

Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf

Kopf- und Hautzentrum

Poliklinik für Hör-, Stimm- und Sprachheilkunde

Direktor: Prof. Dr. M. Hess

Optimierung der Nadelpositionierung bei der Larynx-Elektromyographie

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin

dem Fachbereich Medizin der Universität Hamburg

vorgelegt von

Simone Koch
aus Bonn

Hamburg, 2005

Angenommen vom Fachbereich Medizin

der Universität Hamburg am: 22.05.2006

Veröffentlicht mit Genehmigung des Fachbereichs

Medizin der Universität Hamburg

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

Prüfungsausschuss: 2. Gutachter/in: PD Dr. W. Kerhl

Prüfungsausschuss: 3. Gutachter/in: Prof. Dr. CH. Vahle-Hinz

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	VI
1. Perkutane Nadelpositionierung in die Kehlkopfmuskulatur.....	1
1.1. LEMG.....	1
1.2. Botulinumtoxin	4
1.3. Grundlagen	5
1.4. Techniken der perkutanen Nadelpositionierung in der Literatur	7
1.5. Ziel	9
2. Material und Methode	10
2.1. Stichprobenbeschreibung	10
2.2. Versuchsdurchführung.....	10
2.2.1. M. vocalis.....	13
2.2.2. M. cricothyroideus	14
2.2.3. M. cricoarytaenoideus posterior	15
2.3. Präparation	17
2.4. Statistische Auswertