größen und Micro-Scissors präpariert. Das abpräparierte Material wurde in einem für den Spender spezifisch gekennzeichneten Behälter für die Dauer des Versuches bei -80°C aufbewahrt.



Abbildung 12 - Kehlkopf nach Präparation

2.1.3 Analyse der idealen Elektrodenimplantationsposition

Für die Schließung der Stimmritze gibt es mehrere Stimmritzenschließer, die von der platzierten Elektrode stimuliert werden sollen. Der Musculus cricoarytenoideus lat., welcher jeweils von der Seite des Ringknorpels zu den Stellknorpeln hinaufzieht, rotiert bei seiner Kontraktion einwärts und verschließt dadurch die Pars intermembranacea der Stimmritze. Ebenfalls mit ihm wirkt der Musculus thyroarytaenoideus (Pars lateralis), die medialen Fasern des TA-Muskels (M. vocalis) jedoch spannen die Stimmbänder. Diese Stimmlippen schließenden Muskelgruppe (TA- und LCA-Muskel) werden durch den TA- und LCA-Ast innerviert. Die Endäste des RLN stellen den anterioren RLN Stamm dar. Um die Elektrode am anterioren RLN Stamm zu platzieren, sollte der ideale Implantationsweg gefunden werden. Die verlässlichste Landmarke für diese Platzierung

liegt dort, wo der RLN über die *Articulatio cricothyroidea* weiter nach anterior zieht. Die Elektrode müsste an dem anterioren Ast des RLN, bevor dieser sich in seine Endäste aufteilt und nachdem er den PCA-Nervenast abgibt, platziert werden, um eine Mitstimulation der Stimmlippenabduktoren (innerviert durch den PCA-Ast) zu vermeiden. Andererseits ist eine Platzierung der Elektrode theoretisch auch nach der Aufteilung in die Endäste, den TA- und LCA-Ast, möglich. Hier sollte dann die Elektrode beide Nervenäste berühren, bzw. in unmittelbarer Nähe der beiden Endäste positioniert sein, um die Stimulation beider Nervenendäste zu garantieren.

Des Weiteren gibt es noch die *Musculi arytaenoidei obliqui* und den *Musculus arytaenoideus transversus*, welche beide Stellknorpel miteinander verbinden und bei Kontraktion die *Pars intercartilaginea* der Stimmritze verschließen. Da deren Nervenast jedoch nicht in der Nähe der LCA und TA-Äste verläuft und die elektrische Stimulation der an verschiedenen Orten verlaufenden Nervenäste mittels der gleichen Elektrode nicht möglich ist, sind diese Muskeln für die Versuchsüberlegung irrelevant. Die Aufgaben der Arytaenoid-Muskeln für die Phonation sind von untergeordneter Bedeutung.

2.1.4 Entwicklung des Versuches

Der versuchsbereite Kehlkopf wird mit der Trachea auf einem vorgefertigten Holzstück auf einer Holzplatte zur Stabilisierung aufgesetzt (siehe Abbildung 12). Der Schildknorpel kann nun mittels Messschieber ausgemessen werden. Die Inzisionspunkte der Elektroden sollen abhängig von der Größe des Schildknorpels bestimmt werden. Für den korrekten Inzisionspunkt durch den Schildknorpel werden Operationstechniken wie die Thyreoplastik (z.B. die Montgomery Thyreoplastik) zum Vorbild genommen. Ansatz der chirurgischen Therapie der Thyreoplastik ist es, den Schildknorpel zu fenstern, um einen Platzhalter aus Silikon, Titan oder Keramik (in Keilform) zu implantieren. Hierdurch soll die durch eine einseitige *Recurrensparese* hervorgerufene Atrophie des TA und LCA Muskels ausgeglichen und die beeinträchtigte Stimmlippe, sowie das paraglottische Gewebe wieder statisch medialisiert werden (12). Die Positionierung des „Fensters“ im Schildknorpel wird durch Orientierungspunkte von sogenannten Landmarks bestimmt. Wichtig dabei ist, dass die „richtigen Stimmlippen“ (*plicae vocales*), im Gegensatz zu den darüberliegenden so genannten „falschen

Stimm lippen“, den Taschen falten (plicae vestibulares), medialisiert werden. Um die Medialisierung der Taschen falten zu vermeiden, ist für das Setzen des „Fensters“ vor allem die Oberkante (siehe „Referenzlinie“ im Thyreoplastik-Modell: Abbildung 13) von essenzieller Bedeutung. Hierfür wird eine Bezugslinie gezogen, die parallel zum unteren Rand des Schildknorpels verläuft. Der untere Rand des Schildknorpels ergibt eine Vorlagelinie durch das Verbinden der Einbuchtungen von drei Landmarken: Die Einbuchtung zwischen der Incisura thyroidea inferior und dem Tuberculum thyroideum caudale und die Einbuchtung zwischen dem Tuberculum thyroideum caudale und dem Cornu inferius (siehe „Vorlagelinie“ in Abbildung 13). Die parallele Bezugslinie beginnt in der Mitte zwischen Ober- und Unterkante des Schildknorpelbogens (der Mittelpunkt zwischen Incisura thyroidea sup. und inf.). Diese gesetzte Linie teilt die Entfernung der Ober- und Unterkante des Schildknorpels in ein Verhältnis von 2:1 auf und entspricht dem freien Rand der Stimmlippen im Endolarynx. Die Linea obliqua ist ein weiterer wichtiger Orientierungspunkt für das Setzen des Knorpelfensters, welches kaudal der Referenzlinie, mit der unteren posterioren Ecke des Fensters nahe an der Linea obliqua liegend, platziert werden sollte. (siehe Abbildung 13) (90).

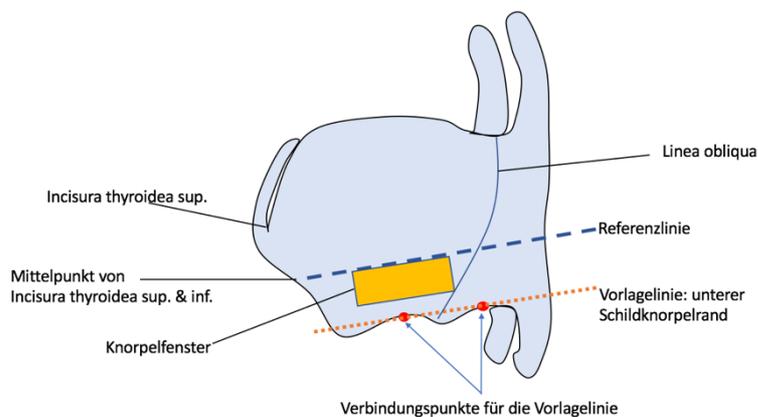


Abbildung 13 - Thyreoplastik-Modell inklusive der Schildknorpel Landmarks

Die Elektrodenplatzierung durch den Schildknorpel wurde der Thyreoplastik-Fenster Technik angepasst, um sowohl einen zu hohen Einstich als auch eine potentielle Stimmlippenverletzung zu vermeiden.

Die Entscheidung, die Elektrodenplatzierung durch den Schildknorpel hindurch zu platzieren und nicht unterhalb des Schildknorpels entlang des M. cricothyroideus (was

dennoch in den Versuchen der Kehlköpfe Nr. 18-20 erprobt wird) entsteht aus der Überlegung heraus, die Elektrode im Bereich des Schildknorpels unter realen Bedingungen besser fixieren zu können. Eine stabilere Fixierung der Elektrode in dem Schildknorpelübergang würde zum Beispiel erreicht werden, indem die Elektrode geklebt oder durch eine Art Gummiüberzug fixiert wird (siehe Abbildung 14).

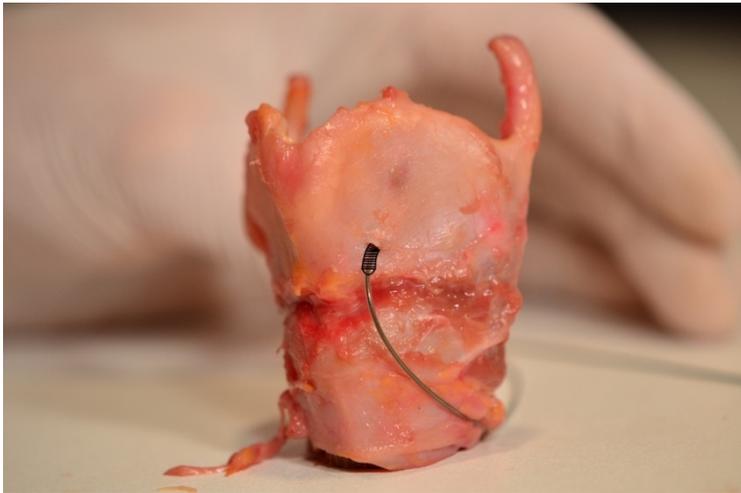


Abbildung 14 - Larynx mit Elektrode und Modell eines Silikonschlauchs zur Elektrodenbefestigung

2.2 Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

2.2.2 Versuchsaufbau inkl. Schemazeichnung

Die Einstichstellen werden im Vorfeld anhand der Größe des Schildknorpels auf beiden Seiten bestimmt und lateral der Incisura thyroidea inf. angepasst. Für die Bestimmung der Einstichstelle mittels Trokar werden die Landmarks des Schildknorpels verwendet (Siehe Kapitel 2.1.4 Entwicklung des Versuches).

Der Trokar ist ein Instrument, mit dessen Hilfe in der minimal-invasiven Chirurgie scharf oder stumpf ein Zugang zu einer Körperhöhle geschaffen und durch ein Rohr (= Tubus) offengehalten wird. In diesem Falle dienen Trokar und Tubus als Zugangsweg durch den Schildknorpel, um einen Ast des N. laryngeus recurrens, welcher auf dem TA und LCA verläuft, zu erreichen. Der Trokar wird in einer geraden Linie zum ipsilateralen Aryknorpel zwischen 10-15mm (abhängig von der Größe des Schildknorpels) in den Schildknorpel eingeführt (siehe Abbildung 15).

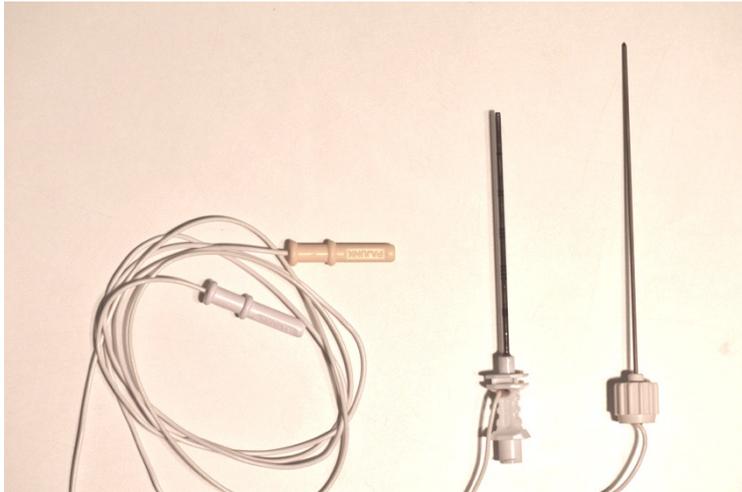


Abbildung 15 - LP Insertion Tool Straight (bestehend aus elektrisch abnehmbaren Tubus und Trokar)

Mit einer Drehbewegung soll der Trokar inkl. Tubus durch den Schildknorpel gebohrt werden. Die Eindringtiefe des Trokar-Tubussystems (und demnach später auch der LP-Elektrode) wird der Größe des Kehlkopfes angepasst. Der Trokar wird nach dem Eindringen in den Schildknorpel, unter Belassung des Tubus mit einem 1,7mm Durchmesser, entfernt. Die LP-Elektrode, an deren Spitze sich eine Schraube zur Festigung der Elektrode im Gewebe befindet (siehe Abbildung 16), wird über den Tubus bei dem TA/LCA-Ast des N. laryngeus recurrens platziert und mit zweieinhalb Umdrehungen in das umliegende Gewebe zur Befestigung eingedreht (Abbildung 17).

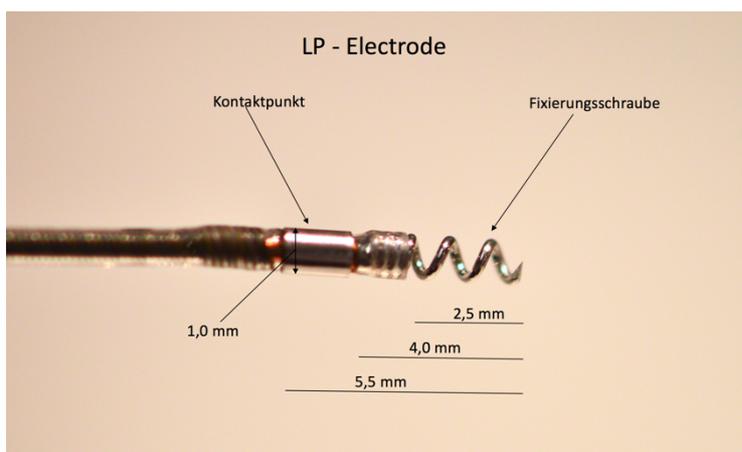


Abbildung 16 - LP-Elektrode

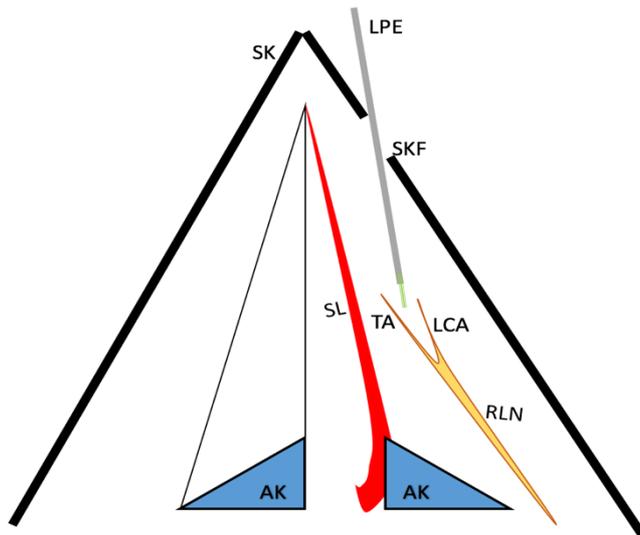


Abbildung 17 - Schema des Larynx mit Elektrodenplatzierung durch den Schildknorpel im Horizontalschnitt.

Durch den Schildknorpel (hier bezeichnet als Schildknorpelfenster – SKF) auf Höhe der Stimmritze (SL) wird die LP-Elektrode (LPE) auf bzw. zwischen den TA- und LCA-AST (TA / LCA) des N. laryngeus recurrens (RLN) auf der Seite der gelähmten rechten Stimmlippe (SL - rot) platziert. AK = Aryknorpel; SK = Schildknorpel

Bevor die Elektrode in das Gewebe, meistens in den TA-Muskel, eingedreht wird, muss überprüft werden, ob dieser gewählte Weg auch in der Praxis der richtige wäre und die Elektrode so zum gewünschten Ziel bringen würde. Die Überlegung, mit der Elektrode wie oben genannt vorzugehen, wird mit den ersten zwei Kehlköpfen erprobt. Hierfür wird anstelle der Elektrode eine stumpfe Kanüle mit geringem Durchmesser eingeführt. Mit dieser Kanüle wird vor Einführung durch den Schildknorpel ein Tropfen Methylenblau aufgezogen, welcher sich nur minimal im Stichkanal von der Kanüle löst. Durch einen applizierten Überdruck mit einer luftgefüllten Spritze wird das Methylenblau aus der Kanüle an der ausgesuchten Implantationsstelle für spätere Elektrodenplatzierungen gelöst. Im Anschluss kann durch retrogrades Freipräparieren des N. laryngeus recurrens, von der Rückseite des Larynx aus, der Verlauf des Nerven bis zum Ansatz in den TA- und LCA-Muskel verfolgt werden. Anhand der Blaufärbung kann so nachvollzogen werden, an welcher Stelle die Kanüle mit dem Stich durch den Schildknorpel endet und ob der zu stimulierende anteriore Ast des RLN in der Nähe der Blaufärbung verläuft. Dies hilft, um Abstände, Einstichwinkel und Eindringtiefen für die Elektrodenplatzierung anzupassen (siehe Kehlkopfpräparate: Abbildung 18, Abbildung 19 & Abbildung 20).

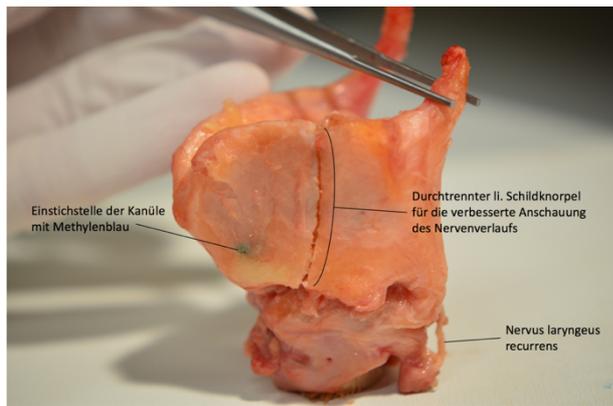


Abbildung 18 - Larynx mit Einstichstelle (Methylenblau)

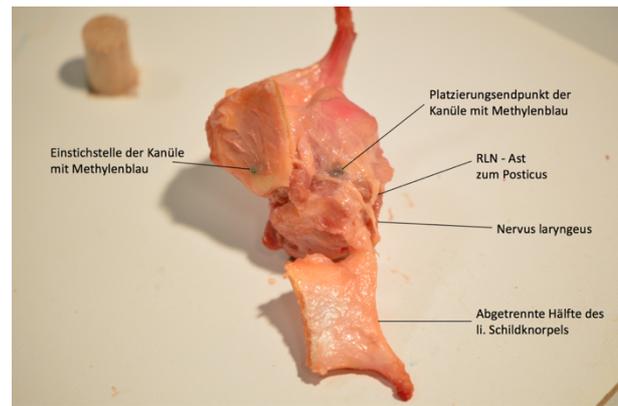


Abbildung 19 - freipräparierter Larynx mit RLN-Verlauf (Methylenblau)

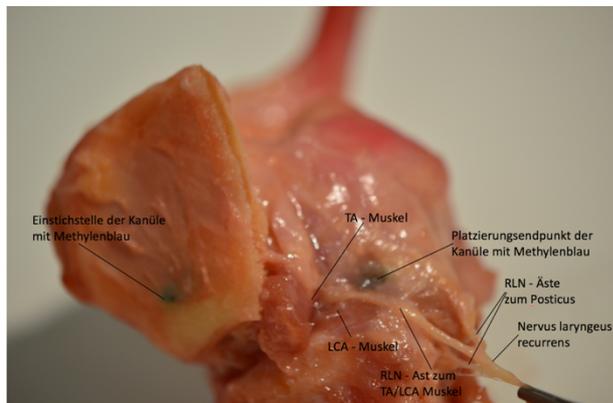


Abbildung 20 - freipräparierter Larynx mit RLN-Verlauf (Methylenblau) vergrößerte Ansicht

Die Weiterentwicklung des Versuches und die Verwendung von Prototyp Elektroden ergeben den nachfolgenden Versuchsschritt.

Die Kehlköpfe werden in drei verschiedene Größenkategorien (Klein, Medium und Groß) eingeteilt. Diese Einteilung entsteht aus der Überlegung heraus, verschiedene Eindringtiefen der LP-Elektrode bei unterschiedlichen Größen der Kehlköpfe zu verwenden. Es werden jeweils die Seiten der einzelnen Kehlköpfe gemessen. Hierfür wird von dem kaudalsten Punkt der Incisura thyroidea superior (bei vielen Kehlköpfen beginnt hier die Prominentia laryngea) und dem kranialsten Punkt der Incisura thyroidea inferior der Mittelpunkt (MI – Mittelpunkt Incisurae) genommen. Dieser Mittelpunkt dient als erster Messpunkt für die Vermessung einer Schildknorpelseite. Als zweiter Messpunkt wird das Ende des Schildknorpels auf mittlerer Höhe der Aryknorpel ausgewählt. Die Einstichstelle des Trokars wird aus zwei Punkten gewählt. Hierfür wird von dem MI ausgehend zu der Seite des Schildknorpels hin ein Punkt (LIP – lateraler Inzisionspunkt) markiert. Der LIP befindet sich auf der Referenzlinie (parallel verlaufend zu der Vorlagenlinie - siehe Abbildung 21; ebenfalls beruhend auf dem Prinzip der

Thyreoplastik - siehe Abbildung 13). Für die Einstichstelle des Trokars (ES) wird der LIP mit einer senkrechten Linie nach kaudal verlängert und 4-5mm (abhängig von der Kehlkopfgröße) oberhalb der Schildknorpelunterkante gesetzt (siehe Abbildung 21).

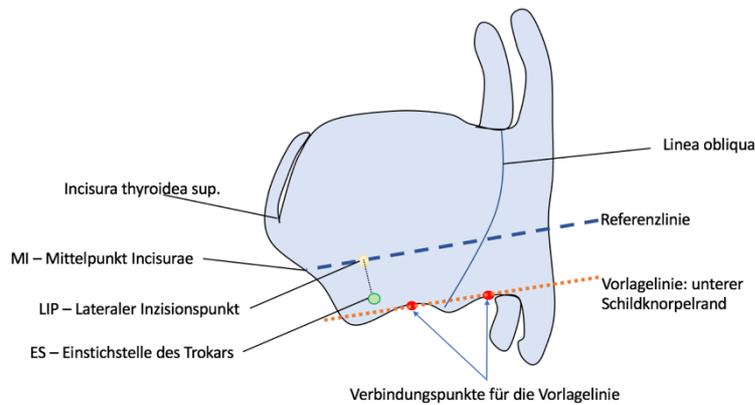


Abbildung 21 - Trokareinstichstelle am Kehlkopfmodell mit dazugehörigen Landmarks

Die Kehlkopfseiten der Kehlköpfe Nr. 3 und 4 haben Seitenlängen zwischen 33,4mm – 36,6mm, es sind die ersten Kehlköpfe mit einer Elektrodenimplantation. Der LIP wird mit einer Entfernung von 12,5mm zum MI und einer Elektrodeneindringtiefe von 15mm gewählt (siehe Abbildung 21). Die linke Seite des Kehlkopfes Nr. 5 hat eine Seitenlänge von 25,1mm, ca. 10mm kürzer als die vorherigen Kehlköpfe. Demnach werden der LIP, sowie die Eindringtiefe der zu platzierenden Elektrode angepasst. Hierfür wird ein LIP von 8mm (Abstand zum MI) und eine Elektrodeneindringtiefe von 10mm gewählt. Die rechte Seite des Kehlkopfes Nr. 5 hat eine Seitenlänge von 29,2mm. Da diese Seitenlänge größentechnisch zwischen den Seitenlängen der Kehlköpfe Nr. 3 & 4 und der linken Seite des 5. Kehlkopfes liegt, wird ein Mittelmaß der unterschiedlichen LIPs und Elektrodeneindringtiefen gewählt. Hierfür ergibt sich ein LIP von 10mm (Abstand zum MI) und eine Eindringtiefe der Elektrode von 12,5mm. Die darauffolgenden Kehlköpfe und ihre Seitenlängen werden dann diesen verschiedenen Größeneinteilungen zugeordnet. Da sie sich größentechnisch nicht sehr stark von den Seitenlängen der Kehlköpfe Nr. 3-5 unterscheiden, gibt es keinen Anhalt für eine 4. oder 5. Größeneinteilung. So ergibt sich im Verlauf eine Einteilung der Kehlköpfe in drei Größen (Klein/Medium/Groß).

In die Gruppe „Klein“ werden alle Schildknorpel aufgenommen, die eine Seitenlänge von 24mm - 28mm haben. Die Gruppe „Medium“ besteht aus Schildknorpelseiten, die eine Seitenlänge von 28mm - 33mm haben. Schildknorpelseiten, die zwischen 33mm –

38mm sind, werden in die Kategorie „Groß“ eingeteilt. Die Kehlkopfseitenlängen variieren bei den 20 Kehlköpfen nur zwischen 24mm und 38mm, deshalb hier die Einteilung in 3 Größen. Bei noch größeren Variationen wären noch weitere Gruppen der Größeneinteilung entstanden.

Für die Gruppe „Klein“ wird der LIP mit Abstand zum MI mit 8mm gewählt, die Gruppe „Medium“ wird mit einem 10mm Abstand markiert, die Gruppe „Groß“ erhält den LIP mit einem 12,5mm Abstand zum MI. Nicht alle Kehlköpfe werden mit den gleichen Instrumenten behandelt. Zum Beispiel gibt es Abwandlungen bei Instrumenten wie dem LP Insertion Tool Curved, als auch bei dem Präparationsweg durch den Musculus cricothyroideus unterhalb des Schildknorpels (inwiefern es Abwandlungen gibt, siehe Kapitel 2.2.3).

Der 4mm bzw. 5mm Abstand von der Schildknorpelunterkante bis zur Einstichstelle des Trokars (ES) wird abhängig von den Kehlkopfgrößen gewählt. Der 4mm- Abstand wird für alle Kehlköpfe mit einer Seitenlänge von <30mm gewählt, die 5mm hingegen für alle Kehlköpfe >30mm. Die Einführung des Trokars in die Tiefe des Gewebes, ablesbar an den Messstrichen auf dem Tubus, wird auch der Gruppeneinteilung, „Klein“, „Medium“ und „Groß“ in 2,5mm – Schritten angepasst.

Hierfür wird der Trokar in der Gruppe „Klein“ 10mm ins Gewebe eingeführt, in der Gruppe „Medium“ 12,5mm und in der Gruppe „Groß“ wird der Trokar 15mm eingeführt (siehe Tabelle 1 - Larynx Gruppeneinteilung).

Tabelle 1 - Larynx Gruppeneinteilung

Gruppe	Seitenlänge des Schildknorpels	Lateraler Inzisionspunkt (LIP)	Eindringtiefe des LP Insertion Tools
<i>Klein</i>	< 28mm	8mm	10mm
<i>Medium</i>	28mm – 33mm	10mm	12,5mm
<i>Groß</i>	> 33mm	12,5mm	15mm

Tabelle 2 - Instrumententabelle

Instrument	Gruppeneinteilung (Klein/Medium/Groß)	Lateraler Inzisionspunkt (LIP)	Eindringtiefe des LP Insertion Tools
LP Insertion Tool: Straight	Standarteinteilung (siehe Tabelle 1)	Standarteinteilung (siehe Tabelle 1)	Standarteinteilung (siehe Tabelle 1)
LP Insertion Tool: Curved	Standarteinteilung (siehe Tabelle 1)	Standarteinteilung + 2,5mm	Standarteinteilung (siehe Tabelle 1)

2.2.3 Unterschiede in der Versuchsdurchführung

Die 20 für die Elektrodenplatzierung zur Verfügung gestellten Kehlköpfe der Rechtsmedizin werden in unterschiedlicher Art und Weise präpariert. Dabei wird die Position der Einstichstelle sowie auch die Eindringtiefe des geraden Trokar-Tubus Systems (LP Insertion Tool Straight), des scharfen LP Insertion Tool Curved und des HNO-Diamantenbohrers mit LP Insertion Tool Straight anhand der Schildknorpelgröße bestimmt und dieser angepasst. Neben Unterschieden bezüglich der Position der Einstichstelle und Eindringtiefe werden auch die Winkel des Einstichs den Instrumenten entsprechend angeglichen.

Die ersten zwei Kehlköpfe werden jeweils beidseits mit dem LP Insertion Tool Straight bearbeitet. Das gerade Trokar/Tubus System wird benutzt um einen Weg durch den Schildknorpel in den gewünschten Muskel (TA- und LCA-Muskel) zu bereiten. Nach der Insertion des Trokars wird die Eindringtiefe anhand von Markierungen an dem Tubus gemessen und notiert. Das LP Insertion Tool Straight (Tubus und Trokar) wird entfernt, um anstelle der Elektrode eine Kanüle, gefüllt mit Methylenblau, mit der notierten Eindringtiefe einzuführen (siehe Kehlkopfpräparate: Abbildung 18, Abbildung 19 & Abbildung 20). Dies wird gemacht, um durch retrograde Freipräparation des RLN-Verlaufes, orientierend anhand eines blauen Punktes, zu sehen, ob die Versuchsüberlegung im Ansatz und Weg (Wahl der Einstichstelle, des Eindringungswinkels sowie der Eindringtiefe) für eine Elektrodenplatzierung von Relevanz ist.

Kehlkopf Nr. 3 bis 13 (11 Kehlköpfe) werden ebenfalls mit dem LP Insertion Tool Straight behandelt. Jedoch wird hier nach Einbringen des Trokar/Tubus Systems an die gewollte Position nur der Trokar entfernt. Das Belassen des Tubus ist notwendig, um durch diesen die Elektrode an den gewünschten Nervenästen (TA-und LCA-Ast) zu platzieren (siehe Abbildung 25). Die Einstichstellen sowie die Eindringungstiefe werden der Größe der Kehlköpfe angepasst. Der primäre Versuchsaufbau wird mit der dem LP Insertion Tool Straight entwickelt, deswegen wurde diese Versuchsdurchführung am häufigsten verwendet (siehe Kehlkopfmodell: Abbildung 22, und Kehlkopfpräparate Abbildung 23, Abbildung 24)

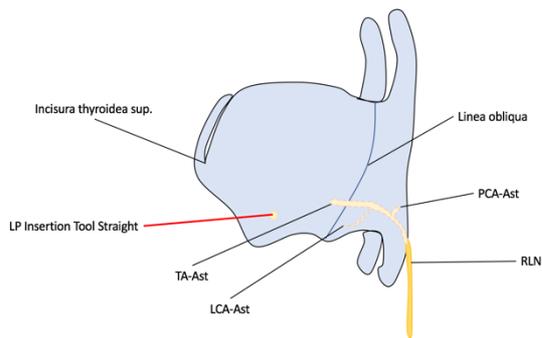


Abbildung 22 - Kehlkopfmodell mit Elektrodenplatzierung durch den Schildknorpel mit dem LP Insertion Tool Straight

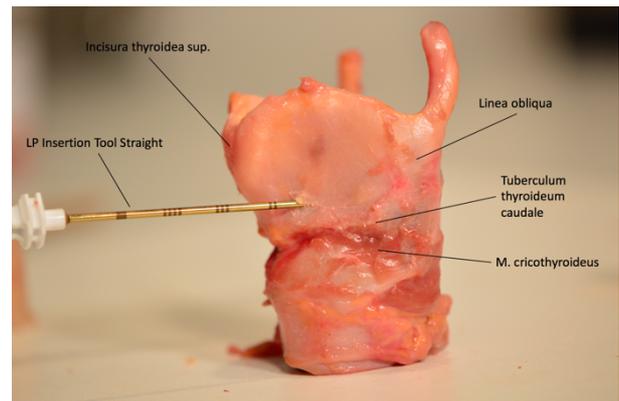


Abbildung 23 - Kehlkopf & LP Insertion Tool Straight (Ansicht lateral)

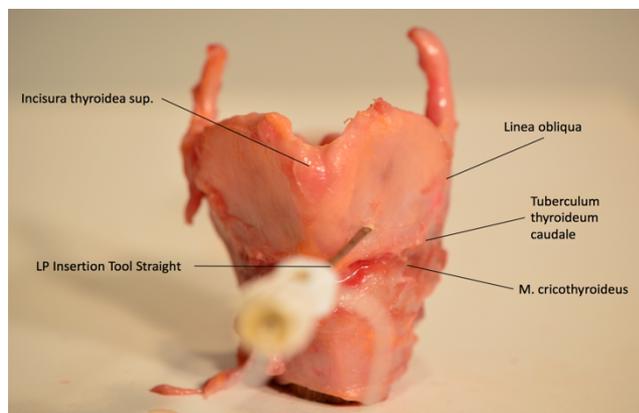


Abbildung 24 - Kehlkopf & LP Insertion Tool Straight (Ansicht ventral)

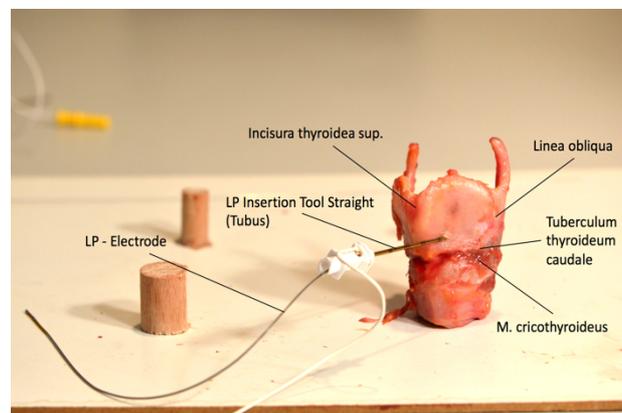


Abbildung 25 - Kehlkopf mit LP Insertion Tool Straight (Tubus) & LP-Elektrode (Ansicht ventro-lateral)

Bei den Kehlköpfen Nr. 14 & 15 wird mit dem scharfen LP Insertion Tool Curved gearbeitet (siehe Kehlkopfmodell: Abbildung 26), um Unterschiede bei der Platzierung der Elektrode, im Vergleich zu dem LP Insertion Tool Straight, zu überprüfen. Die Einstichstelle wird aufgrund der Krümmung dieses Insertion Tools angepasst und weiter lateralisiert (vergleiche Kehlkopfpräparate: Abbildung 24 & Abbildung 27). Das heißt, dass das LP Insertion Tool Curved aufgrund der Krümmung nach Durchdringen des Schildknorpels einen steileren Einschlag in das Gewebe hat. Deshalb wird der LIP (und somit auch die Einstichstelle, ES) zusätzlich um 2,5mm nach lateral (Richtung Aryknorpel) verschoben (siehe Kehlkopfpräparate: Abbildung 27 & Abbildung 28). Die Eindringtiefe der Elektrode wird, wie auch bei den vorigen Kehlköpfen, der Größeneinteilung zufolge beibehalten (siehe Tabelle 1 - Larynx Gruppeneinteilung).

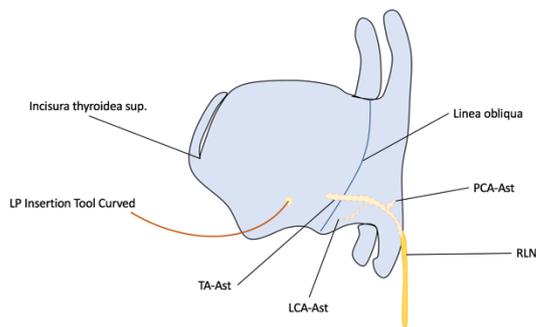


Abbildung 26 - Kehlkopfmodell mit Elektrodenplatzierung durch den Schildknorpel mit dem LP Insertion Tool Curved

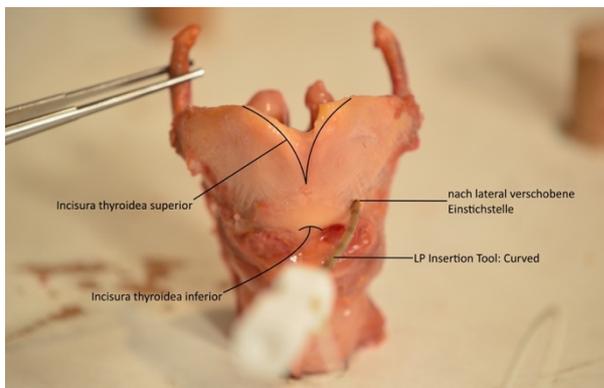


Abbildung 27 - Kehlkopf & LP Insertion Tool: Curved (Ansicht: ventral)

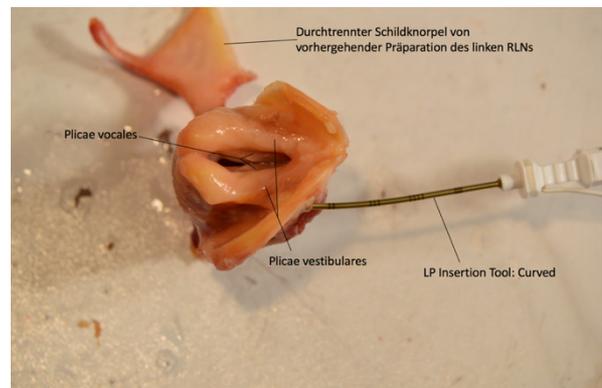


Abbildung 28 - Kehlkopf & LP Insertion Tool: Curved (Ansicht: von kranial)

Bei den Kehlköpfen Nr. 16 & 17 wird erst auf der jeweils zu implantierenden Seite ein Loch mit einem Diamantbohrer vorgebohrt. Der Durchmesser des Bohreraufsatzes ist mit 2mm um 0,3mm größer als der Durchmesser des LP Insertion Tool Straight (1,7mm Durchmesser). Dies soll mit einer erhöhten Bewegungsfreiheit eine bessere Platzierung des LP Insertion Tool Straight samt Elektrode gewährleisten. Aufgrund des größeren Bohrloches ist mit dem LP Insertion Tool Straight kein Durchstechen durch den Schildknorpel notwendig (siehe Kehlkopfmodell: Abbildung 29; und Kehlkopfpräparat: Abbildung 30). Die Elektrodenplatzierung und ihr Platzierungswinkel unterscheiden sich jedoch nicht von den Kehlkopfpräparaten Nr. 3-13 (vergleiche mit Kehlkopfmodell: Abbildung 22).

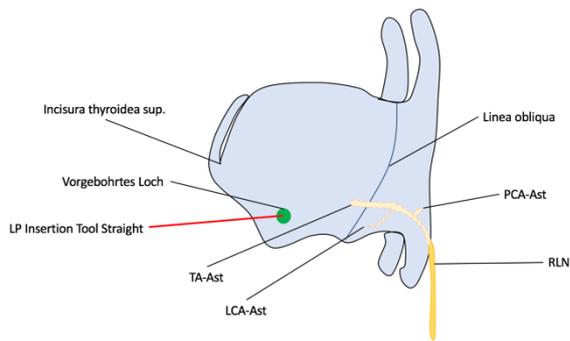


Abbildung 29 - Kehlkopfmodell mit Elektrodenplatzierung durch den Schildknorpel mit vorgebohrtem Loch & LP Insertion Tool Straight

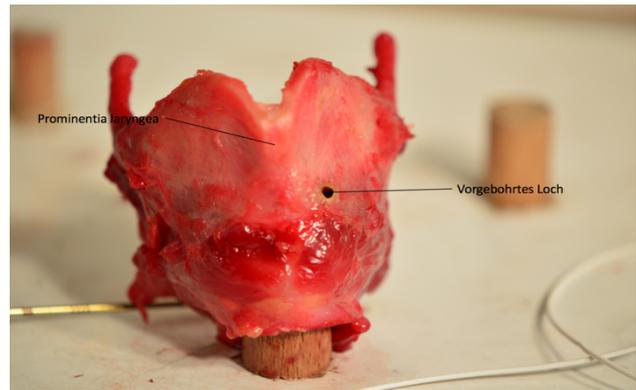


Abbildung 30 - Kehlkopf mit vorgebohrtem Loch

Die Kehlköpfe Nr. 18, 19 und 20 werden mit dem geraden LP Insertion Tool Straight präpariert. Im Vergleich zu den vorherigen 17 Kehlköpfen wird der Trokar nicht durch den Schildknorpel gestochen, sondern durch den Musculus cricothyroideus unterhalb des Schildknorpels platziert. Bei der linken Seite des Kehlkopfes wird der Trokar jeweils vor das Tuberculum thyroideum caudale durch die Pars recta des Musculus cricothyroideus platziert (siehe Kehlkopfmodell: Abbildung 31). Bei der rechten Seite des Kehlkopfes hingegen wird der Trokar, und somit auch hinterher die Elektrode, hinter das Tuberculum thyroideum caudale durch die Pars obliqua des Musculus cricothyroideus inseriert (siehe Kehlkopfmodell: Abbildung 32).

Um zu den korrekten Ästen des N. laryngeus recurrens zu gelangen (TA- und LCA-Ast), müssen die Einstichwinkel dem jeweiligen Präparationsweg angepasst werden. Bei den linksseitigen Platzierungen folgt der Trokar (inkl. Tubus) und hinterher auch die LP-Elektrode dem Muskelfaserverlauf des Musculus cricothyroideus (siehe Kehlkopfpräparate: Abbildung 33 & Abbildung 34). Der Einstichwinkel bei den rechtsseitigen Elektrodenplatzierungen der Kehlkopfpräparate 18-20 hingegen ist aufgrund des weit posterioren Einstechens nahezu senkrecht. Dieser steile Einstichwinkel ist notwendig, um zu der TA/LCA - Abzweigung zu gelangen (siehe Kehlkopfpräparate: Abbildung 35 & Abbildung 36).

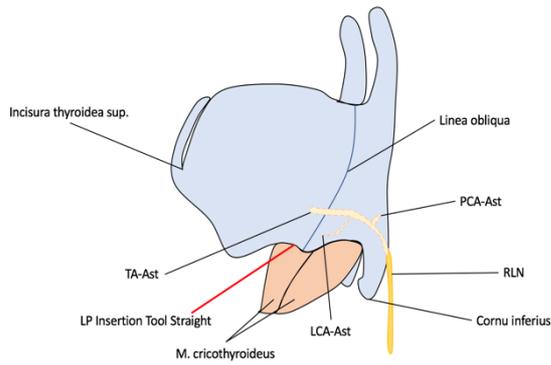


Abbildung 31 - Kehlkopfmodell mit Elektrodenplatzierung mit LP Insertion Tool Straight durch den M. cricothyroideus (Pars recta; anterior des Tuberculum thyroideum caudale)

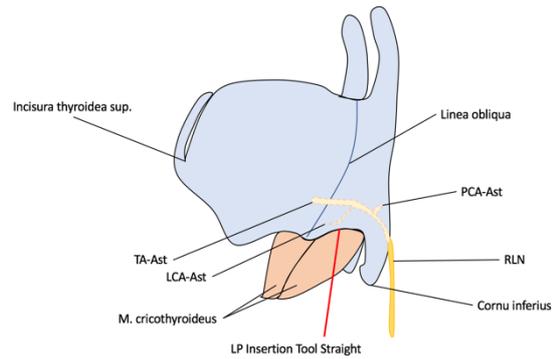


Abbildung 32 - Kehlkopfmodell mit Elektrodenplatzierung mit LP Insertion Tool Straight durch den M. cricothyroideus (Pars obliqua; posterior des Tuberculum thyroideum caudale)

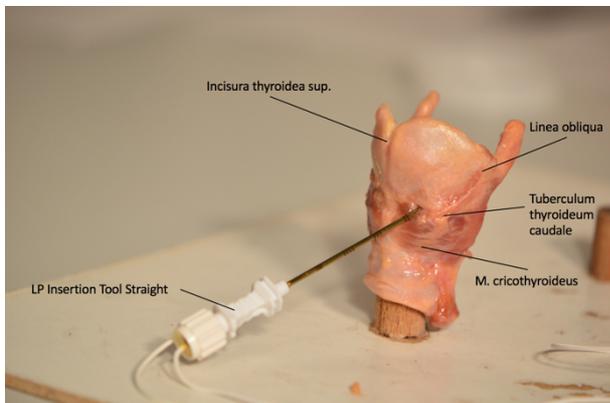


Abbildung 33 - Kehlkopf Nr. 18 li. mit LP Insertion Tool Straight durch den M. cricothyroideus (Pars recta; anterior des Tuberculum thyroideum caudale)

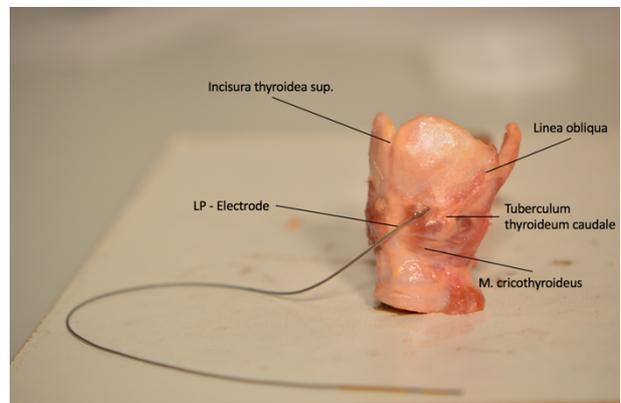


Abbildung 34 - Kehlkopf Nr. 18 li. mit LP-Elektrode durch den M. cricothyroideus (Pars recta; anterior des Tuberculum thyroideum caudale)

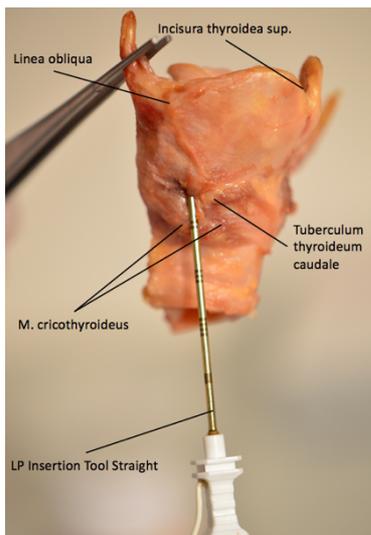


Abbildung 35 - Kehlkopf Nr. 18 re. mit LP Insertion Tool Straight durch den M. cricothyroideus (Pars obliqua; posterior des Tuberculum thyroideum caudale)

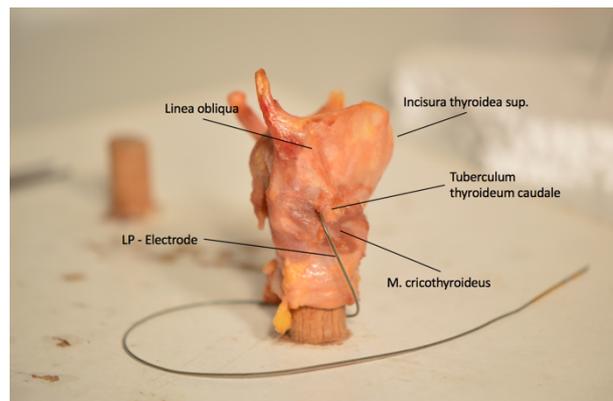


Abbildung 36 - Kehlkopf Nr. 18 re. mit LP-Elektrode durch den M. cricothyroideus (Pars obliqua; posterior des Tuberculum thyroideum caudale)

3 ERGEBNISSE

3.1 Einleitung

Für die Auswertung werden die unterschiedlichen Ansätze der Elektrodenplatzierungen untersucht. Außerdem werden die Platzierungsstellen der im Gewebe befestigten Elektroden mit den an jeweiliger Stelle verlaufenden Ästen des N. laryngeus recurrens analysiert und miteinander verglichen.

Zwanzig Kehlköpfe (40 Kehlkopfseiten) werden mit verschiedenen Ansätzen präpariert. Hierbei gelingt die Elektrodenplatzierung mit 89% in der Mehrzahl an dem TA-Ast, jedoch nur 25% der durchgeführten Elektrodenplatzierungen erreichen den LCA-Ast. An 30 der 40 präparierten Larynxseiten kann der LCA-Ast deutlich freipräpariert werden (Der 11. Kehlkopf - rechte Seite, wird hier ausgeschlossen, da der präparierte Gewebefaden nicht sicher als ein Nervenrest des LCA-Astes zu identifizieren ist (siehe Abbildung 63, distal des TA-Astes ist ein feiner Gewebefaden zu sehen, der ein Nervenfasernest eines entfernten LCA-Astes darstellen könnte). Im Durchschnitt geht der LCA-Ast ca. 6,3mm kaudal vor Eintreffen des TA-Astes in den TA-Muskel vom N. laryngeus recurrens ab (dieser Durchschnitt wird anhand der Kehlkopfpräparate berechnet, an denen der LCA-Ast deutlich zu identifizieren und von umliegendem Bindegewebe abzugrenzen ist).

12 der 30 Larynxseiten mit LCA-Ast sind männliche Kehlkopfpräparate und ergeben einen durchschnittlichen Abstand des LCA-Astes von ca. 6,8mm vor Eintreffen des TA-Astes in den TA-Muskel. Wohingegen die 17 weiblichen Larynxseiten mit LCA-Ast einen durchschnittlichen Abstand von ca. 5,9mm zeigen (siehe Tabelle 3). In 32 der 36 Larynxseiten trifft die LP-Elektrode auf den TA-Ast (in diesem Fall nur 36 Larynxseiten, da Kehlkopf Nr. 1 & 2 mit Methylenblau präpariert wurden und bei deren 4 Larynxhälften keine LP-Elektrode verwendet wird). Der LCA-Ast wird aufgrund eines anderen Einstichwinkels der Elektrode zum Verlauf des LCA-Astes nur bei 9 der 36 Larynxseiten von der platzierten Elektrode getroffen. Hierbei trifft die Elektrode, welche mit jener Implantationstechnik, die durch den Musculus cricothyroideus, unterhalb des Schildknorpels und posterior des Tuberculum thyroideum inferius erfolgt, jedes Mal auf den LCA-Ast (Kehlköpfe 18-20 – rechte Seite, siehe Material und Methoden Abbildung

80, Abbildung 82, Abbildung 84). Die Elektrode verläuft bei diesen drei Präparaten jeweils senkrecht zu dem LCA-Ast, wie auch dem TA-Ast. Bei den übrigen 27 Kehlkopfseiten erfolgt die Elektrodenplatzierung zu weit ventral und kranial des LCA-Astes.

Tabelle 3 - LCA-Ast Übersicht

LCA-Ast Abstand	Gesamt Larynges (40)	Männliche Larynges (20)	Weibliche Larynges (20)
<i>Anzahl der präparierten LCA-Äste</i>	30	12	18
<i>Abstand des LCA-Astes zur TA-Muskel-Nerv Mündung im Durchschnitt</i>	6,3mm	6,8mm	5,9mm
<i>Treffen der Elektrode auf den TA-Ast</i>	32	13	19
<i>Treffen der Elektrode auf den LCA-Ast</i>	9	5	4

3.2 Versuchsergebnisse in Bezug auf die Versuchsdurchführung

Die Kehlköpfe Nr. 1 & 2 werden mittels Trokar, Kanüle und Methylenblau bearbeitet (siehe Kapitel 2.2.3). An den beiden Seiten des Kehlkopf Nr. 1 wird die Kanüle mit dem Methylenblau jeweils 25mm durch den Schildknorpel eingeführt. Die linke Seite des ersten Kehlkopfpräparates zeigt nach der retrograden Freipräparation des N. laryngeus recurrens, dass sich das angefärbte Gewebe posterior zu dem in den TA-Muskel mündenden TA-Ast befindet (siehe Abbildung 37). Der LCA-Ast kann nicht differenziert präpariert werden und ist aus diesem Grunde auf dieser Kehlkopfseite nicht ersichtlich. An der rechten Seite des ersten Kehlkopfes ist das Methylenblau ebenfalls posterior zum TA-Ast und den LCA-Ästen zu sehen. Ca. 5,7mm bevor der TA-Ast in den TA-Muskel mündet, geht ein Nervenast ab, von dem zwei LCA-Äste zum LCA-Muskel ziehen und parallel mit einem Abstand von ca. 2,1mm in diesen münden (siehe Abbildung 38, aus Übersichtsgründen wird der LCA-Ast vor der Aufteilung in seine zwei parallelaufenden Äste mit einer Pinzette angehoben, um deren Verlauf durch Spannung besser zu demonstrieren).

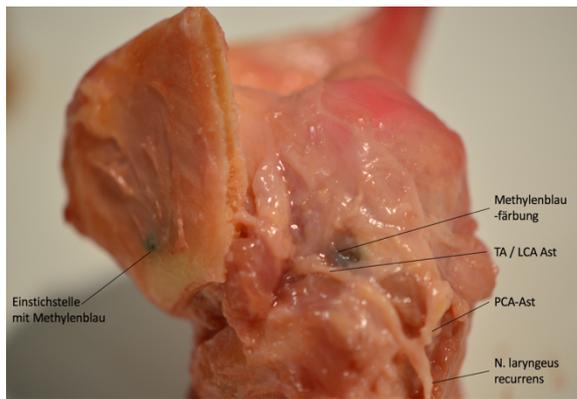


Abbildung 37 - Kehlkopf Nr. 1 (linke Seite)

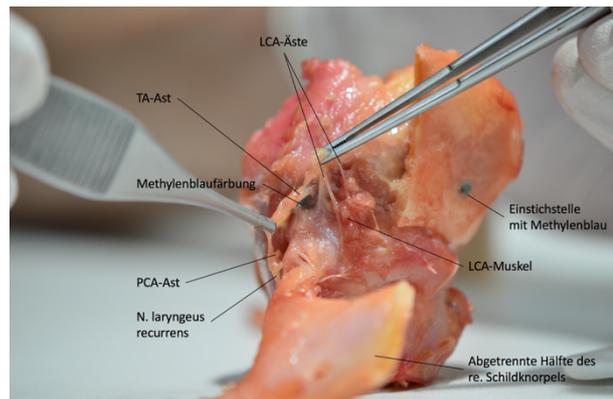


Abbildung 38 - Kehlkopf Nr. 1 (rechte Seite)

Nach Adjustierung der Eindringtiefe bei dem zweiten Kehlkopf (linke Seite erst 20mm) liegt das mit Methylenblau markierte Gewebe weiter kranial und immer noch posterior zum TA-Ast (siehe Abbildung 39). Die linke Seite des zweiten Kehlkopfpräparates zeigt wie der N. laryngeus recurrens in den TA-Muskel zieht. Nicht zu erkennen ist ein LCA-Ast, der zum LCA-Muskel zieht. Dieser könne sich noch in dem Endnervenzweig des N. laryngeus recurrens befinden und wird somit nicht weiter differenziert.

Die Eindringtiefe der Kanüle wird auf der rechten Seite noch einmal um 5mm auf insgesamt 15mm verringert. Hierbei zeigt sich, dass der Methylenblau Farbpunkt an der gewünschten Stelle, auf dem N. laryngeus recurrens Abschnitt, an dem die Äste zum TA- und LCA-Muskel abgehen, liegt (siehe Abbildung 40). Nach der retrograden Freipräparation des N. laryngeus recurrens wird erkennbar, dass die Eindringtiefe 15mm nicht zu überschreiten ist. Eine gewisse Anpassung der Eindringtiefe soll anhand der Kehlkopfgröße erfolgen, jedoch solle die geringer als 15mm sein. Auf der Abbildung sind zwei parallel in den TA-Muskel ziehende TA-Äste zu erkennen, die in ihrem TA-Nerv-Muskelansatz blau gefärbt sind. Ein LCA-Ast kann bei dieser Kehlkopfseite nicht differenziert werden.

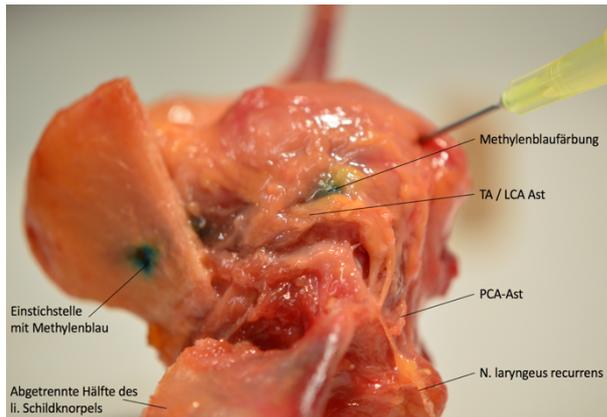


Abbildung 39 - Kehlkopf Nr. 2 (linke Seite)

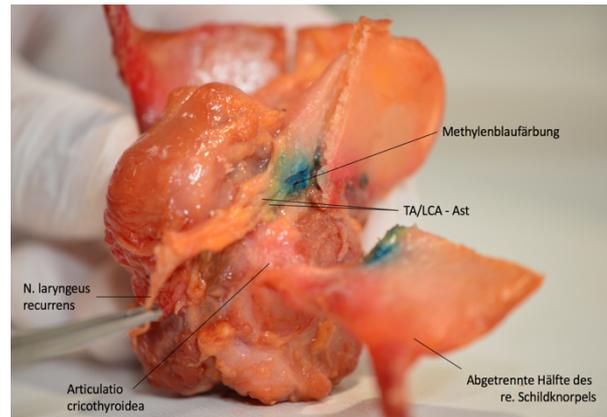


Abbildung 40 - Kehlkopf Nr. 2 (rechte Seite)

Der Kehlkopf Nr. 3 wird als erster Kehlkopf mit dem LP Insertion Tool Straight sowie der LP-Elektrode bearbeitet. Die linke Kehlkopfseite misst nur 25,1 mm, weshalb die Sondeneinführung auf 10mm verringert wird. Trotz der geringen Eindringtiefe der Elektrode ins Gewebe, bzw. in den TA-Muskel, ist zu erkennen, dass eine Variabilität der Sondeneinführung in Bezug auf die Kehlkopfgröße von klinischer Relevanz sein könne. Denn bei der linken Seite des dritten Kehlkopfpräparates (siehe Abbildung 41) mündet die LP-Elektrode mit einer Eindringtiefe von 10mm direkt an dem TA/LCA-Ast des N. laryngeus recurrens (diese Äste werden hier zusammen genannt, da der LCA-Ast nicht ersichtlich von dem RLN abgeht - siehe Abbildung 41).

Die rechte Seite des gleichen Kehlkopfes zeigt eine platzierte Elektrode, die ca. 1,6mm kranial der TA-Ast Mündung in den TA-Muskel zieht (der Einstichwinkel der Elektrode wird aufgrund dessen minimal nach kaudal abgeändert). Ein separater LCA-Ast ist ebenfalls auf dieser Seite des Kehlkopfes nicht vom TA-Ast differenzierbar (siehe Abbildung 42).

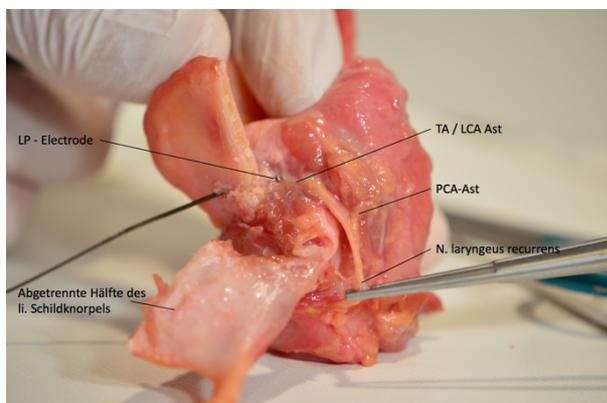


Abbildung 41 - Kehlkopf Nr. 3 (linke Seite)

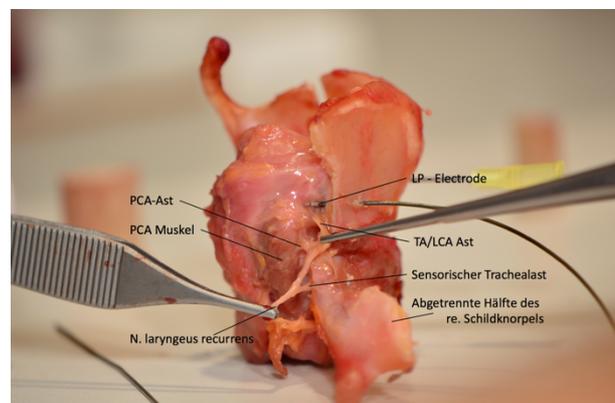


Abbildung 42 - Kehlkopf Nr. 3 (rechte Seite)

Die linke Seite des Kehlkopfes Nr. 4 zeigt, dass der TA-Ast in die Fixationsschraube der Elektrode zieht, bevor er in dem TA-Muskel mündet (siehe Abbildung 43 & Abbildung 44). Der LCA-Ast zweigt ca. 14,7mm, bevor der TA-Ast des N. laryngeus recurrens zum TA-Muskel gelangt, ab und kann deshalb nicht mit der Elektrode erreicht werden (siehe Abbildung 44, zu sehen ist ein unscharfer LCA-Ast, der in den LCA-Muskel zieht).

Die rechte Seite des vierten Kehlkopfes zeigt, dass die LP-Elektrode direkt am Muskelansatz des TA-Astes platziert wird, auch hier ist ein frühzeitiges Abgehen des LCA-Astes bei ca. 7,3mm zu sehen. Der LCA-Ast kann bei dieser Präparatseite nicht vom umliegenden Bindegewebe entfernt werden, ohne eine eventuelle Verletzung des Nervenastes zu vermeiden, aus diesem Grund wird der filigrane LCA-Ast so belassen. Dies führt zu einer erhöhten Schwierigkeit seiner Differenzierung vom umliegenden Bindegewebe, jedoch kommt der LCA-Ast zum Vorschein, wenn der N. laryngeus recurrens mit einer Pinzette angehoben wird und den TA- und LCA-Ast so unter Spannung setzt (siehe Abbildung 45).

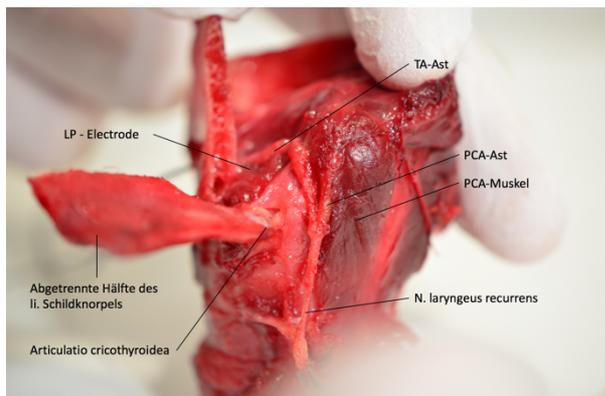


Abbildung 43 - Kehlkopf Nr. 4 (linke Seite) (1)

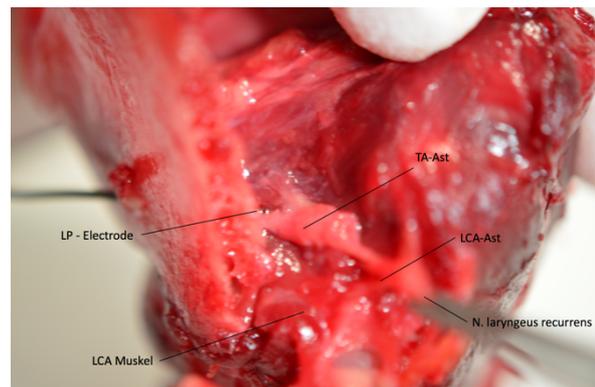


Abbildung 44 - Kehlkopf Nr. 4 (linke Seite) (2)

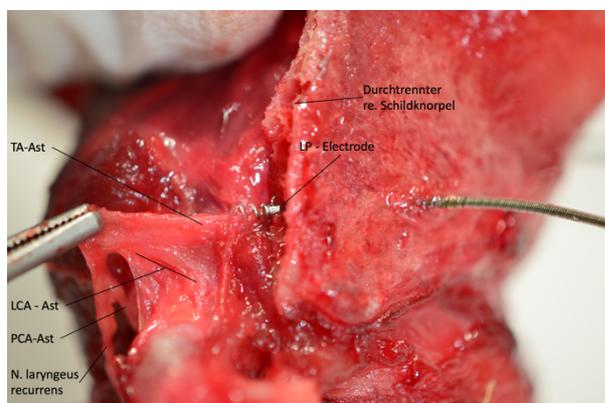


Abbildung 45 - Kehlkopf Nr. 4 (rechte Seite)

Bei der linken Seite des Kehlkopfpräparats Nr. 5 liegt die platzierte Elektrode mit ihrer Fixationsschraube ca. 3,7mm kranial des TA-Astes. Der vom N. laryngeus recurrens abzweigende LCA-Ast befindet sich ca. 5,7mm kaudal der Mündung des TA-Astes in den TA-Muskel (siehe Abbildung 46). Der Gewebsstrang, an dem die Elektrodenschraube platziert ist, kann in diesem Fall ein sensorischer Ast des N. laryngeus recurrens darstellen, oder aber auch ein Bindegewebspräparat sein. Dies kann bei der Präparation dieses Kehlkopfes aufgrund der großen Ähnlichkeit des Aussehens, der Elastizität und des Verlaufes schlecht differenziert werden.

Ebenfalls auf der rechten Seite des fünften Kehlkopfes entspringt der LCA- Ast ca. 5,7mm kaudal der TA-Ast-Mündung in den TA-Muskel. Wie in der Abbildung 47 & Abbildung 48 zu sehen, gibt es bei dieser Seite des Kehlkopfes zwei TA-Äste, die beide in den TA-Muskel und die darin befestigte Elektrode ziehen. Die zwei TA-Äste laufen parallel und sind schon vor dem Überschlagen der Articulatio cricothyroidea voneinander getrennt. Der LCA-Ast entspringt dem weiter lateral verlaufenden Ast des N. laryngeus recurrens (siehe Abbildung 48, aus Übersichtsgründen wird dieser Ast des N. laryngeus recurrens angehoben, um zum einen den Abgang des LCA-Astes zu verdeutlichen und zum anderen zu demonstrieren, dass es sich um zwei TA-Äste handelt). Die LP-Elektrode ist mit ihrer Fixationsschraube in dem umliegenden Gewebe und dem TA-Nerv-Muskelansatz fixiert.

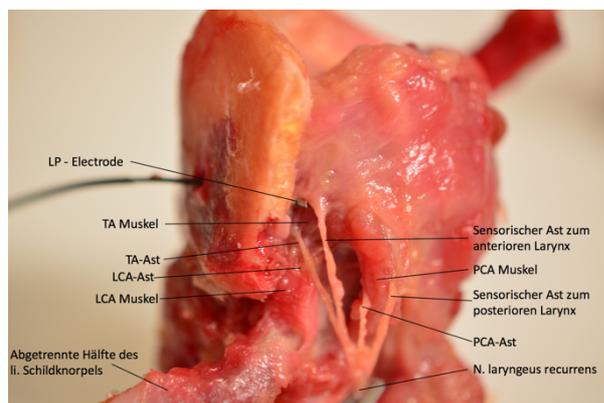


Abbildung 46 - Kehlkopf Nr. 5 (linke Seite)

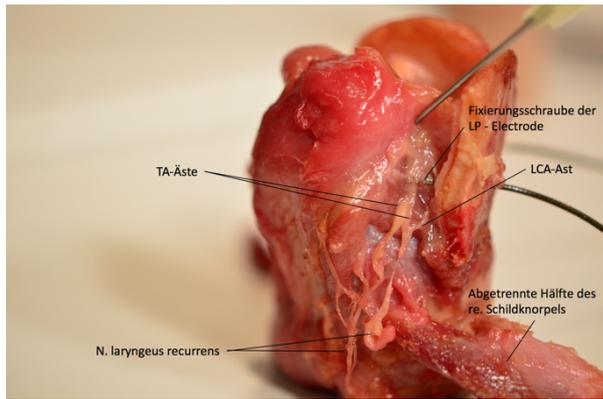


Abbildung 47 - Kehlkopf Nr. 5 (rechte Seite) (1)

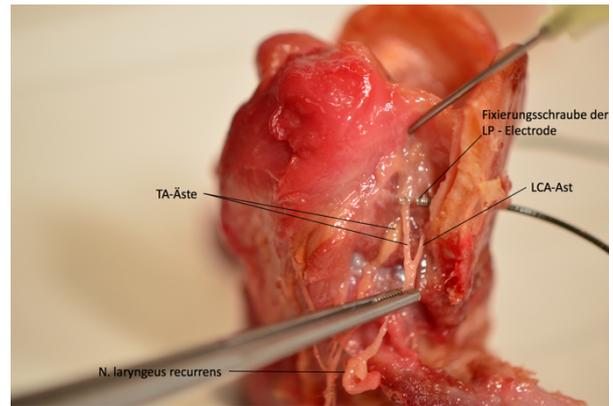


Abbildung 48 - Kehlkopf Nr. 5 (rechte Seite) (2)

Die Elektrodenplatzierung auf der linken Seite des 6. Kehlkopfes befindet sich direkt im TA-Muskel unterhalb bzw. sogar innerhalb der Muskeleinmündung des TA- Astes (siehe Abbildung 50, hier wird der TA-Ast aus Übersichtsgründen angehoben um den Einzug in den TA-Muskel und die Fixierungsschraube der Elektrode besser darzustellen). In der Abbildung 49 ist durch minimalen Zug an dem N. laryngeus recurrens zu sehen, dass der LCA-Ast direkt, auf der Elektrode aufliegend, vom N. laryngeus recurrens abgeht. Der LCA-Ast zweigt ca. 4,2mm vom N. laryngeus recurrens ab, bevor der TA-Ast in dem TA-Muskel mündet.

Der LCA-Ast der rechten Kehlkopfseite dieses Präparates liegt ca. 3,5mm unterhalb des TA-Astes mit seiner Mündung in den TA-Muskel. Die Platzierung der Elektrode befindet sich direkt (ca. 0,5mm Entfernung) am Oberrand des TA-Astes und seiner TA-Muskelmündung.

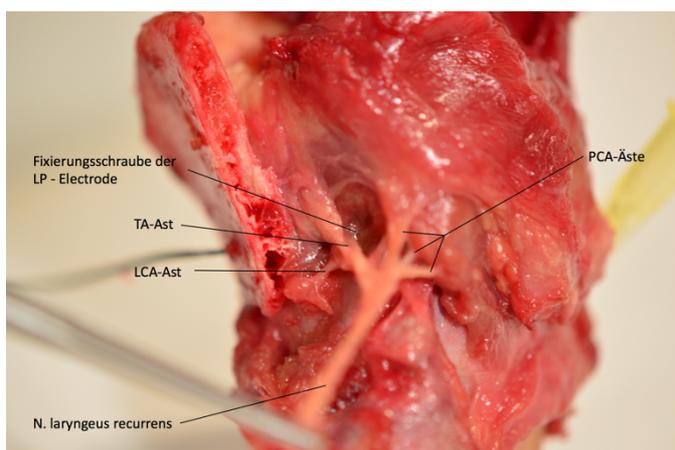


Abbildung 49 - Kehlkopf Nr. 6 (linke Seite) (1)

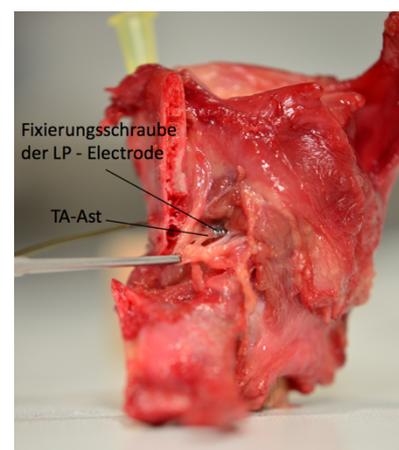


Abbildung 50 - Kehlkopf Nr. 6 (linke Seite) (2)

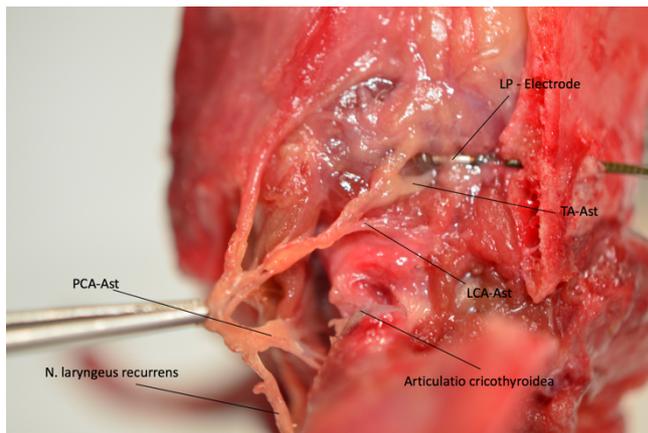


Abbildung 51 - Kehlkopf Nr. 6 (rechte Seite)

An der linken Seite des 7. Kehlkopfpräparates ist zu erkennen, dass die Elektrode zwischen dem TA-Ast und dem LCA-Ast platziert wird. In der Abbildung 52 wird dies durch das Anheben des N. laryngeus recurrens verdeutlicht. Der TA-Ast mündet ca. 1,0mm weiter kranial, wohingegen der LCA-Ast ca. 1,7mm kaudal der Fixationsschraube mündet. Der LCA-Ast zweigt ca. 3,4mm vom N. laryngeus recurrens ab, bevor der TA-Ast in den TA-Muskel mündet.

Die rechte Seite des gleichen Präparates zeigt eine Anomalie. Es scheint dort zwei TA-Äste zu geben, die beide parallel in den TA-Muskel einziehen. Der kraniale TA-Ast mündet ca. 2,1mm oberhalb des Kontaktpunktes der platzierten Elektrode. Von ihm geht der LCA-Ast ca. 5,9mm vor der Mündung in den TA-Muskel ab. Der LCA-Ast überschlägt in seinem Verlauf sowohl den kaudalen TA-Ast, als auch die LP-Elektrode. Wie auch in der Abbildung 53 zu sehen, mündet der kaudale TA-Ast direkt in dem TA-Muskel, nachdem er durch die Fixationsschraube der platzierten Elektrode zieht.

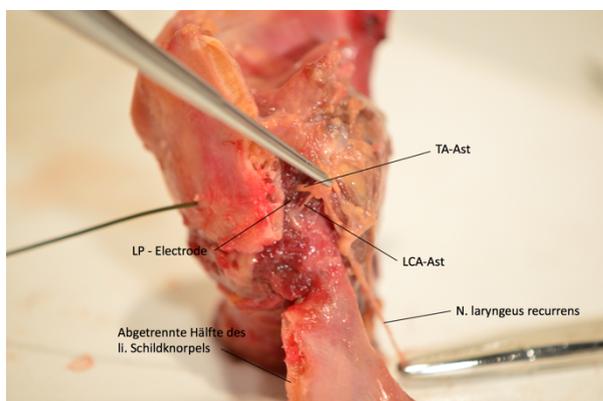


Abbildung 52 - Kehlkopf Nr. 7 (linke Seite)

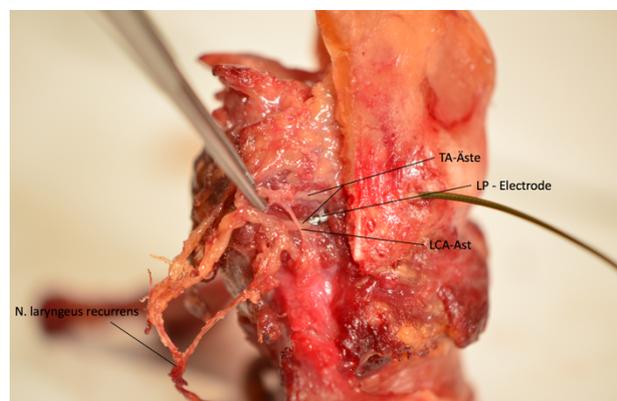


Abbildung 53 - Kehlkopf Nr. 7 (rechte Seite)

Die linke Seite des 8. Kehlkopfpräparates zeigt nach der retrograden Präparation des N. laryngeus recurrens den TA-Ast, der direkt in den TA-Muskel durch die Schraube der LP-Elektrode zieht. Ein einzelner LCA-Ast, der kaudal vom TA-Ast separat abgeht, ist nicht zu erkennen. Neben dem TA-Ast sind zwei PCA-Nervenäste zu sehen, die direkt in den Postikus ziehen (siehe Abbildung 54).

Die rechte Seite des gleichen Kehlkopfes zeigt wiederum eine Anomalie, hier trennt sich der LCA-Ast von dem N. laryngeus recurrens ca. 17,4mm kaudal vor der Einmündung des TA-Astes in den TA-Muskel. Diese Abzweigung des LCA-Astes befindet sich im Vergleich mit den anderen LCA-Ästen der Kehlkopfpräparate um ca. 11,1mm weiter kaudal (der Durchschnitt der LCA-Abstände in dieser Studie liegt bei 6,3mm). In der Abbildung 55 sind zusätzlich zwei LCA-Äste zu erkennen, die parallel in den LCA-Muskel einziehen. Der TA-Ast zieht direkt in die platzierte Schraube der LP-Elektrode.

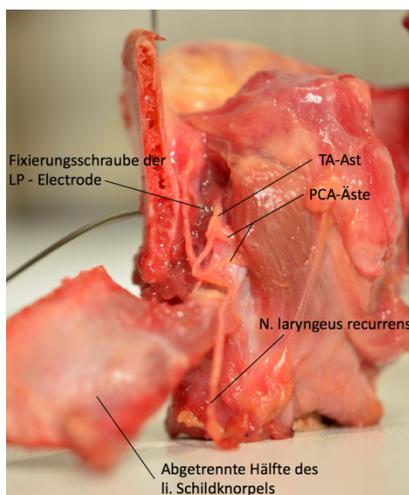


Abbildung 54 - Kehlkopf Nr. 8 (linke Seite)

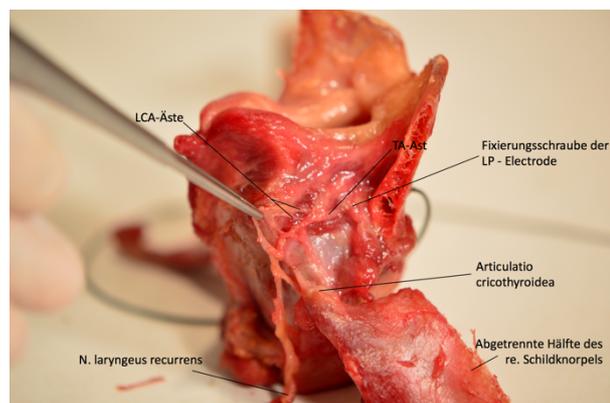


Abbildung 55 - Kehlkopf Nr. 8 (rechte Seite)

Die linke Seite des 9. Kehlkopfpräparates zeigt, wie auch schon der Kehlkopf Nr.7, zwei TA-Nervenäste, die in diesem Fall jedoch hintereinander in den TA-Muskel eintreten. Die Drehschraube der platzierten Elektrode ist zum Teil sowohl im ersten TA-Nervenstrang, als auch in dem darunterliegenden TA-Muskel verankert. Der sehr filigrane LCA-Ast geht von diesem TA-Nervenstrang in diesem Präparat ca. 2,2mm kaudal ab. Der zweite TA-Ast überkreuzt die Elektrode und liegt ihr genau auf dem Kontaktpunkt auf (siehe Abbildung 56).

Auf der rechten Seite desselben Kehlkopfes ist die Elektrode direkt im TA-Muskel am Ansatz des TA-Astes platziert. Der LCA-Ast liegt dem TA-Ast hier sehr eng an und

trennt sich nur ca. 2,1mm vor der Mündung des TA-Astes in den TA-Muskel ab. In der Abbildung 57 ist zu erkennen wie der TA-Ast, an dem die Elektrode mit ihrer Schraube fixiert ist, horizontal weiter in den TA-Muskel zieht. Der LCA-Ast verläuft jedoch leicht diagonal zum LCA-Muskel (ersichtlich durch den mit der Pinzette ausgeübten Zug auf den N. laryngeus recurrens).

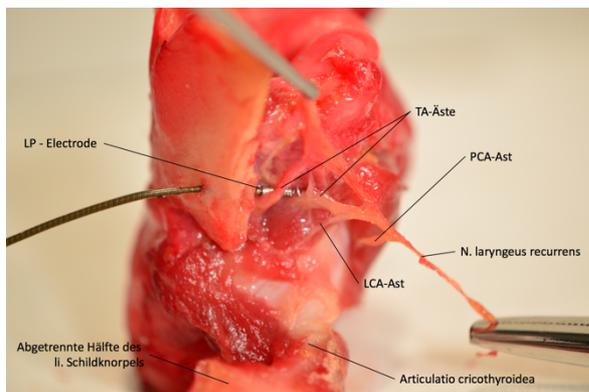


Abbildung 56 - Kehlkopf Nr. 9 (linke Seite)

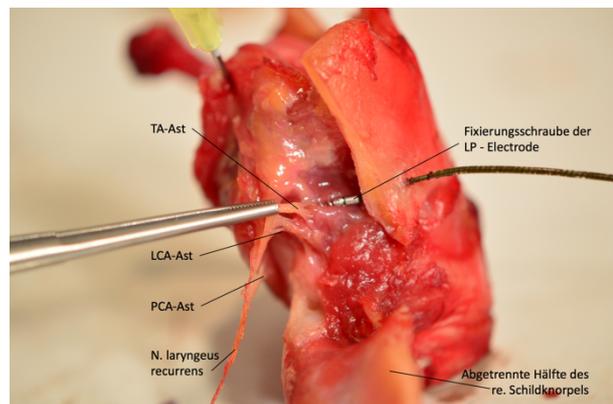


Abbildung 57 - Kehlkopf Nr. 9 (rechte Seite)

Die Platzierung der Elektrode auf der linken Seite des Kehlkopfpräparates Nr. 10 befindet sich direkt im TA-Muskel beim Ansatz des TA-Nervenastes. Der LCA-Ast zweigt ca. 6,5mm kaudal des TA-Astes vom N. laryngeus recurrens ab. Präparationstechnisch wurde der LCA-Ast leicht beschädigt, ist trotzdem in der Abbildung 58 (siehe LCA-Ast-Markierung) noch an einem schmalen Nervenfaden zu erkennen.

Auf der rechten Kehlkopfseite des selbigen Präparates geht der LCA-Ast auf gleicher Höhe wie der TA-Ast vom N. laryngeus recurrens ab. Der LCA-Ast zweigt ca. 6,9mm vor der Mündung des TA-Astes in den TA-Muskel vom N. laryngeus recurrens ab und überschlägt durch seinen ca. 8,7mm langen Verlauf die Fixierungsschraube der platzierten Elektrode (besser zu erkennen in Abbildung 60 als in Abbildung 59, da hier der N. laryngeus recurrens bei dem LCA-Ast-Abgang mit einer Pinzette nach kaudal gezogen wurde). In Abbildung 59 ist zu sehen, dass der Kontaktpunkt der Elektrode ca. 0,7mm kranial des LCA-Nervenansatzes im LCA-Muskel liegt. In Abbildung 60 ist zu erkennen, dass die Schraube der Elektrode genau im TA-Nervenansatz des TA-Muskels befestigt ist.

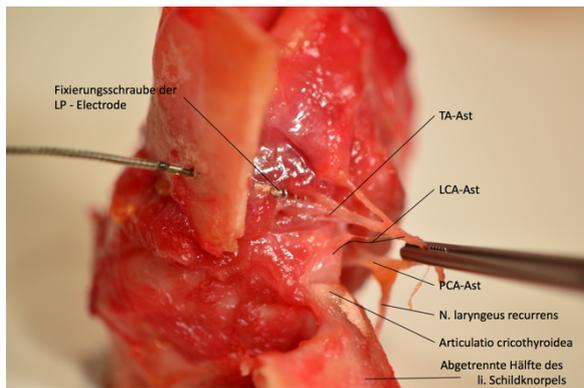


Abbildung 58 - Kehlkopf Nr. 10 (linke Seite)

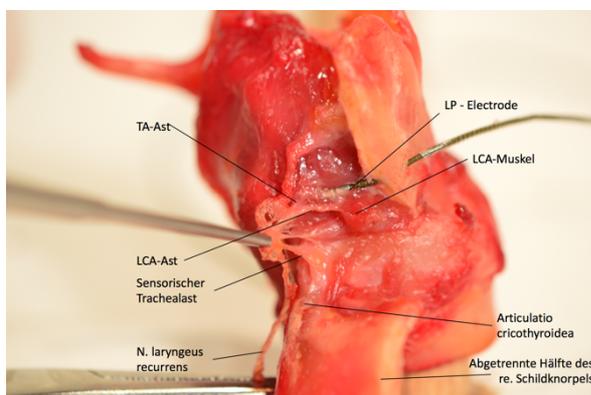


Abbildung 59 - Kehlkopf Nr. 10 (rechte Seite) (1)

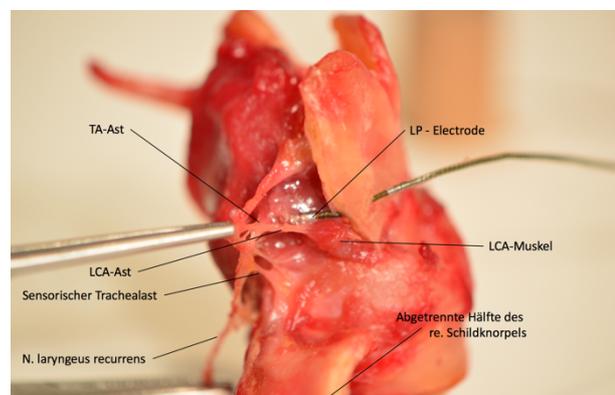


Abbildung 60 - Kehlkopf Nr. 10 (rechte Seite) (2)

Die linke Seite des 11. Kehlkopfpräparates zeigt zwei schmale und enganliegende LCA-Äste, die ca. 4,8mm vom N. laryngeus recurrens abzweigen, bevor sein Endast der TA-Ast in den TA-Muskel mündet (siehe Abbildung 61).

In Abbildung 62 ist durch einen anderen Betrachtungswinkel deutlicher zu sehen, wie einer der zwei LCA-Äste ca. kaudal vom TA-Ast abzweigt (um dies besser darzustellen wurde der N. laryngeus recurrens bei dem TA/LCA-Ast Abgang mit einer Pinzette zur Seite gezogen). Die Fixierungsschraube der LP-Elektrode befindet sich im TA-Muskel direkt im Ansatz des TA-Astes (siehe Abbildung 61 und Abbildung 62). Ca. 4,5mm vor dem Abzweigen der LCA-Äste geht ein weiterer Ast ab, hierbei handelt es sich vermutlich um einen sensorischen Trachealast.

Die rechte Seite des gleichen Kehlkopfes zeigt, wie der TA-Ast direkt in die Fixationsschraube der LP-Elektrode einzieht. Ein LCA-Ast ist nicht zu erkennen. Ein Gewebefaden, der ca. 2,5mm kaudal des TA-Astes parallel zu diesem verläuft, könnte eine präparationstechnisch übergebliebene Nervenfasern des LCA-Astes darstellen (siehe Abbildung 63).

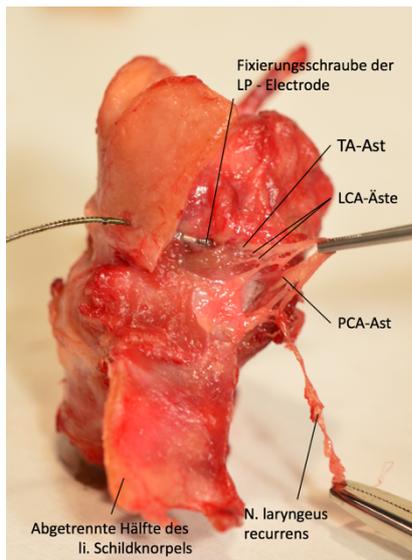


Abbildung 61 - Kehlkopf Nr. 11 (linke Seite) (1)

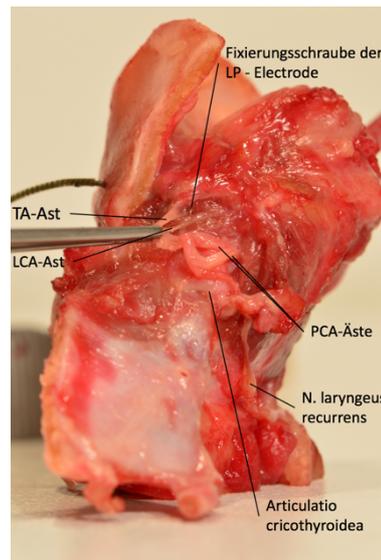


Abbildung 62 - Kehlkopf Nr. 11 (linke Seite) (2)

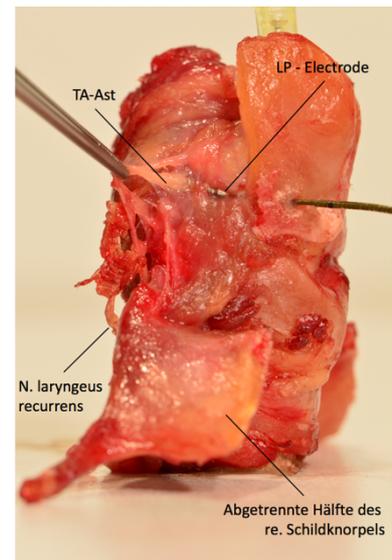


Abbildung 63 - Kehlkopf Nr. 11 (rechte Seite)

An der linken Seite des 12. Kehlkopfpräparats ist zu sehen, wie der TA-Ast direkt durch die Fixationsschraube der Elektrode in den TA-Muskel einzieht. Der in diesem Kehlkopfpräparat sehr filigrane LCA-Ast zweigt ca. 5,0mm vor der TA-Ast-Mündung des TA-Muskels vom N. laryngeus recurrens ab und wird nicht von der LP-Elektrode erreicht (siehe Abbildung 64).

Bei der rechten Seite des gleichen Präparats verläuft der TA-Ast direkt durch die Fixationsschraube in den TA-Muskel. Der Kontaktpunkt der LP-Elektrode liegt direkt unterhalb des TA-Nerven-Muskelansatzes. Der LCA-Ast zweigt ca. 4,9mm vor dem TA-Nerven-Muskelansatz zum LCA-Muskel ab. Weitere ca. 5,1mm vor dem LCA-Ast zweigt ein sensorischer Trachealast vom N. laryngeus recurrens ab (siehe Abbildung 65)

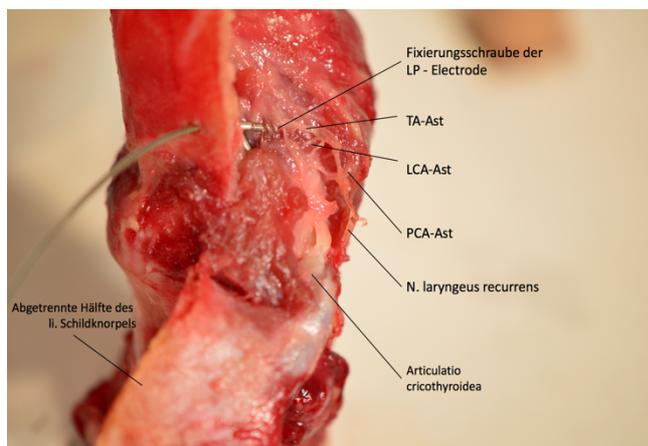


Abbildung 64 - Kehlkopf Nr. 12 (linke Seite)

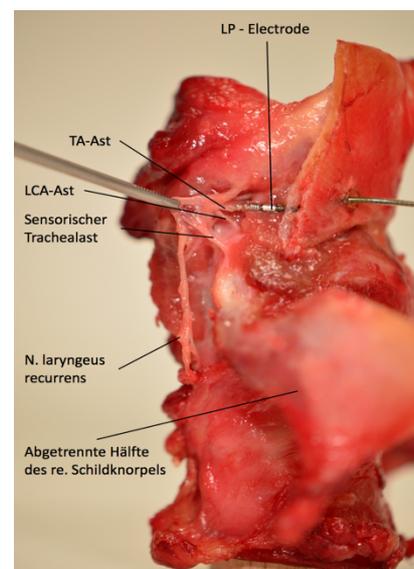


Abbildung 65 - Kehlkopf Nr. 12 (rechte Seite)

Die linke Seite des 13. Kehlkopfpräparates zeigt wie der TA-Ast des N. laryngeus recurrens in den TA-Muskel zieht. Direkt am Nerven-Muskelansatz befindet sich die Fixationsschraube der LP-Elektrode. Der LCA-Ast zweigt ca. 8,1mm vor dem Eintreffen des TA-Astes in den TA-Muskel vom N. laryngeus recurrens ab (siehe Abbildung 66). Weiterhin auf dieser Abbildung zu sehen sind zwei zum Postikus sowie zwei auf Höhe des LCA-Ast-Abgangs nach kranial ziehende sensorische Nervenäste.

Die rechte Seite zeigt einen TA-Ast, der in die Fixierungsschraube der im TA-Muskel platzierten Elektrode einzieht. Der LCA-Ast verläuft in diesem Falle fast parallel zu diesem und trennt sich ca. 4,7mm vom N. laryngeus recurrens, bevor der TA-Ast als Endast in den TA-Muskel einzieht (siehe Abbildung 67).

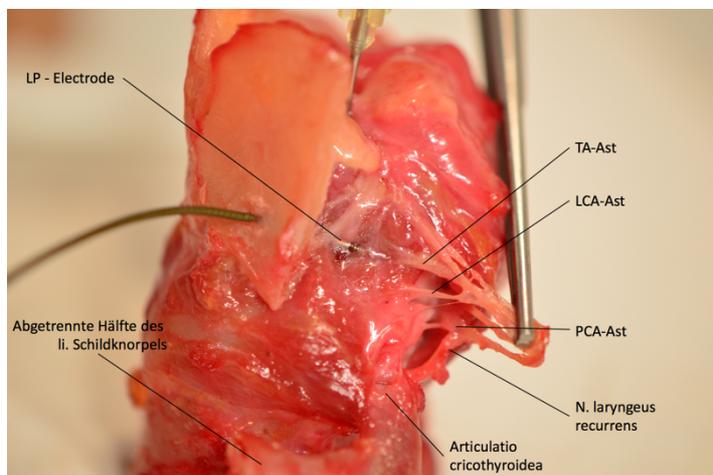


Abbildung 66 - Kehlkopf Nr. 13 (linke Seite)

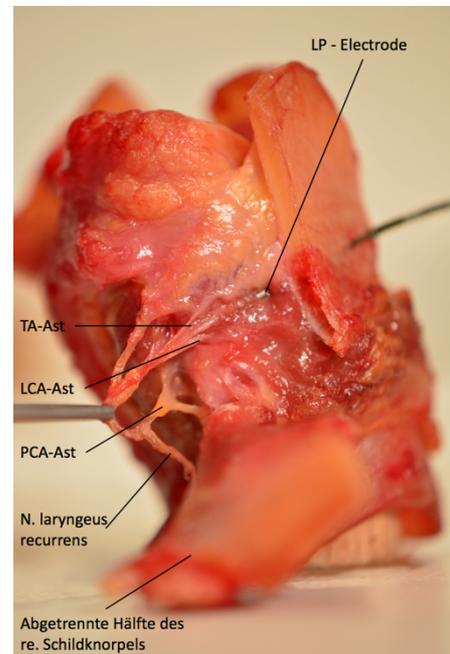


Abbildung 67 - Kehlkopf Nr. 13 (rechte Seite)

Die Kehlkopfpräparate 14 & 15 sind jene Kehlköpfe, welche mit dem LP Insertion Tool Curved bearbeitet werden. Bei diesen Präparaten wird der Einstich des LP Insertion Tools aufgrund der Biegung des Instrumentes um 2,5mm weiter nach lateral versetzt. Diese Abstandsaddition wird gewählt, um ein zu weit proximales Platzieren der Elektrode zu vermeiden und so ein Erreichen der TA- und LCA-Äste sicherzustellen. Bei der linken Seite des 14. Kehlkopfpräparates sind zwei TA-Äste zu sehen, die zum TA-Muskel zusammenziehen und gemeinsam münden. Die Elektrode ist direkt an dem TA-Nerven-Muskelansatz mit der Fixationsschraube fixiert. In der Abbildung 68 ist zu

sehen, dass sich ca. 9,1mm vor dem Eintreffen des TA-Astes ein filigraner LCA-Ast von dem N. laryngeus recurrens trennt und nach kaudal zieht.

Die rechte Seite desselben Kehlkopfpräparates zeigt einen TA- Ast, der direkt in die Fixationsschraube der platzierten Elektrode zieht. Ein LCA-Ast kann in diesem Präparat nicht deutlich identifiziert werden. Auf dieser Seite des Präparates sind drei Nervenäste zu sehen, die zum Postikus hinziehen (siehe Abbildung 69).

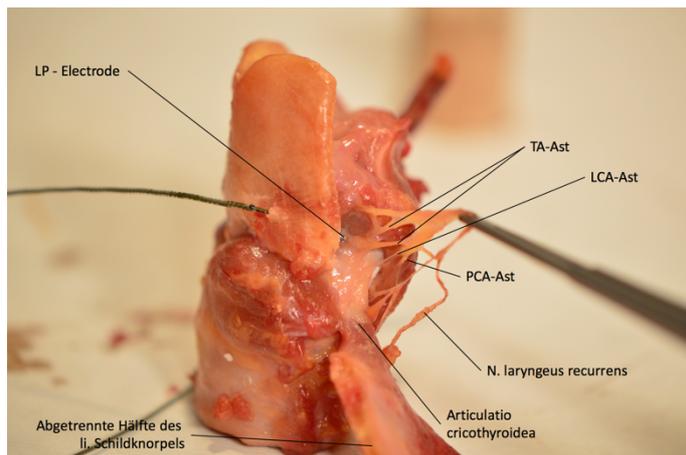


Abbildung 68 - Kehlkopf Nr. 14 (linke Seite)

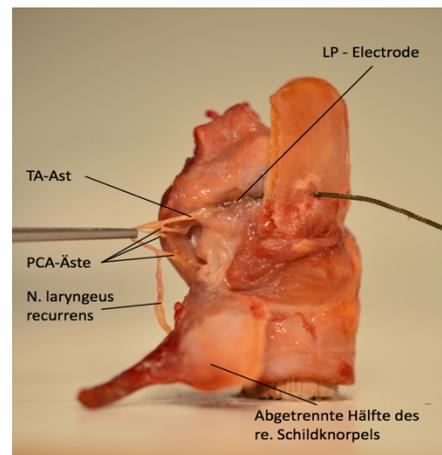


Abbildung 69 - Kehlkopf Nr. 14 (rechte Seite)

Die linke Seite des 15. Kehlkopfpräparats zeigt zwei große und einen kleinen Ast, die zusammen zum Postikus ziehen. Weiter kranial folgt dann der TA-Ast der zum TA-Muskel zieht, indem er direkt durch die Fixationsschraube der LP-Elektrode zieht. Ein LCA-Ast ist hier nicht getrennt zu identifizieren, es ist zu vermuten, dass dieser später vom N. laryngeus recurrens abspreizt, zum LCA-Muskel zieht und in diesem Fall gemeinsam mit dem TA-Ast in der Fixationsschraube mündet (siehe Abbildung 70).

Die rechte Seite des gleichen Präparates zeigt eine Anomalie des N. laryngeus recurrens. Es befinden sich nämlich zwei parallel verlaufende Nervenäste des N. laryngeus recurrens, die an unterschiedlichen Stellen mit ihrem Endast in den TA-Muskel münden. Die platzierte Elektrode liegt mit ihrer Fixationsschraube genau zwischen den beiden TA-Ast-Mündungen (siehe Abbildung 71). Die Fixationsschraube liegt ca. 0,7mm kranial des erstmündenden TA-Ast. Der ca. 4,3mm weiter ventral mündende TA-Ast überkreuzt in seinem Verlauf die Elektrode und ihren Kontaktpunkt. Der ziehende LCA-Ast zum LCA-Muskel geht ca. 3,8mm vor der TA-Nerv-Muskelmündung von dem erstmündenden N. laryngeus recurrens ab (siehe Abbildung 72).

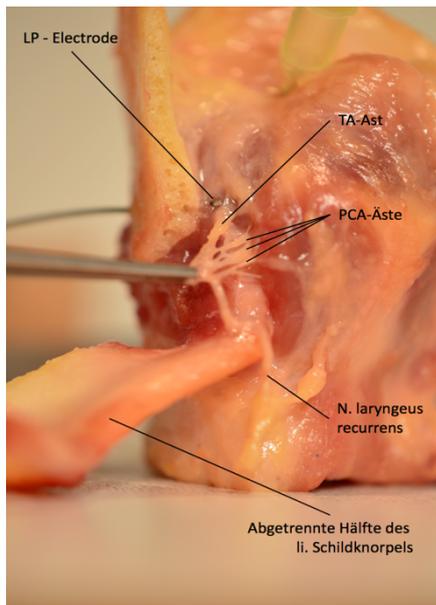


Abbildung 70 - Kehlkopf Nr. 15 (linke Seite)

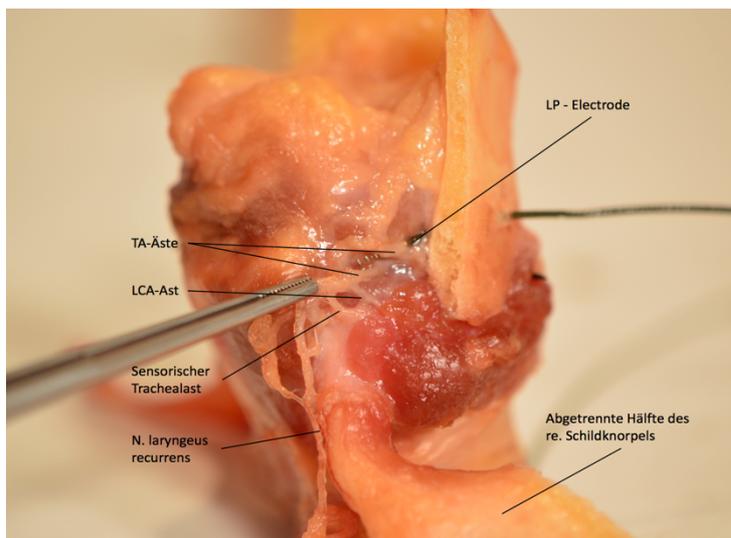


Abbildung 71 - Kehlkopf Nr. 15 (rechte Seite) (1)

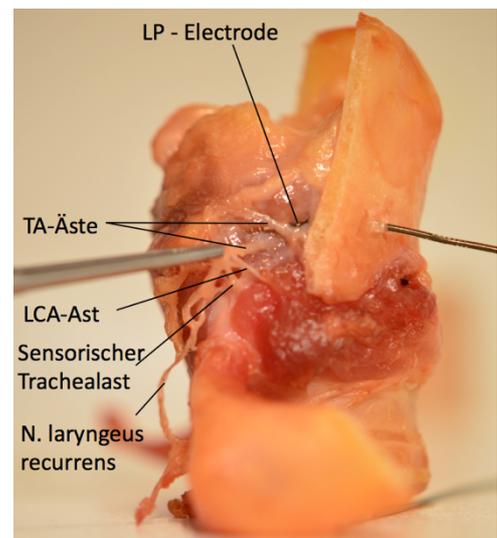


Abbildung 72 - Kehlkopf Nr. 15 (rechte Seite) (2)

Die Kehlkopfpräparate 16 & 17 werden mit dem LP Insertion Tool Straight bearbeitet. Jedoch wird der Schildknorpel nicht mit dem Trokar durchstoßen, sondern die zwei Kehlköpfe beidseits mit einem Bohrer vorgebohrt. Der Bohrerufsatz hat einen Durchmesser von 2mm und somit einen um 0,3mm größeren Umfang im Vergleich zum LP Insertion Tool Straight/Curved. Dies soll eine größere Bewegungsfreiheit bei der Platzierung der Elektrode gewährleisten.

Die linke Seite des 16. Kehlkopfpräparates zeigt wie der TA-Ast direkt zwischen der Fixationsschraube und dem Kontaktpunkt der LP-Elektrode in den TA-Muskel mündet (um dies besser darzustellen wird der Nervenast zwischen dem Abgang des PCA-Astes und der TA-Ast Muskelmündung mittels Pinzette angehoben (siehe Abbildung 73). Der zum Postikus ziehende Ast des N. laryngeus recurrens zweigt ca. 5,3mm vor der Mündung des TA-Astes im TA-Muskel ab. Ein LCA-Ast ist bei diesem Präparat nicht sichtbar. Dieser wurde am ehesten präparationstechnisch versehentlich abgetrennt.

Die rechte Seite des gleichen Präparates zeigt hingegen einen deutlichen LCA-Ast, der in einem Nervengeflecht ca. 3,8mm vor der Mündung der TA-Äste in den TA-Muskel abzweigt. Es zweigen mit dem LCA-Ast auch ein bis zwei sensorische Trachealäste ab, die ca. 3,7mm vor der Mündung des LCA-Astes im LCA-Muskel von diesem abgehen. In Abbildung 74 ist zu sehen, dass es zwei TA-Äste gibt, die hintereinander in den TA-Muskel münden. Der Abstand beider TA-Nerv-Muskel-Mündungen beträgt ca. 4,5mm. Die Fixationsschraube der platzierten Elektrode ist in der ersten TA-Nerv-Muskel-Mündung befestigt. Der Kontaktpunkt der LP-Elektrode befindet sich ca. 0,9mm kaudal der zweiten TA-Nerv-Muskel-Mündung.

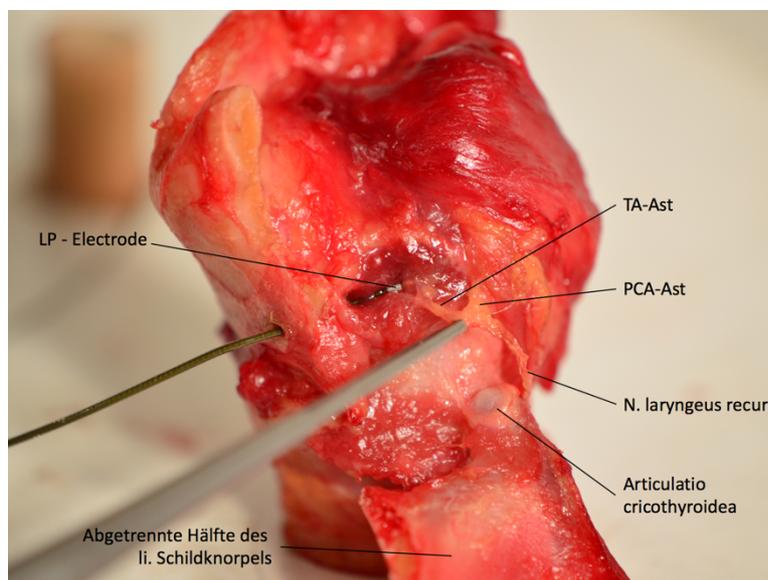


Abbildung 73 - Kehlkopf Nr. 16 (linke Seite)

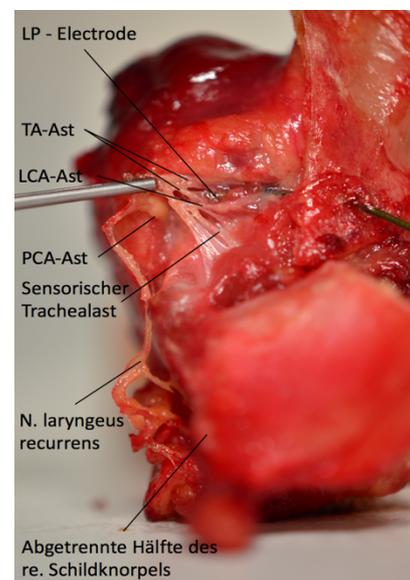


Abbildung 74 - Kehlkopf Nr. 16 (rechte Seite)

Die linke Seite des 17. Kehlkopfpräparates zeigt einen N. laryngeus recurrens, von dem der Nerven-Ast zum Postikus ca. 2,9mm vor der Abzweigung des LCA-Astes abgeht. Der LCA-Ast verlässt den N. laryngeus recurrens ca. 9,4mm vor der Mündung des TA-Astes in den TA-Muskel. Der TA-Ast überkreuzt in seiner TA-Muskelmündung die

Fixationsschraube der LP-Elektrode und zieht direkt kranial des Kontaktpunktes der Elektrode in den TA-Muskel ein (siehe Abbildung 75).

Die rechte Seite des gleichen Kehlkopfpräparates zeigt zwei TA-Äste, die in den TA-Muskel einziehen. Die platzierte Elektrode befindet sich kranial der zwei TA-Äste. Der zuerst mündende TA-Ast liegt ca. 4,1mm kaudal der Fixationsschraube der Elektrode, wohingegen der zweite TA-Ast ca. 3,2mm kaudal des Kontaktpunktes der Elektrode in den TA-Muskel einzieht (siehe Abbildung 76). Auf Abbildung 77 ist zu sehen, dass von dem N. laryngeus recurrens zwei LCA-Äste abgehen und zusammen im LCA-Muskel münden. Der erste LCA-Ast geht ca. 1,8mm vor dem zuerst mündenden TA-Ast ab, wohingegen der zweite LCA-Ast ca. 2,4mm vom zweiten TA-Ast abzweigt.

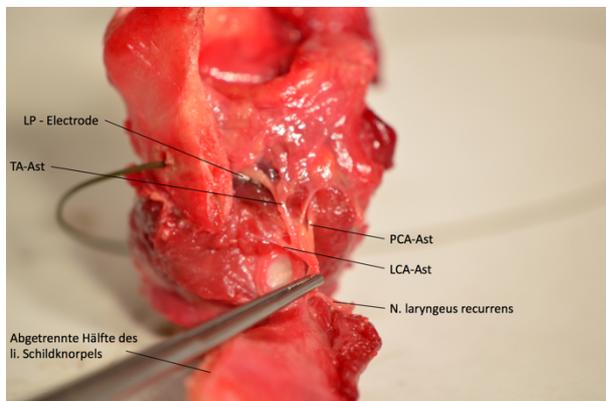


Abbildung 75 - Kehlkopf Nr. 17 (linke Seite)

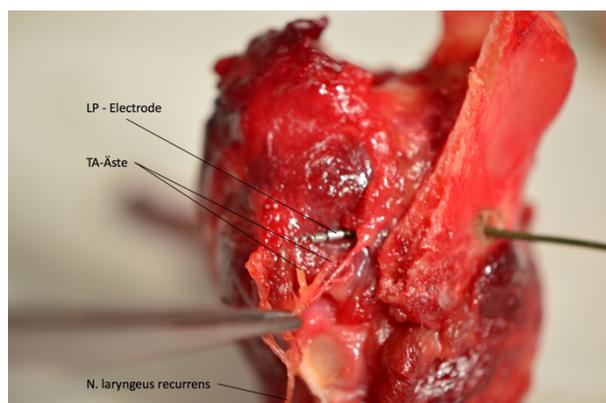


Abbildung 76 - Kehlkopf Nr. 17 (rechte Seite) (1)

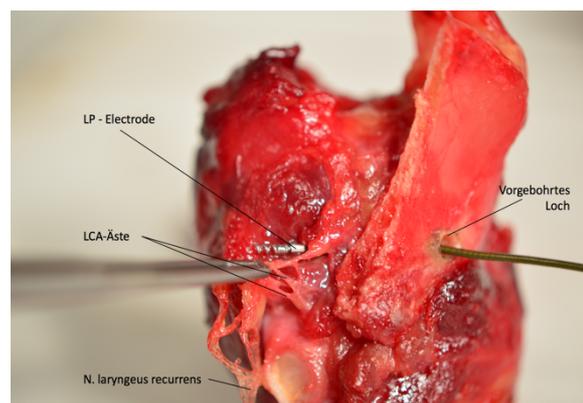


Abbildung 77 - Kehlkopf Nr. 17 (rechte Seite) (2)

Die Elektrodenplatzierung der Kehlkopfpräparate 18-20 erfolgt mit einer anderen Technik. Hier wird die Elektrode nicht durch den Schildknorpel implantiert, sondern unterhalb des Kehlkopfes durch den M. cricothyroideus mittels LP Insertion Tool Straight platziert. Bei der linken Seite dieser drei Kehlkopfpräparate findet die

Platzierung der Elektrode jeweils anterior des Tuberculum thyroideum caudale statt, wohingegen bei der rechten Seite dieser Präparate die Elektrode posterior des Tuberculum thyroideum caudale platziert wird.

Die linke Seite des 18. Kehlkopfpräparates zeigt einen TA-Ast der in seinem Verlauf die Fixationsschraube überkreuzt (siehe Abbildung 78), bevor er im TA-Muskel endet (die Positionierung der Elektrode ist in Abbildung 2 deutlicher zu erkennen). Aus dem N. laryngeus recurrens entspringt ein LCA-Ast, der sich ca. 2,9mm vor der LCA-Nerv-Muskel-Mündung in zwei parallel mündende Äste aufteilt. Der gemeinsame LCA-Ast zweigt vom N. laryngeus recurrens ca. 9,8mm vor der Mündung des TA-Astes in den TA-Muskel ab (siehe Abbildung 79). Die unter dem Schildknorpel platzierte Elektrode liegt mit ihrer Fixationsschraube zwischen den zwei LCA-Ästen und dem TA-Ast (in Abbildung 79 wird der TA-Ast für eine bessere Übersicht mit einer Pinzette angehoben; die Fixationsschraube der Elektrode und die LCA-Äste sind dadurch besser differenzierbar).

Die rechte Seite desselben Kehlkopfpräparates zeigt einen TA-Ast, der ca. 3,8mm, nachdem er die Fixationsschraube der platzierten Elektrode überkreuzt hat, in den TA-Muskel mündet. Die LP-Elektrode liegt, wie in Abbildung 80 sichtbar, zwischen dem LCA- und TA-Nerv-Muskel-Ansatz. Der Kontaktpunkt der Elektrode ist ca. 2,4mm von der Mündung des LCA-Astes im LCA-Muskel entfernt. Der LCA-Ast zweigt vom N. laryngeus recurrens ca. 9,7mm vor dem TA-Nerv-Muskel-Ansatz ab.

Die Elektrode liegt aufgrund der veränderten Platzierungsart in ihrem Verlauf nicht mehr parallel zum TA-Ast (siehe Abbildung 58 - Kehlkopf Nr. 10 (linke Seite), und auch nicht nahezu parallel, wie es die linke Seite dieses Kehlkopfpräparates zeigt (siehe Abbildung 79 - Kehlkopf Nr. 18 (linke Seite) (2), sondern trifft durch den veränderten Einstichwinkel fast senkrecht auf den TA-Ast (siehe Abbildung 80 - Kehlkopf Nr. 18 (rechte Seite)).

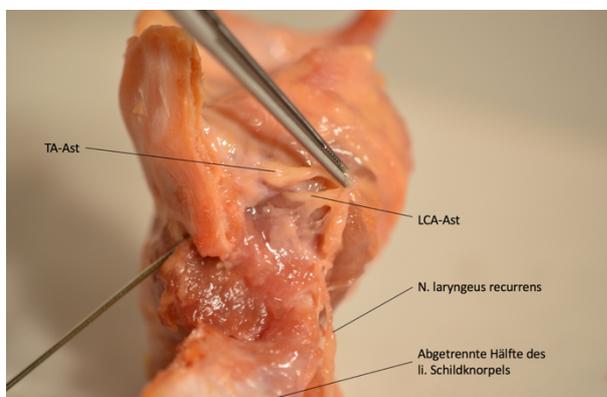


Abbildung 78 - Kehlkopf Nr. 18 (linke Seite) (1)

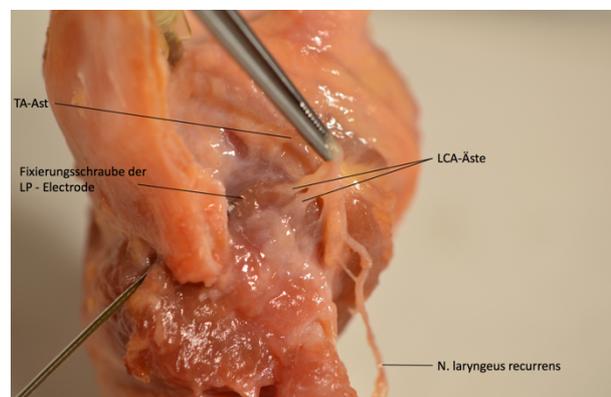


Abbildung 79 - Kehlkopf Nr. 18 (linke Seite) (2)

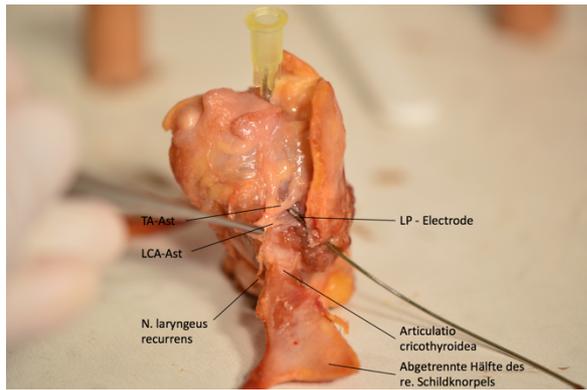


Abbildung 80 - Kehlkopf Nr. 18 (rechte Seite)

Die linke Seite des 19. Kehlkopfpräparates zeigt, wie die LP-Elektrode durch den M. cricothyroideus und unterhalb des Schildknorpels im M. thyroarytenoideus platziert wird. Der TA-Ast des N. laryngeus recurrens mündet direkt in der Fixationsschraube in dem TA-Muskel. Der LCA-Ast zweigt vom N. laryngeus recurrens ca. 5,4mm vor der TA-Nerv-Muskel-Mündung ab und verläuft ca. 4,1mm kaudal der Fixationsschraube der platzierten Elektrode (siehe Abbildung 81, für die Veranschaulichung der sich aufteilenden TA- und LCA-Ast-Abgänge wurde der N. laryngeus recurrens bei deren Abzweigung leicht angehoben).

Die rechte Seite desselben Kehlkopfpräparates zeigt die LP-Elektrode, die posterior des Tuberculum thyroideum caudale den M. cricothyroideus durchsticht (in Abbildung 82 schwer ersichtlich, da der M. cricothyroideus durch die Präparation des N. laryngeus recurrens weitestgehend entfernt ist). Sie ist mit ihrer Fixationsschraube zwischen dem LCA-Ast und dem TA-Ast und beider Nerv-Muskel-Ansätze platziert und steht in unmittelbarem Kontakt mit beiden Nervenästen (TA- und LCA-Ast). Der LCA-Ast zweigt ca. 4,3mm vom N. laryngeus recurrens ab, bevor dieser mit seinem TA-Ast in den TA-Muskel mündet. Auch in diesem Präparat zeigt sich auf der rechten Kehlkopfseite eine platzierte Elektrode, die fast senkrecht auf den TA-Ast trifft (siehe Abbildung 82).

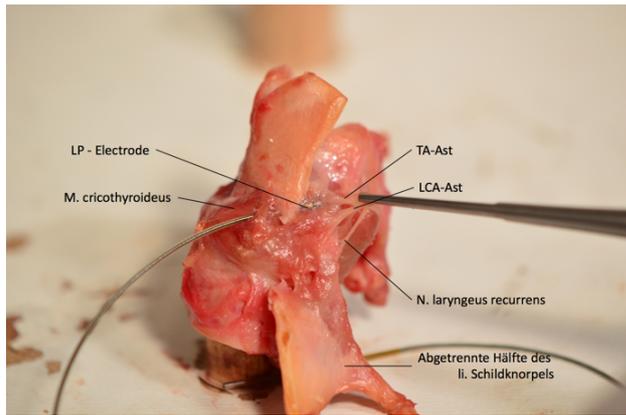


Abbildung 81 - Kehlkopf Nr. 19 (linke Seite)

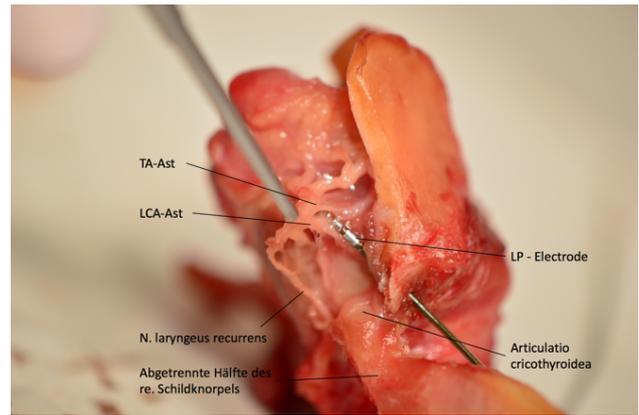


Abbildung 82 - Kehlkopf Nr. 19 (rechte Seite)

Bei der linken Seite des Kehlkopfpräparates Nr. 20 wird die LP-Elektrode ebenfalls durch den M. cricothyroideus, anterior des Tuberculum thyroideum caudale, im TA-Muskel platziert. Diese Seite zeigt einen TA-Ast, der bei seiner Mündung in den TA-Muskel auch gleichzeitig in die Fixationsschraube der LP-Elektrode zieht. Ca. 3,0mm unterhalb der Fixationsschraube mündet der LCA-Ast in den LCA-Muskel. Der LCA-Ast zweigt vom N. laryngeus recurrens ca. 6,5mm ab, bevor dieser mit seinem TA-Ast in den TA-Muskel zieht (siehe Abbildung 83).

Die rechte Seite desselben Kehlkopfpräparates zeigt eine wieder posterior des Tuberculum thyroideum caudale platzierte Elektrode. Diese liegt senkrecht zu dem in den TA-Muskel mündenden TA- Ast. In Abbildung 84 ist zu sehen, wie der TA-Ast durch das untere Drittel der Fixationsschraube und posterior des Kontaktpunktes der Elektrode in den TA-Muskel zieht. Der LCA-Ast trennt sich vom RLN ca. 4,5mm bevor der TA-Ast in den TA-Muskel mündet und zieht direkt in den Bauch des LCA-Muskels. Auf dieser Nerv-Muskel-Mündung liegt der Kontaktpunkt der LP-Elektrode ca. 1,7mm von dem LCA-Ast entfernt. In diesem Präparat verläuft der LCA-Ast mit dem TA-Ast in einem Nervenbündel und ist somit schwieriger zu differenzieren.

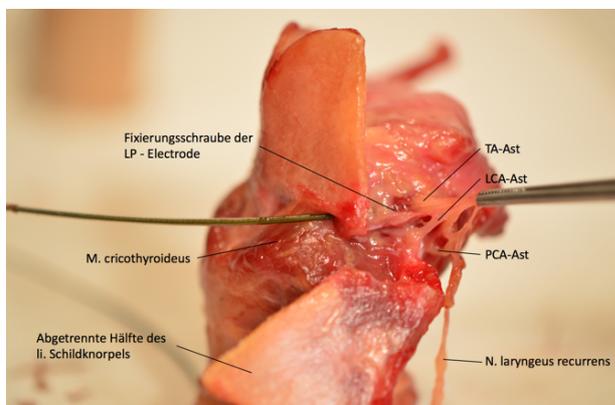


Abbildung 83 - Kehlkopf Nr. 20 (linke Seite)

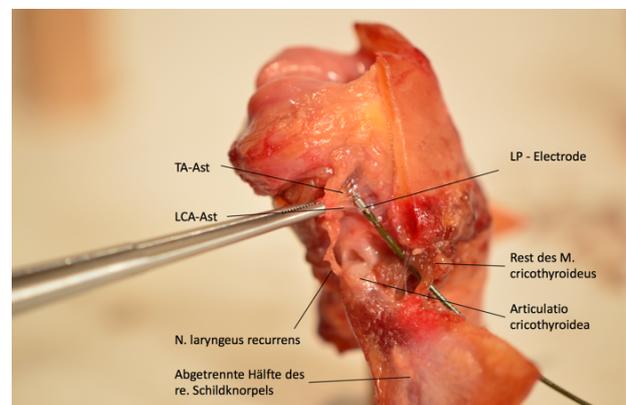


Abbildung 84 - Kehlkopf Nr. 20 (rechte Seite)

Zusammenfassend findet sich, aufgrund der ähnlichen LCA-Ast Verläufe (von dem N. laryngeus recurrens, diagonal nach kaudal in den LCA-Muskel ziehend), die höchste Trefferquote der LP-Elektrode zum LCA-Ast und TA-Ast in den Kehlkopfpräparaten 18-20 auf der rechten Seite. Hier wird die Elektrode zwischen Tuberculum thyroideum caudale und Cornu inferius durch den M. cricothyroideus in Richtung Articulatio cricothyroidea platziert. Aufgrund eines senkrechten Verlaufs der Elektrode zu den vom N. laryngeus recurrens abgehenden Endästen (TA- und LCA-Ast) ist der Kontakt zwischen der LP-Elektrode und diesen Endästen bei dieser Platzierungsmethode am ehesten gegeben.

4 DISKUSSION

Einseitige Stimmlippenpareesen kommen in 50% der Fälle durch chirurgische Eingriffe und Intubationen zustande (84). Ebenfalls von Bedeutung sind mit 18% die idiopathischen Paresen sowie mit 13% die extralaryngealen malignen Nachbarschaftstumore (84). Die einseitigen Recurrensparesen zeigen sich klinisch primär durch eine heisere und verhauchte Stimme. Durch die unvollständige Adduktion der Stimmlippen ist ein konstanter restlicher Glottisspalt gegeben. Dieser ruft einen irregulären Luftverlust hervor, was zu unkoordinierten Schwingungen der Stimmlippen führt und die Phonation somit massiv beeinflusst (21). Laryngoskopisch kann die Recurrensparese bei Stillstand oder deutlicher Minderbeweglichkeit der Stimmlippen diagnostiziert werden (Einleitung Abbildung 9).

Es wird bei den verschiedenen therapeutischen Ansätzen zwischen nicht-invasiven und invasiven Eingriffen unterschieden. Der erste Schritt ist in der Regel die logopädische Behandlung. Kommt es trotz einer logopädischen Therapie nicht zur ausreichenden Besserung, gibt es verschiedene chirurgische Ansätze, die eine Stimmlippenmedialisierung ermöglichen. Eine Stimmlippenaugmentation kann entweder mikrolaryngoskopisch oder unter flexibel endoskopischer Sicht transoral oder perkutan erfolgen. Die verschiedenen Substanzen für die Stimmlippenaugmentation unterscheiden sich unter anderem in der Viskosität, Härte sowie in der Resorbierbarkeit. Besteht die Chance auf eine spontane Erholung der Stimmlippenparese, wird bei der Wahl des Fillers zu resorbierbaren Substanzen tendiert (5). Eine weitere Möglichkeit der Stimmlippenmedialisierung bietet die Thyreoplastik. Hier wird für eine permanente Medialisierung die Stimmlippe mittels Fenster im Schildknorpel durch ein Implantat zur Mitte gedrückt. Bei sehr weit lateralisierten Aryknorpeln kann zusätzlich zu der Thyreoplastik eine Arytänoidadduktion durchgeführt werden. Neben den statischen Therapieansätzen der einseitigen Recurrensparese gibt es auch dynamische Therapieansätze. Eine Möglichkeit stellt sowohl die Ansa-Recurrens-Anastomose, als auch ein Nerv-Muskel-Transponat dar, bei dem die Verbindung zwischen dem Ansa-Ast zum M. sternohyoideus mit Muskelinseln in die Adduktorenmuskulatur durch ein Schildknorpelfenster operativ hergestellt wird (87).

Die Mehrzahl der sich nicht erholenden Recurrensparesen mündet in eine synkinetische Reinnervation der Abduktor- und Adduktormuskeln. Hierbei werden die Muskeln von einem „falschen“ Axon innerviert (5, 87). Heutzutage ist bekannt, dass die pathologische synkinetische Reinnervationsform bei iatrogenen Recurrensparesen nach chirurgischen Eingriffen im Vergleich zur kompletten Denervierung am häufigsten auftritt (91, 92). Die synkinetische Reinnervation mittels Larynxelektromyographie dient nicht nur der Prognoseabschätzung der ESP und BSP, sondern auch der möglichen Elektrostimulation (84, 92, 93). Diese Dissertation knüpft bei den Synkinesien an, die in 80% aller paretischen Stimmlippen vorhanden und aktiv sind (91). Dies hat den Vorteil, dass neuromuskuläre Einheiten zwischen den Endästen des N. laryngeus recurrens und den Adduktorenmuskeln (TA und LCA) wiederhergestellt werden. Bei der BSP liegt der Fokus auf der Wiederherstellung der neuromuskulären Einheiten zwischen den Endästen des N. laryngeus recurrens und dem PCA (87). Hierbei erfolgt die Aktivierung des PCA zur Glottisöffnung bei Inspiration durch eine Reizung der PCA-Nervenäste mit Hilfe kleinster elektrischer Impulse. Die funktionelle Elektrostimulation (FES) ist bereits bei Herzschrittmachern und z.B. dem Hypoglossusschrittmacher für die Therapie des Obstruktiven Schlafapnoe Syndroms (OSAS) gut etabliert (86, 94). Verschiedene klinische Studien wurden durchgeführt um zu evaluieren, wie gut die FES den paralysierten PCA bei Patienten mit einer BSP direkt stimulieren kann (86, 95). Diese selektive Neurostimulation durch den Kehlkopfschrittmacher (LP-System, Fa. Med-EL, Innsbruck, Österreich) zeigt eine Verbesserung der Atemfunktion vergleichbar mit der laserchirurgischen Glottiserweiterung. Die prätherapeutische Stimm- und Schluckfunktion blieb ebenfalls erhalten. Jedoch befindet sich dieser dynamische Therapieansatz bislang noch im Stadium klinischer Studien (86-88). Auch zu transdermalen Elektrostimulationen der Stimmlippenschließer bei einseitigen Recurrensparesen gibt es bereits Studien, die den positiven Einfluss von Elektrostimulation auf Dysphonie aufgrund einer einseitigen Recurrensparese belegen (92, 96).

4.1 Diskussion der Methodik und der Ergebnisse

Für die Elektrodenimplantation der humanen Kehlköpfe wird in dieser Studie in Kooperation mit MED-EL Anteile des LP (Laryngeal Pacemaker) Systems (LP Insertion Tool Straight/Curved, LP-Elektrode) benutzt. Das LP System wurde initial für den PCA-Kehlkopfschrittmacher bei der BSP entwickelt.

Die ersten zwei Kehlköpfe werden mit dem LP Insertion Tool und Methylenblau, jedoch ohne Elektrodenmaterial (LP-Elektrode) präpariert. Dies dient in erster Linie der Analyse, des an die Thyreoplastik angelehnten Implantationswegs der Elektrode zu den gesuchten Nervenästen (TA- und LCA-Ast). Die in den vier Kehlkopfseiten zu weit posterior gelegenen Blaufärbungen des Weichteilgewebes geben Aufschluss über die notwendige Eindringtiefe des LP Insertion Tools für die späteren Elektrodenplatzierungen. Somit wird die Eindringtiefe der Kanüle bei den beiden Kehlkopfseiten des zweiten Kehlkopfpräparates jeweils um 5mm verringert, von ursprünglich 25mm (1. Kehlkopf li. & re.) auf 20mm (2. Kehlkopf li.). Trotz Reduktion der Eindringtiefe liegt die Methylenblaufärbung (2. Kehlkopf li.) zu weit posterior, so dass die Eindringtiefe um weitere 5mm auf 15mm (2. Kehlkopf re.) reduziert wird. In der Folge ist zu erkennen (2. Kehlkopf re.), dass die Blaufärbung genau auf der Höhe der Endäste des N. laryngeus recurrens platziert ist (Abbildung 4). Mit dieser Methode und der erprobten Eindringtiefe wird an den Kehlköpfen 3-13 die Elektrode ebenfalls durch den Schildknorpel implantiert. Dieser Implantationsweg zeigt im Verlauf Vor- und Nachteile. Aufgrund der Larynx-Landmarks kann die Elektrode in den Kehlköpfen 3-13 ohne Verletzung der Stimmlippen und umliegenden Strukturen sicher implantiert werden. Im Falle der zukünftigen Verwendung der hier dargestellten Methode, werden diese Landmarks während der Elektrodenplatzierung nicht zu sehen sein, da der Kehlkopf bei der Elektrodenplatzierung nicht komplett freipräpariert wird. Hier knüpft die Überlegung an, den Kehlkopf präoperativ mittels MRT auszumessen und anhand der Landmarks die Implantationsposition festzulegen. In diesen 11 präparierten Kehlköpfen und ihren 22 Kehlkopfseiten (Nr. 3-13) endet die implantierte Elektrode in 19 Fällen direkt an dem TA-Ast und in vier Fällen zusätzlich an dem LCA-Ast. Die Treffgenauigkeit der Elektrode zum TA-Ast ist mit dem Implantationswinkel und dem TA-Nerv-Verlauf zu erklären. Die LP-Elektrode funktioniert in diesem Fall mit dem Implantationswinkel als eine Verlängerung des TA-Nervenastes und steuert im gleichen

Winkel direkt auf diesen zu. Der Kontakt zum LCA-Ast bei nur vier Kehlkopfseiten liegt bei den restlichen Kehlkopfseiten entweder an einer zu weit kaudal oder einer zu weit anterior gelegenen Abzweigung.

Die relevanten Grenzen für den gewünschten Implantationsbereich sind aufgrund der Thyreoplastik bekannt. Der Einstichwinkel des Trokars verläuft parallel zu den Stimmlippen und direkt auf den TA-Muskel zu. Hierdurch beinhaltet der Winkel eine leichte Schräge zum Kehlkopf, so dass der Trokar einen möglichst langen Weg durch den Schildknorpel hinterlegt.

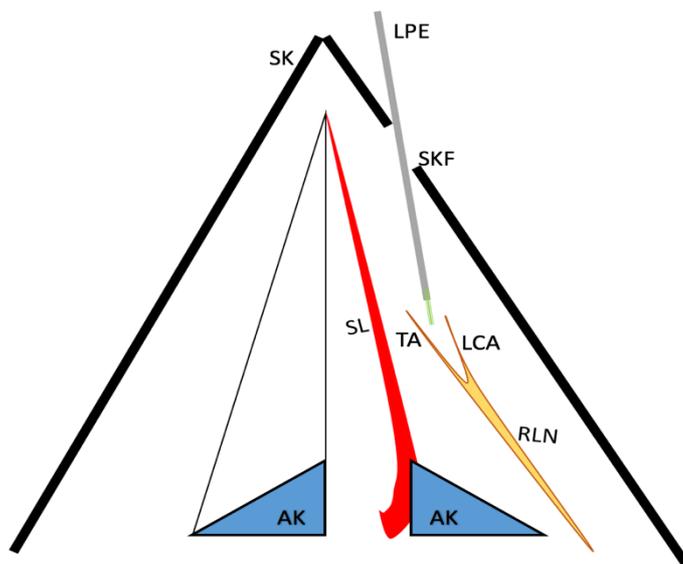


Abbildung 85 - Schema der Elektrodenplatzierung der Kehlköpfe 3-13 - Larynx ist im Horizontalschnitt

Dargestellt ist ein Schema eines Horizontalschnittes durch den Larynx auf Höhe der Stimmlippen (SL). Die LP-Elektrode (LPE) wird durch den Schildknorpel (SK) zwischen dem TA-Ast (TA) und dem LCA-Ast (LCA) des Nervus laryngeus recurrens (RLN) platziert um die Stimmlippen-Adduktoren zu stimulieren und zu einer medialisierenden Kontraktion der gelähmten rechten Stimmlippe zu führen und somit einen kompletten Glottisschluss zu erlangen. AK = Aryknorpel

Der Vorteil dieses Implantationsweges ist die Option einer Befestigung der Elektrode im Schildknorpel, sei es durch einen Gummiüberzug oder durch einen biologischen Kleber. Nachteil dieses Implantationsweges ist die Einschränkung der Platzierungsmöglichkeiten, da der Trokar aufgrund des minimalen Einstichloches durch den Schildknorpel nicht frei beweglich ist. Die Elektrode wird somit in dem Einstichwinkel des Trokars platziert.

Das LP Insertion Tool Curved wird bei den Kehlköpfen Nr. 14 und 15 beidseits angewendet um Vorteile gegenüber dem LP Insertion Tool Straight zu eruieren. Der Einstich durch den Schildknorpel wird aufgrund der Krümmung des Trokars um 2,5mm weiter posterior gesetzt, damit die TA- und LCA-Nervenäste mit dem LP Insertion Tool Curved erreicht werden (Tabelle 2). Der Trokar sticht aufgrund seiner Krümmung quasi senkrecht durch den Schildknorpel, im Gegensatz zu dem LP Insertion Tool Straight, welches tangential durch den Schildknorpel gestochen wird.

In den Abbildungen der vier präparierten Kehlkopfseiten (Nr. 14 und 15) ist zu sehen, dass auch hier die Elektrode in einem vergleichbaren Winkel auf die TA- und LCA-Nervenäste stößt, wie auch in den Kehlkopfpräparationen Nr. 3-13 mit dem LP Insertion Tool Straight. Demnach stimmen Vorteile und Nachteile dieser Elektrodenplatzierung zum größten Teil mit denen der Elektrodenplatzierung der Kehlköpfe Nr. 3-13 überein.

Die Kehlköpfe Nr. 16 und 17 dienen dem Versuch der Bewegungseinschränkung durch die Elektrodenplatzierung mittels LP Insertion Tool Straight entgegenzuwirken. Sie sollten die Schwierigkeiten der Trokarplatzierung durch den Schildknorpel reduzieren und zusätzlich eine notwendige Winkelveränderung des LP Insertion Tool Straight ermöglichen. Dafür wurde mittels Diamantbohrer ein Loch durch den Schildknorpel vorgebohrt. Der 0,2mm größere Durchmesser des Bohrers (im Vergleich zu dem LP Insertion Tool Straight mit $\varnothing 1,7\text{mm}$) schwankt in der Realität mit einem Durchmesser der ca. zwischen 0,1mm und 0,3mm größer ist als der Durchmesser des Bohraufsatzes. Somit liegt der Durchmesser des Loches im Schildknorpel zwischen 2,0mm und 2,2mm. Die Überlegung für diese Versuchsabwandlung ist im Verlauf der vorigen Präparationen entstanden, da durch das Einführen des Trokars durch den Schildknorpel in einem schrägen, dem Verlauf der Stimmlippen angepassten, Winkel eine geringe Bewegungsfreiheit besteht. Der RLN-Ast könne nun mittels Neuromonitoringfähigkeit des Trokars und vor allem größerer Bewegungsfreiheit für die Elektrodenplatzierung vereinfacht gesucht werden.

Die Kehlköpfe Nr. 18-20 dienen der Erforschung zweier weiterer Präparationswege. Hier wird statt der Elektrodenplatzierung durch den Schildknorpel, diese nun unterhalb des Schildknorpels und durch den Musculus cricothyroideus durchgeführt. Dies geschieht, um zu sehen, ob der veränderte Implantationswinkel und die weiter latero-

kaudal gelegenen Einstichstellen Vorteile mit sich bringen, bzw. die Platzierung der Elektrode durch den M. cricothyroideus noch erfolgsversprechender ist.

Die beiden Kehlkopfseiten werden jeweils unterschiedlich bearbeitet. Hierfür wird die Elektrode auf der jeweiligen linken Kehlkopfseite vor dem Tuberculum thyroideum caudale durch die Pars recta des M. cricothyroideus platziert (Abbildung 30). Der Implantationswinkel für die linken Seiten weicht nur leicht von dem Implantationswinkel der vorigen Kehlkopfpräparationen ab (Kehlköpfe Nr. 1-17). Die Elektrode kommt bei den 3 linken Kehlkopfseiten vergleichbar mit den vorigen Präparaten an dem TA-Ast, bzw. zwischen dem TA- und LCA-Ast zum Liegen. Vorteil dieses Präparationsweges ist die Bewegungsfreiheit der Elektrodenplatzierung, da hier keine Bewegungseinschränkung aufgrund des starren Schildknorpels gegeben ist. Dennoch ist hier keine Elektrodenplatzierung des TA-Astes zusammen mit dem LCA-Ast gegeben, da diese sich wie auch schon in den vorherigen Kehlkopfpräparaten aufteilen und der LCA-Ast vom N. laryngeus recurrens nach kaudal weiterverläuft, wohingegen der TA-Ast weiter horizontal in den TA-Muskel zieht.

Bei den rechten Seiten der Kehlkopfpräparate Nr. 18-20 werden hingegen die Elektroden hinter dem Tuberculum thyroideum caudale durch die Pars obliqua des M. cricothyroideus implantiert (Abbildung 30). Die platzierte Elektrode trifft hier senkrecht auf die beiden Nervenäste der Stimmlippenadduktoren (TA-&LCA-Ast). Aufgrund der TA- und LCA-Ast Abzweigung und ihren Nervenverläufen ist diese Elektrodenplatzierungsmethode von Vorteil, da durch ein senkrechtetes Auftreffen der Elektrode auf diese zwei Nervenäste eine sehr viel höhere Wahrscheinlichkeit der Stimulierung beider Nervenäste gegeben ist.

Werden jetzt die verschiedenen Implantationswege miteinander verglichen, ist zu sehen, dass der TA-Ast im Durchschnitt in 89% der Fälle von der Elektrode erreicht wird (siehe Tabelle 4). Wenn es hier nur um eine Elektrodenplatzierung des TA-Astes gehen würde, wäre es schwierig den optimalen Weg der Platzierung zu wählen, da die fünf Elektrodenplatzierungsvarianten eine sehr hohe TA-Ast Trefferquote besitzen. Der LCA-Ast hingegen wird nur selten von der Elektrode getroffen. Der Implantationsweg des LP Insertion Tool Straight unterhalb des Schildknorpels und durch den M. cricothyroideus, posterior des Tuberculum thyroideum caudale zeigt, dass hier eine hohe Trefferquote des LCA-Astes vorliegt.

Der dynamische Therapieansatz der selektiven Neurostimulation bei einseitiger Recurrensparese sieht die Stimulation beider RLN-Äste (TA- und LCA-Ast) vor. Durch das senkrechte Einstechen des Trokars zum Nervenverlauf des RLN ist die Wahrscheinlichkeit einer Elektrodenplatzierung an dem TA- sowie LCA-Ast erhöht. Schwierigkeit dieser Implantationsvariante wäre eine stabile Fixierung der LP-Elektrode. Eine Fixation ausschließlich in dem TA-Muskel kann Instabilität zur Folge haben.

Tabelle 4 - Tabelle der Elektrodenplatzierungsvariationen und ihre Nervenastmündungen

Elektrodenplatzierungen	TA-Ast Mündung	LCA-Ast Mündung
<i>LP Insertion Tool Straight (Schildknorpel)</i>	19/22 Larynxseiten	4/22 Larynxseiten
<i>LP Insertion Tool Straight & Bohrer (Schildknorpel)</i>	3/4 Larynxseiten	1/4 Larynxseiten
<i>LP Insertion Tool Curved</i>	4/4 Larynxseiten	1/4 Larynxseiten
<i>LP Insertion Tool Straight (M. cricothyroideus - ant. des Tuberculum thyroideum inf.)</i>	3/3 Larynxseiten	0/3 Larynxseiten
<i>LP Insertion Tool Straight (M. cricothyroideus - post. des Tuberculum thyroideum inf.)</i>	3/3 Larynxseiten	3/3 Larynxseiten

Es wird versucht mit größtmöglicher Genauigkeit zu arbeiten, jedoch sind Fehlerquellen nicht auszuschließen. Die laryngealen Strukturen werden mit einem Millimetermessschieber ausgemessen. Dieser misst im hundertstel Millimeterbereich. Abweichungen und Fehlhaltung dieses Messschiebers können zu Ungenauigkeiten führen. Des Weiteren kann die Ausmessung der Recurrensnervenäste fehlerhaft sein. Der jeweilige Nervenast hat gegebenenfalls nach der Freipräparation aus dem umliegenden Gewebe eine andere Länge. Dies liegt an der Elastizität der Nerven und dem für ihre Freipräparation angewandten Zug mittels Pinzette. Ebenso sind abweichende Einstichwinkel mittels Trokar eine mögliche Fehlerquelle sowie auch

abweichende Winkel der Elektrodenplatzierungen durch minimale Fehllhaltung des LP-Insertion Tool während der Elektrodenplatzierung. Für die Eindringtiefe der Elektrodenplatzierung wird mit den Markierungen des LP Insertion Tools gearbeitet sowie mit dem Messschieber zur Kontrolle. Dennoch sind hier Unterschiede der Eindringtiefe im Millimeterbereich nicht immer zu vermeiden.

Zusammenfassend hat die senkrechte Elektrodenimplantation unterhalb des Kehlkopfes und posterior des Tuberculum thyroideum caudale auf den ersten Blick die höchsten Erfolgchancen. In einer weiteren Studie sollte dieser Implantationsweg genauer betrachtet und evaluiert werden. Die Fragen, wie stabil die platzierte Elektrode im umliegenden Gewebe befestigt werden kann, was für Auswirkungen der Schluckakt auf die Befestigung der Elektrode haben kann oder ob das umliegende Muskelgewebe ausreichend für eine solche Platzierung ist, müssten gestellt werden. Muskelgewebe ist für eine Elektrodenplatzierung nicht immer optimal. Muskelkontraktionen können mit ihren ausgeübten Scherkräften einen Einfluss auf den Verschleiß der implantierten Elektrode haben. Die Befestigung der Fixationsschraube der LP-Elektrode in dem TA-Muskel ist ebenfalls ein mögliches Hindernis. Letzteres wird nach der Präparation der Recurrensäste, insbesondere bei der Entfernung der LP-Elektrode aus dem Gewebe, beobachtet. Bindegewebe und Fasziengewebe wären für eine Implantation und Fixierung der LP-Elektrode am geeignetsten. Dies liegt an der verminderten Elastizität im Vergleich zum umliegenden Muskelgewebe. Dieses Gewebe ist vermehrt um das Cricothyroid-Gelenk auffindbar.

Als Alternative kann versucht werden, mit identischer Implantationsposition den RLN-Nerven zu treffen, bevor sich dieser in seine zwei Endäste aufteilt. Die Nähe zum Cricothyroid-Gelenk und dessen umliegendes Fasziengewebe, würden ebenfalls für einen solchen Implantationsweg sprechen. Es besteht hier jedoch die Schwierigkeit den RLN-Nerven zu treffen, nachdem er seinen PCA-Ast abgibt. Eine Elektrodenplatzierung in unmittelbarer Nähe zum PCA-Ast könnte jedoch eine zusätzliche Stimulation des PCA-Muskels bewirken. Es würde demnach dem gewünschten Effekt einer Stimmlippenadduktion entgegenwirken und zusätzlich den Stimmlippenabduktor stimulieren. Der Abstand zwischen dem abgehenden PCA-Ast und dem sich in seine Endäste aufteilenden RLN liegt oft unter einem Zentimeter. Jedoch wird in dieser Arbeit nicht näher auf den PCA-Ast und seine Entfernung zu den Endästen des N. laryngeus recurrens eingegangen. Dies beruht auf den gewählten Implantationswegen der

Elektrode, bei denen der PCA-Ast in ausreichender Entfernung (in allen Präparaten mind. > 1cm) von der Endposition der platzierten LP-Elektrode abgeht. Wenn die hier vorgeschlagenen Implantationswege weiter erörtert werden, sollte besonders der Ort der Abzweigung des PCA-Astes und seine Entfernung zu den Endästen analysiert werden. Damit könnte der ideale Elektrodenimplantationspunkt zwischen Tuberculum thyroideum caudale und Cricothyroidgelenk besser bestimmt werden.

Das Forschungsteam für die elektrischen Kehlkopfstimulationen mittels selektiver Neurostimulation (laryngeal pacing, LP) des österreichischen Medizintechnikunternehmens MED-EL, ein Marktführer im Bereich implantierbarer Hörlösungen, hatte im Dezember 2015 Elektrodenplatzierungsversuche um die den TA versorgenden Äste des N. laryngeus recurrens an Schafen durchgeführt. Hierbei wurden, nach der Narkoseeinleitung der Schafe, einseitig die LP-Elektrode implantiert und elektrisch stimuliert. Über ein Laryngoskop wurden die Stimmlippen und ihre Kontraktionen während der elektrischen Stimulation von innen und mittels Sonographie von außen bewertet. Es wurde hier primär ein Implantationsweg erprobt: die Variante einer Elektrodenplatzierung mittels LP Insertion Tool Curved entlang der Thyroid-Unterkante unterhalb des M. cricothyroideus. Der in dieser Doktorarbeit entstandene Implantationsweg durch den Schildknorpel (siehe Versuchsaufbau der Kehlköpfe Nr.3-11) mit dem LP Insertion Tool Straight wurde erstmals im Zuge der in vivo Elektrodenimplantationen bei Schafen im Dezember 2015 erprobt. Beide Präparationswege zeigten gleichartige Kontraktionen der betroffenen Stimmlippe. Hierzu muss jedoch gesagt werden, dass es sich bei den Schafen um intakte Stimmlippen handelte, d.h. die Nervenäste waren nicht gelähmt und ihre dazugehörigen Muskeln nicht atrophiert, bzw. waren diese altersatrophiert (es handelte sich um alte Schafe, vergleichbar mit Menschen die älter als 65 Jahre sind). Demnach ist eine elektrische Stimulation dieser Schafversuche nicht mit einer elektrischen Stimulation bei Schafen/Menschen mit einseitiger Recurrensparese zu vergleichen. Jedoch mit den mehr als 80% der betroffenen Patienten, die nicht vollständig, aber in einem großen Maße, reinnerviert sind. Es ging in diesem Versuch um die Veranschaulichung der Elektrodenimplantation und ihren Effekt auf die Stimmlippen bei Stimulierung der Nervenäste, welche die Stimmlippenadduktoren innervieren.

5 ZUSAMMENFASSUNG

Einseitige Stimmlippenpareesen werden heutzutage primär mit statischen Therapieansätzen wie Stimmlippenaugmentationen oder Medialisierungsthyreoplastiken behandelt. Bei beidseitigen Stimmlippenpareesen gibt es bereits einen dynamischen Therapieansatz, der auf der selektiven Neurostimulation von Recurrensparesen mit Synkinesien beruht. Kehlkopfschrittmacher geben mit einer Elektrodenplatzierung in dem PCA-Muskel die notwendigen elektrischen Impulse für eine durch Muskelkontraktion hervorgerufene Glottisöffnung. Ein dynamischer Therapieansatz durch selektive Neurostimulation ist für die einseitige Recurrensparese demnach der nächste Schritt für eine regenerative Verbesserung der Stimmfunktion und somit Lebensqualität dieser Patienten.

Das Ziel dieser Studie war es, den am bestgeeignetsten Implantationsort der Stimulationselektrode (in diesem Fall LP-Elektrode) für die selektive Stimulation des TA- und LCA-Muskels aufzufinden und dabei Variabilitäten im Verlauf des RLN mit seinen Endästen zu erörtern. Es standen hierfür 20 humane Kehlköpfe für die Untersuchung und Elektrodenplatzierungen zur Verfügung. Dabei wurden insgesamt fünf verschiedene Implantationswege erprobt, um eine Positionierung der Elektrode zu finden, die eine Elektrostimulation des TA- und LCA-Astes am ehesten garantiert. Hierfür wurde das für den Kehlkopfschrittmacher der BSP entwickelte LP System (das LP Insertion Tool Straight/Curved und die LP-Elektrode) verwendet.

Die fünf erprobten Implantationswege zeigen Vor- und Nachteile bezüglich der Stabilität der Elektrodenplatzierung und der Erreichbarkeit der Endäste des RLN. Der TA-Ast wird in ca. 89% der Fälle erreicht, jedoch zeigt sich bislang nur bei der Elektrodenplatzierung unterhalb des Schildknorpels und durch den M. cricothyroideus (Pars obliqua), posterior des Tuberculum thyroideum caudale, ein zusätzlich erfolgreiches Erreichen des LCA-Astes und somit die gewünschte mögliche gleichzeitige Stimulation beider Endäste des RLN. Die selektive Neurostimulation mittels Kehlkopfschrittmacher bei einseitigen Recurrensparesen kann mit einer hohen klinischen Relevanz bewertet werden, da sie eine regenerative dynamische Bewegung der sonst statisch medialisierten atrophen Stimmlippe ermöglicht.

5.1 SUMMARY

Unilateral vocal fold paresis is currently primarily treated with static therapeutic approaches such as vocal fold augmentation or medialization thyroplasty. Already in bilateral vocal fold paresis, there is already a dynamic therapeutic approach based on selective neurostimulation of the RLN (recurrent laryngeal nerve) paresis with synkinesia. Laryngeal pacemakers, with electrode placement in the PCA muscle, provide the necessary electrical impulses for glottis opening through muscle contraction. Consequently, a dynamic therapeutic approach through selective neurostimulation is the next step for unilateral recurrent nerve paresis to regenerate and improve the vocal function and thus, the quality of life of these patients.

The aim of this study was, firstly, to find the most suitable placement of the neurostimulating electrode (in this case LP electrode) for selective stimulation of the TA and LCA muscle and, secondly, to analyze and discuss variabilities in the course of the RLN with its terminal branches. For this purpose, 20 human larynges were available for examination and electrode placements. A total of five different implantation routes were tested in order to find a position for the electrode that most likely guarantees electrostimulation of the TA and LCA branches. The LP system developed for the existing laryngeal pacemaker for bilateral vocal fold paralysis (the LP Insertion Tool Straight/Curved and the LP electrode) was used for this purpose.

The five implantation routes that were tested show both advantages and disadvantages in terms of electrode placement stability and accessibility of the terminal branches of the RLN. The TA branch is reached in about 89% of the cases, but so far only the electrode placement below the thyroid cartilage and through the cricothyroid muscle (pars obliqua), posterior to the inferior thyroid tubercle, shows an additional successful contact of the LCA branch and hence the desired possible simultaneous stimulation of both terminal branches of the RLN. Selective neurostimulation by laryngeal pacemakers in unilateral recurrent paresis can be considered to have high clinical relevance, as it allows regenerative dynamic movement of the otherwise statically medialized atrophic vocal fold.

6 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

A.	Arteria
ant.	anterior
BSP	beidseitige Stimmlippenparese
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
cm	Zentimeter
com.	communis
ESP	einseitige Stimmlippenparese
ext.	externus
IA	Musculus interarytenoidei: Musculus arytaenoidei transversus und obliquus
inf.	inferior / inferius
int.	internus
lat.	laterale / lateralis
LCA (-Muskel)	Musculus cricoarytenoideus lateralis
LCA-Ast	Ast des Nervus laryngeus recurrens der zum Musculus cricoarytenoideus lateralis zieht
li.	links
Lig.	Ligamentum
Ligg.	Ligamentae (Pl.)
LIP	lateraler Inzisionspunkt
LP	Laryngeal Pacing
LPE	Laryngeal Pacing Elektrode
M.	Musculus
med.	mediale / medialis
MI	Mittelpunkt Incisurae
mm	Millimeter
mus.	muscularis
N.	Nervus
NA	Nucleus ambiguus
PCA (-Muskel)	Musculus cricoarytenoideus posterior / Postikus
PCA-Ast	Ast des Nervus laryngeus recurrens der zum Musculus cricoarytenoideus posterior zieht
post.	posterior
Proc.	Processus
R.	Ramus
re.	rechts
RFN	Nucleus retrofacialis
RLN / N. laryngeus recurrens	Nervus laryngeus inferior
SF36	Short Form Health Survey
SLN	Nervus laryngeus superior
sup.	superior / superius
TA-Ast	Ast des Nervus laryngeus recurrens der zum Musculus thyroarytenoideus zieht
TA (-Muskel)	Musculus thyroarytenoideus
V.	Vena

VHI
voc.

Voice Handicap Index
vocale / vocalis

7 LITERATURVERZEICHNIS

1. Strutz J, Mann WJ. Praxis der HNO-Heilkunde, Kopf-und Halschirurgie: Georg Thieme Verlag; 2009.
2. Böhme G. Sprach-, Sprech-, Stimm-und Schluckstörungen. Band 1: Klinik. 3., völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Fischer Verlag, Stuttgart; 1997.
3. Netter FH, Mühlbauer R. Atlas der Anatomie: Elsevier, Urban & Fischer; 2011.
4. Schünke M, Schulte E, Schumacher U. Prometheus. LernAtlas der Anatomie. Kopf, Hals und Neuroanatomie. Illustrationen von M. Voll und K. Wesker. Stuttgart: Thieme; 2012.
5. Fleischer S, Hess M. Durch Augmentation wieder gut bei Stimme. HNO Nachrichten. 2016;46(2):32-6.
6. Aumüller G, Aust G, Engele J, Kirsch J, Maio G. Duale Reihe Anatomie: Georg Thieme Verlag; 2014.
7. Waschke J, Böckers TM, Paulsen F, Winkler S, Dalkowski K, Mair J, et al. Sobotta Lehrbuch Anatomie: Elsevier Health Sciences Germany; 2015.
8. Denk D-M, Swoboda H, Steiner E. Physiologie des Larynx. Der Radiologe. 1998;38(2):63-70.
9. Schiebler TH, Korf H-W. Anatomie: Histologie, Entwicklungsgeschichte, makroskopische und mikroskopische Anatomie, Topographie: Springer-Verlag; 2007.
10. Herberhold C, Werner J, Walther E. Oto-Rhino-Laryngologie in Klinik und Praxis. Band 3: Hals. Thieme, Stuttgart; 1995.
11. Wendler J. Lehrbuch der Phoniatrie und Pädaudiologie. 2005.
12. Reiß M. Facharztwissen HNO-Heilkunde: Differenzierte Diagnostik und Therapie: Springer Science & Business Media; 2009.
13. Van Den Berg J. Myoelastic-aerodynamic theory of voice production. J Speech Hear Res. 1958;1(3):227-44.
14. Habermann G. Stimme und Sprache. 4. unveränderte Auflage ed. s.l.: THIEME; 2003.
15. Hirano M, Kurita S, Nakashima T. The structure of the vocal folds, Vocal fold physiology, Stevens KN, Hirano M. University of Tokyo Press, Tokyo; 1981.
16. Gacek RR, Malmgren LT, Lyon MJ. Localization of adductor and abductor motor nerve fibers to the larynx. The Annals of otology, rhinology, and laryngology. 1977;86(6 Pt 1):771-6.
17. Lang J, Nachbaur S, Fischer K. Nn. laryngei, Verzweigungen im Kehlkopfinneren. Jahrbuch für Morphologie und mikroskopische Anatomie 1 Abteilung, Gegenbaurs morphologisches Jahrbuch. 1986;132(5):723-36.
18. Sunderland S, Swaney WE. The intraneural topography of the recurrent laryngeal nerve in man. Anat Rec. 1952;114(3):411-26.
19. Nawka T, Wirth G. Stimmstörungen: für Ärzte, Logopäden, Sprachheilpädagogen und Sprechwissenschaftler; mit 30 Tabellen: Deutscher Ärzteverlag; 2008.
20. Reiter R, Hoffmann T, Rotter N, Pickhard A, Scheithauer MO, Brosch S. Ätiologie, Diagnostik, Differenzialdiagnostik und Therapie von Stimmlippenparesen. Laryngo-Rhino-Otologie. 2014;93(03):161-73.
21. Sittel C, Wassermann K, Mathen F, Eckel H. Die uni-und bilaterale Lähmung des Nervus laryngeus inferior (recurrens). Pneumologie. 2001;55(12):568-78.

22. Remacle M, Lawson G, Mayne A, Jamart J. Subtotal carbon dioxide laser arytenoidectomy by endoscopic approach for treatment of bilateral cord immobility in adduction. *The Annals of otology, rhinology, and laryngology*. 1996;105(6):438-45.
23. Eckel H. Minimal-invasive Kehlkopfchirurgie zur Wiederherstellung des laryngealen Atemwegs bei beidseitiger Recurrenslähmung. *Medizinische Welt*. 1997;48(5):176-82.
24. Lenarz T, Boenninghaus H-G. Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde: Springer-Verlag; 2012.
25. Hermann M, Keminger K, Kober F, Nekahm D. Risikofaktoren der Recurrensparese - Eine statistische Analyse von 7566 Strumaoperationen. *Der Chirurg; Zeitschrift für alle Gebiete der operativen Medizin*. 1991;62(3):182-7; discussion 8.
26. Steinert M, Friedrich T, Keitel R, Sattler B, Schonfelder M. Indikation und operative Therapie von Schilddrüsenerkrankungen: Analyse von 725 operierten Patienten. *Zentralblatt für Chirurgie*. 1998;123(1):30-3.
27. Jung H, Schlager B. Rekurrensparesen nach Strumektomien. *Laryngo-Rhino-Otologie*. 2000;79(05):297-303.
28. Thermann M, Feltkamp M, Elies W, Windhorst T. Recurrenslähmungen nach Schilddrüsenoperationen Ursachen und Konsequenzen. *Der Chirurg*. 1998;69(9):951-6.
29. Neumann H. Intraoperatives neurophysiologisches Monitoring (IONM) des Nervus recurrens und Mikrodissektion. *Laryngo-rhino-otologie*. 2000;79(05):290-6.
30. Eckel H, Sittel C. Morphometrische Untersuchungen der Glottisebene als Grundlage kehlkopferweiternder mikrolaryngoskopischer Operationsverfahren bei beidseitiger Rekurrenslähmung. *Laryngo-Rhino-Otologie*. 1994;73(08):417-22.
31. Eckel HE, Sittel C. Morphometry of the larynx in horizontal sections. *Am J Otolaryngol*. 1995;16(1):40-8.
32. Wang W, Chen D, Chen S, Li D, Li M, Xia S, et al. Laryngeal reinnervation using ansa cervicalis for thyroid surgery-related unilateral vocal fold paralysis: a long-term outcome analysis of 237 cases. *PLoS One*. 2011;6(4):e19128.
33. Ptok M, Schwemmle C, Iven C, Jessen M, Nawka T. [On the auditory evaluation of voice quality]. *HNO*. 2006;54(10):793-802.
34. Misono S, Merati AL. Evidence-based practice: evaluation and management of unilateral vocal fold paralysis. *Otolaryngol Clin North Am*. 2012;45(5):1083-108.
35. Kang BC, Roh JL, Lee JH, Jung JH, Choi SH, Nam SY, et al. Usefulness of computed tomography in the etiologic evaluation of adult unilateral vocal fold paralysis. *World J Surg*. 2013;37(6):1236-40.
36. Robinson S, Pitkaranta A. Radiology findings in adult patients with vocal fold paralysis. *Clin Radiol*. 2006;61(10):863-7.
37. Paquette CM, Manos DC, Psooy BJ. Unilateral vocal cord paralysis: a review of CT findings, mediastinal causes, and the course of the recurrent laryngeal nerves. *Radiographics*. 2012;32(3):721-40.
38. McHorney CA, Ware JE, Jr., Raczek AE. The MOS 36-Item Short-Form Health Survey (SF-36): II. Psychometric and clinical tests of validity in measuring physical and mental health constructs. *Med Care*. 1993;31(3):247-63.
39. Nawka T, Wiesmann U, Gonnermann U. Validierung des Voice Handicap Index (VHI) in der deutschen fassung. *Hno*. 2003;51(11):921-30.
40. Sittel C, Stennert E, Thumfart WF, Dapunt U, Eckel HE. Prognostic Value of Laryngeal Electromyography in Vocal Fold Paralysis. *Archives of Otolaryngology–Head & Neck Surgery*. 2001;127(2):155-60.
41. Kwon TK, Buckmire R. Injection laryngoplasty for management of unilateral vocal fold paralysis. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg*. 2004;12(6):538-42.

42. D'Alatri L, Galla S, Rigante M, Antonelli O, Buldrini S, Marchese MR. Role of early voice therapy in patients affected by unilateral vocal fold paralysis. *J Laryngol Otol.* 2008;122(9):936-41.
43. Heuer RJ, Sataloff RT, Emerich K, Rulnick R, Baroody M, Spiegel JR, et al. Unilateral recurrent laryngeal nerve paralysis: the importance of "preoperative" voice therapy. *J Voice.* 1997;11(1):88-94.
44. Cantarella G, Viglione S, Forti S, Pignataro L. Voice therapy for laryngeal hemiplegia: the role of timing of initiation of therapy. *J Rehabil Med.* 2010;42(5):442-6.
45. Crumley RL. Unilateral recurrent laryngeal nerve paralysis 1994.
46. Friedrich G. Externe Stimmlippenmedialisation: Funktionelle Ergebnisse. *Laryngo-Rhino-Otologie.* 1998;77(01):18-26.
47. Friedrich G. Titanium vocal fold medializing implant: introducing a novel implant system for external vocal fold medialization. *The Annals of otology, rhinology, and laryngology.* 1999;108(1):79-86.
48. King JM, Simpson CB. Modern injection augmentation for glottic insufficiency. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg.* 2007;15(3):153-8.
49. Mallur PS, Rosen CA. Vocal fold injection: review of indications, techniques, and materials for augmentation. *Clin Exp Otorhinolaryngol.* 2010;3(4):177-82.
50. Mattioli F, Bergamini G, Alicandri-Ciufelli M, Molteni G, Luppi MP, Nizzoli F, et al. The role of early voice therapy in the incidence of motility recovery in unilateral vocal fold paralysis. *Logoped Phoniatr Vocol.* 2011;36(1):40-7.
51. Schindler A, Bottero A, Capaccio P, Ginocchio D, Adorni F, Ottaviani F. Vocal improvement after voice therapy in unilateral vocal fold paralysis. *J Voice.* 2008;22(1):113-8.
52. Miller S. Voice therapy for vocal fold paralysis. *Otolaryngol Clin North Am.* 2004;37(1):105-19.
53. Yung KC, Likhterov I, Courey MS. Effect of temporary vocal fold injection medialization on the rate of permanent medialization laryngoplasty in unilateral vocal fold paralysis patients. *Laryngoscope.* 2011;121(10):2191-4.
54. Arviso LC, Johns MM, 3rd, Mathison CC, Klein AM. Long-term outcomes of injection laryngoplasty in patients with potentially recoverable vocal fold paralysis. *Laryngoscope.* 2010;120(11):2237-40.
55. Young VN, Smith LJ, Rosen C. Voice outcome following acute unilateral vocal fold paralysis. *Annals of Otology, Rhinology & Laryngology.* 2013;122(3):197-204.
56. Friedman AD, Burns JA, Heaton JT, Zeitels SM. Early versus late injection medialization for unilateral vocal cord paralysis. *Laryngoscope.* 2010;120(10):2042-6.
57. Prendes BL, Yung KC, Likhterov I, Schneider SL, Al-Jurf SA, Courey MS. Long-term effects of injection laryngoplasty with a temporary agent on voice quality and vocal fold position. *Laryngoscope.* 2012;122(10):2227-33.
58. Kwon TK, Rosen CA, Gartner-Schmidt J. Preliminary results of a new temporary vocal fold injection material. *J Voice.* 2005;19(4):668-73.
59. Remacle M, Lawson G. Results with collagen injection into the vocal folds for medialization. *Current opinion in otolaryngology & head and neck surgery.* 2007;15(3):148-52.
60. Song PC, Sung CK, Franco RA, Jr. Voice outcomes after endoscopic injection laryngoplasty with hyaluronic acid stabilized gel. *Laryngoscope.* 2010;120 Suppl 4(Suppl 4):S199.
61. Reiter R, Brosch S. Erratum: Laryngoplasty With Hyaluronic Acid in Patients With Unilateral Vocal Fold Paralysis. *Journal of Voice.* 2013;27(2):113-8.

62. Hertegård S, Hallén L, Laurent C, Lindström E, Olofsson K, Testad P, et al. Cross-Linked Hyaluronan Used as Augmentation Substance for Treatment of Glottal Insufficiency: Safety Aspects and Vocal Fold Function. *The Laryngoscope*. 2002;112(12):2211-9.
63. Sulica L, Rosen CA, Postma GN, Simpson B, Amin M, Courey M, et al. Current practice in injection augmentation of the vocal folds: indications, treatment principles, techniques, and complications. *Laryngoscope*. 2010;120(2):319-25.
64. Anderson TD, Mirza N. Immediate percutaneous medialization for acute vocal fold immobility with aspiration. *Laryngoscope*. 2001;111(8):1318-21.
65. Carroll TL, Rosen CA. Long-term results of calcium hydroxylapatite for vocal fold augmentation. *Laryngoscope*. 2011;121(2):313-9.
66. Brandenburg JH, Kirkham W, Koschkee D. Vocal cord augmentation with autogenous fat. *Laryngoscope*. 1992;102(5):495-500.
67. Laccourreye O, Papon JF, Kania R, Crevier-Buchman L, Brasnu D, Hans S. Intracordal injection of autologous fat in patients with unilateral laryngeal nerve paralysis: long-term results from the patient's perspective. *Laryngoscope*. 2003;113(3):541-5.
68. McCulloch TM, Andrews BT, Hoffman HT, Graham SM, Karnell MP, Minnick C. Long-term follow-up of fat injection laryngoplasty for unilateral vocal cord paralysis. *Laryngoscope*. 2002;112(7 Pt 1):1235-8.
69. Shaw GY, Szewczyk MA, Searle J, Woodroof J. Autologous Fat Injection into the Vocal Folds: Technical Considerations and Long-Term Follow-up. *The Laryngoscope*. 1997;107(2):177-86.
70. Sanderson JD, Simpson CB. Laryngeal complications after lipoinjection for vocal fold augmentation. *Laryngoscope*. 2009;119(8):1652-7.
71. Sittel C, Thumfart WF, Pototschnig C, Wittekindt C, Eckel HE. Textured polydimethylsiloxane elastomers in the human larynx: safety and efficiency of use. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*. 2000;53(6):646-50.
72. Tan M, Woo P. Injection laryngoplasty with micronized dermis: a 10-year experience with 381 injections in 344 patients. *Laryngoscope*. 2010;120(12):2460-6.
73. Shen T, Damrose EJ, Morzaria S. A meta-analysis of voice outcome comparing calcium hydroxylapatite injection laryngoplasty to silicone thyroplasty. *Otolaryngology--Head and Neck Surgery*. 2013;148(2):197-208.
74. van Ardenne N, Vanderwegen J, Van Nuffelen G, De Bodt M, Van de Heyning P. Medialization thyroplasty: vocal outcome of silicone and titanium implant. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2011;268(1):101-7.
75. Storck C, Fischer C, Cecon M, Schmid S, Gambazzi F, Wolfensberger M, et al. Hydroxyapatite versus titanium implant: Comparison of the functional outcome after vocal fold medialization in unilateral recurrent nerve paralysis. *Head Neck*. 2010;32(12):1605-12.
76. Hartl DM, Hans S, Crevier-Buchman L, Vaissiere J, Brasnu DF. Long-term acoustic comparison of thyroplasty versus autologous fat injection. *The Annals of otology, rhinology, and laryngology*. 2009;118(12):827-32.
77. Vinson KN, Zraick RI, Ragland FJ. Injection versus medialization laryngoplasty for the treatment of unilateral vocal fold paralysis: follow-up at six months. *Laryngoscope*. 2010;120(9):1802-7.
78. Woo P, Pearl AW, Hsiung MW, Som P. Failed medialization laryngoplasty: management by revision surgery. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 2001;124(6):615-21.

79. Harnisch W, Brosch S, Schmidt M, Hagen R. Breathing and voice quality after surgical treatment for bilateral vocal cord paralysis. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg.* 2008;134(3):278-84.
80. Asik MB, Karasimav O, Birkent H, Merati AL, Gerek M, Yildiz Y. Impact of unilateral carbon dioxide laser posterior transverse cordotomy on vocal and aerodynamic parameters in bilateral vocal fold paralysis. *J Laryngol Otol.* 2016;130(4):373-9.
81. Dennis DP, Kashima H. Carbon dioxide laser posterior cordectomy for treatment of bilateral vocal cord paralysis. *The Annals of otology, rhinology, and laryngology.* 1989;98(12 Pt 1):930-4.
82. Laccourreye O, Paz Escovar MI, Gerhardt J, Hans S, Biacabe B, Brasnu D. CO2 laser endoscopic posterior partial transverse cordotomy for bilateral paralysis of the vocal fold. *Laryngoscope.* 1999;109(3):415-8.
83. Woodson G, Weiss T. Arytenoid abduction for dynamic rehabilitation of bilateral laryngeal paralysis. *The Annals of otology, rhinology, and laryngology.* 2007;116(7):483-90.
84. Müller AH, Förster G. Reinnervation und Neurostimulation des Kehlkopfs. *HNO.* 2013;61(2):102-7.
85. Li Y, Pearce EC, Mainthia R, Athavale SM, Dang J, Ashmead DH, et al. Comparison of ventilation and voice outcomes between unilateral laryngeal pacing and unilateral cordotomy for the treatment of bilateral vocal fold paralysis. *ORL.* 2013;75(2):68-73.
86. Mueller AH, Hagen R, Foerster G, Grossmann W, Baumbusch K, Pototschnig C. Laryngeal pacing via an implantable stimulator for the rehabilitation of subjects suffering from bilateral vocal fold paralysis: A prospective first-in-human study. *Laryngoscope.* 2016;126(8):1810-6.
87. Müller AH. Therapie von Rekurrensparesen. *HNO.* 2017;65(7):621-30.
88. Mueller AH, Hagen R, Pototschnig C, Foerster G, Grossmann W, Baumbusch K, et al. Laryngeal pacing for bilateral vocal fold paralysis: Voice and respiratory aspects. *Laryngoscope.* 2017;127(8):1838-44.
89. Püschel K. Lehre und Forschung an Verstorbenen. *Rechtsmedizin.* 2016;26(2):115-9.
90. Theissing J, Rettinger G, Werner JA. *HNO-Operationslehre: mit allen wichtigen Eingriffen*: Georg Thieme Verlag; 2006.
91. Crumley RL. Laryngeal synkinesis revisited 2000.
92. Volk GF, Hagen R, Pototschnig C, Friedrich G, Nawka T, Arens C, et al. Laryngeal electromyography: a proposal for guidelines of the European Laryngological Society. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 2012;269(10):2227-45.
93. Pardo-Maza A, Garcia-Lopez I, Santiago-Perez S, Gavilan J. Laryngeal Electromyography for Prognosis of Vocal Fold Paralysis. *J Voice.* 2017;31(1):90-3.
94. Strollo Jr PJ, Soose RJ, Maurer JT, de Vries N, Cornelius J, Froymovich O, et al. Upper-airway stimulation for obstructive sleep apnea 2014.
95. Zealear DL, Billante CR, Courey MS, Nettekville JL, Paniello RC, Sanders I, et al. Reanimation of the paralyzed human larynx with an implantable electrical stimulation device. *Laryngoscope.* 2003;113(7):1149-56.
96. Garcia Perez A, Hernandez Lopez X, Valadez Jimenez VM, Minor Martinez A, Ysunza PA. Synchronous electrical stimulation of laryngeal muscles: an alternative for enhancing recovery of unilateral recurrent laryngeal nerve paralysis. *J Voice.* 2014;28(4):524 e1-7.

8 TABELLARISCHER ANHANG

Kehlkopf Nr.	Kehlkopf-Seriennr.	Geschlecht	Seite	Tool	Seitenlänge des Schildknorpels	Länge von der Inzisar bis zur Unterkante	Einstich von der prominenten Inzisar	Einstich vom kaudalen Rand	Sondeneinführung
1	S0838-15	M	links	Kanüle mit Methylenblau	?		15,8mm	7,8mm	25mm
	S0838-15	M	rechts	Kanüle mit Methylenblau	?		12,6mm	8,6mm	25mm
2	S0854-15	M	links	Kanüle mit Methylenblau	?		13,5mm	7,0mm	20mm
	S0854-15	M	rechts	Kanüle mit Methylenblau	?		10mm	5mm	15mm
3	S0859-15	M	links	Straight	33,4mm	12mm	12,5mm	5mm	15mm
	S0859-15	M	rechts	Straight	34,2mm	12mm	12,5mm	5mm	15mm
4	S0851-15	M	links	Straight	36,6mm	15mm	12,5mm	5mm	15mm
	S0851-15	M	rechts	Straight	35,8mm	15mm	12,5mm	5mm	15mm
5	S0852-15	W	links	Straight	25,1mm	16mm	8mm	4mm	10mm
	S0852-15	W	rechts	Straight	29,2mm	16mm	10mm	4mm	12,5mm
6	S0840-15	M	links	Straight	37,7mm	17,4mm	12,5mm	5mm	15mm
	S0840-15	M	rechts	Straight	35,6mm	17,4mm	12,5mm	5mm	15mm
7	S0833-15	M	links	Straight	39,2mm	20mm	12,5mm	5mm	15mm
	S0833-15	M	rechts	Straight	38,7mm	20mm	12,5mm	5mm	15mm
8	S0832-15	M	links	Straight	38,4mm	18,2mm	12,5mm	5mm	15mm
	S0832-15	M	rechts	Straight	35,7mm	18,2mm	12,5mm	5mm	15mm
9	S0920-15	W	links	Straight	27,5mm	13,4mm	10mm	4mm	10mm < als andere männliche Kehlköpfe
	S0920-15	W	rechts	Straight	27,9mm	13,4mm	10mm	4mm	10mm < als andere männliche Kehlköpfe
10	S0882-15	W	links	Straight	26,8mm	12,4mm	8mm	4mm	10mm < als andere männliche Kehlköpfe
	S0882-15	W	rechts	Straight	27,2mm	12,4mm	8mm	4mm	10mm < als andere männliche Kehlköpfe
11	S0898-15	W	links	Straight	27,8mm	15,4mm	8mm	4mm	10mm < als andere männliche Kehlköpfe
	S0898-15	W	rechts	Straight	26,8mm	15,4mm	8mm	4mm	10mm < als andere männliche Kehlköpfe
12	S09831-15	W	links	Straight	29,4mm	14,6mm	10mm	4mm	12,5mm
	S09831-15	W	rechts	Straight	30,6mm	14,6mm	10mm	4mm	12,5mm
13	S2130-15	W	links	Straight	28,8mm	13,2mm	10mm	4mm	12,5mm
	S2130-15	W	rechts	Straight	28,0mm	13,2mm	10mm	4mm	12,5mm
14	S2148-15	W	links	Curved	28,7mm	16,6mm	12,5mm (10mm für die Seitenlänge + 2,5mm, da das LP Insertion Tool Curved benutzt wurde)	4mm	12,5mm
	S2148-15	W	rechts	Curved	28,8mm	16,6mm	12,5mm (10mm für die Seitenlänge + 2,5mm, da das LP Insertion Tool Curved benutzt wurde)	4mm	12,5mm
15	S2129-15	M	links	Curved	35,2mm	16mm	15mm (beim großen Kehlkopf: 12,5mm bei gerader Sonde, 15mm bei gebogener Sonde)	5mm	15mm
	S2129-15	M	rechts	Curved	37,4mm	16mm	15mm (beim großen Kehlkopf: 12,5mm bei gerader Sonde, 15mm bei gebogener Sonde)	5mm	15mm
16	S0885-15	M	links	Straight und Gebohrt	37,5mm	20,4mm	12,5mm (vorgebohrt mit einem 1,8mm ø Aufsatz -Throkar hat einen 1,7mm ø)	5mm	15mm
	S0885-15	M	rechts	Straight und Gebohrt	38,3mm	20,4mm	12,5mm (vorgebohrt mit einem 1,8mm ø Aufsatz -Throkar hat einen 1,7mm ø)	5mm	15mm
17	S0886-15	M	links	Straight und Gebohrt	36,4mm	20,0mm	12,5mm	5mm	15mm
	S0886-15	M	rechts	Straight und Gebohrt	36,0mm	20,0mm	12,5mm	5mm	15mm
18	S1051-15	W	links	Straight - Throkar durch den Muskel (unterhalb des Schildknorpels) VOR DEM TUBERCULUM thyroideum inferius	28,0mm	14,2mm	-	-	12,5mm
	S1051-15	W	rechts	Straight - Throkar durch den Muskel (unterhalb des Schildknorpels) HINTER DEM TUBERCULUM thyroideum inferius	28,5mm	14,2mm	-	-	12,5mm
19	S2161-15	W	links	Straight - Throkar durch den Muskel (unterhalb des Schildknorpels) VOR DEM TUBERCULUM thyroideum inferius	25,8mm	13,2mm	-	-	10mm < als andere männliche Kehlköpfe
	S2161-15	W	rechts	Straight - Throkar durch den Muskel (unterhalb des Schildknorpels) HINTER DEM TUBERCULUM thyroideum inferius	26,7mm	13,2mm	-	-	10mm < als andere männliche Kehlköpfe
20	S0825-15	W	links	Straight - Throkar durch den Muskel (unterhalb des Schildknorpels) VOR DEM TUBERCULUM thyroideum inferius	26,5mm	13,2mm	-	-	10mm < als andere männliche Kehlköpfe
	S0825-15	W	rechts	Straight - Throkar durch den Muskel (unterhalb des Schildknorpels) HINTER DEM TUBERCULUM thyroideum inferius	27,0mm	13,2mm	-	-	10mm < als andere männliche Kehlköpfe

Tabellarischer Anhang

Kehlkopf Nr.	Kehlkopf-Seriennr.	Geschlecht	Seite	Tool	Äste zum Posticus	Äste zum TA	Äste zum LCA	Nerven-Distanz : LCA - TA-Muskel-Mündung	TA-Ast Elektrodenkontakt	LCA-Ast Elektrodenkontakt
1	S0838-15	M	links	Kanüle mit Methylenblau	1	1	1	/	x	x
	S0838-15	M	rechts	Kanüle mit Methylenblau	2	1	2	5,7mm	x	x
2	S0854-15	M	links	Kanüle mit Methylenblau	1	1	1	/	x	x
	S0854-15	M	rechts	Kanüle mit Methylenblau	1	2	1	/	x	x
3	S0859-15	M	links	Straight	1	1	1	/		
	S0859-15	M	rechts	Straight	1	1	1	/		
4	S0851-15	M	links	Straight	1	1	1	14,7mm	✓	
	S0851-15	M	rechts	Straight	1	1	1	7,3mm	✓	
5	S0852-15	W	links	Straight	1	2	2	5,7mm		
	S0852-15	W	rechts	Straight	1	2	2	5,7mm	✓	
6	S0840-15	M	links	Straight	2	2	1	4,2mm	✓	✓
	S0840-15	M	rechts	Straight	1	1	1	3,5mm	✓	
7	S0833-15	M	links	Straight	2	1	1	3,4mm	✓	✓
	S0833-15	M	rechts	Straight	2	1	1	5,9mm	✓	✓
8	S0832-15	M	links	Straight	2	1	1	/	✓	
	S0832-15	M	rechts	Straight	2	2	2	17,4mm	✓	
9	S0920-15	W	links	Straight	1	1	1	2,2mm	✓	
	S0920-15	W	rechts	Straight	2	1	2	2,1mm	✓	
10	S0882-15	W	links	Straight	2	1	1	6,5mm	✓	
	S0882-15	W	rechts	Straight	1	2	1	6,9mm	✓	✓
11	S0898-15	W	links	Straight	2	1	2	4,8mm	✓	
	S0898-15	W	rechts	Straight	2	1	1	2,5mm	✓	
12	S09831-15	W	links	Straight	2	2	2	5,0mm	✓	
	S09831-15	W	rechts	Straight	1	2	1	4,9mm	✓	
13	S2130-15	W	links	Straight	2	1	2	8,1mm	✓	
	S2130-15	W	rechts	Straight	2	1	1	4,7mm	✓	
14	S2148-15	W	links	Curved	2	2	1	9,1mm	✓	
	S2148-15	W	rechts	Curved	3	1	1	/	✓	
15	S2129-15	M	links	Curved	2	1	1	/	✓	
	S2129-15	M	rechts	Curved	2	1	1	3,8mm	✓	✓
16	S0885-15	M	links	Straight und Gebohrt	1	1	1	/	✓	
	S0885-15	M	rechts	Straight und Gebohrt	2	2	2	3,8mm	✓	✓
17	S0886-15	M	links	Straight und Gebohrt	1	2	1	9,4mm	✓	
	S0886-15	M	rechts	Straight und Gebohrt	2	1	2	1. 1,8mm - 2. 2,4mm		
18	S1051-15	W	links	Straight - Throkar durch den Muskel (unterhalb des Schildknorpels) VOR DEM TUBERCULUM thyroideum inferius	1	2	1	9,8mm	✓	
	S1051-15	W	rechts	Straight - Throkar durch den Muskel (unterhalb des Schildknorpels) HINTER DEM TUBERCULUM thyroideum inferius	2	1	2	9,7mm	✓	✓
19	S2161-15	W	links	Straight - Throkar durch den Muskel (unterhalb des Schildknorpels) VOR DEM TUBERCULUM thyroideum inferius	1	1	1	5,4mm	✓	
	S2161-15	W	rechts	Straight - Throkar durch den Muskel (unterhalb des Schildknorpels) HINTER DEM TUBERCULUM thyroideum inferius	1	2	1	4,3mm	✓	✓
20	S0825-15	W	links	Straight - Throkar durch den Muskel (unterhalb des Schildknorpels) VOR DEM TUBERCULUM thyroideum inferius	2	1	1	6,5mm	✓	
	S0825-15	W	rechts	Straight - Throkar durch den Muskel (unterhalb des Schildknorpels) HINTER DEM TUBERCULUM thyroideum inferius	2	1	1	4,5mm	✓	✓

9 LEBENS LAUF

PHILIP ALEXEY RENZ

Geburtsdatum 07.03.1988 in Hamburg
Familienstand verheiratet

Beruf

seit 04/2020 Assistenzarzt in der Klinik für Plastische, Ästhetische und Rekonstruktive Mikrochirurgie, Handchirurgie, Ernst von Bergmann Klinikum Potsdam

01/2018 – 03/2020 Assistenzarzt in der Klinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde, Unfallkrankenhaus Berlin

AUSBILDUNG

01/2017 Approbation als Arzt

04/2009 – 12/2016 Studium der Humanmedizin an der Julius-Maximilians-Universität Würzburg

07/2007 – 08/2008 Anderer Dienst im Ausland anstelle eines Zivildienstes im Centre Méditerranéen d'Études Françaises - Sprachschule und internationale Begegnungsstätte in Cap d'Ail, Frankreich

1998 – 2007 Sankt-Ansgar-Schule (Gymnasium)

1994 – 1998 August-Herman-Francke Schule

PRAKTIKA

07/2016 – 10/2016 Universitätsklinikum Hamburg - Eppendorf
Drittes Tertial des Praktischen Jahres in der Urologie

03/2016 – 07/2016 Tygerberg Hospital, Stellenbosch University, Südafrika
Zweites Tertial des Praktischen Jahres in der Unfallchirurgie

01/2016 – 03/2016 Manchester Royal Infirmary - University Hospital, England
Zweite Hälfte des ersten Tertiales des Praktischen Jahres in der Inneren Medizin (Endokrinologie)

10/2015 – 01/2016 Universitätsklinikum Würzburg
Erste Hälfte des ersten Tertiales des Praktischen Jahres in der Inneren Medizin (Gastroenterologie)

08/2014 – 09/2014 Asklepios Klinik Hamburg-Altona
Famulatur in der HNO

02/2014 – 03/2014 Universitätsklinikum Würzburg
Famulatur in der Urologie

08/2013 – 09/2013 Helios Klinikum Berlin-Buch
Famulatur in der Kardiologie

08/2012 – 09/2012 Benedictus Krankenhaus Tutzing
Famulatur in der Unfallchirurgie

10 DANKSAGUNG

Mein aller erster Dank gilt Prof. Dr. med. Markus Hess, für die Überlassung des Themas, seinen Einsatz, die wissenschaftlich fundierte Betreuung und das mir entgegengebrachte Vertrauen.

Herrn Frank Müller danke ich für die Betreuung und Unterstützung während meiner Arbeit.

Werner Lindenthaler von der Fa. Med-El möchte ich für die mir zur Verfügung gestellten Arbeitsmaterialien, den LP-Elektroden, die enge Zusammenarbeit und einem Ersten Einblick in die potentielle Umsetzung dieser Arbeit in Graz danken.

Priv.-Doz. Dr. med. Christina Pflug, Direktorin der Klinik und Poliklinik für Hör-, Stimm- und Sprachheilkunde des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf möchte ich für die Betreuung und den zur Verfügung gestellten Räumlichkeiten danken.

Prof. Dr. Püschel und den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Institutes für Rechtsmedizin, Universitätsklinikum Hamburg Eppendorf, danke ich für die Zusammenarbeit.

Priv.-Doz. Dr. med. Dr. rer. biol. hum. Tim Rolvien, Dr. med. Sara Nader, Priv.-Doz. Dr. med. Philipp Mittmann und meiner Schwester Juliane Renz möchte ich für das Korrekturlesen und den ein oder anderen wertvollen Ratschlag besonders danken.

Meiner Ehefrau Anett Renz möchte ich für die mentale Unterstützung und für ihre Motivation danken.

Zu guter Letzt möchte ich meinen Eltern Dr. med. Helene Renz und Anatoli Renz danken, für ihre gesamte Unterstützung und ihre ständige Motivation, ohne die diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

11 EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

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.

Unterschrift: 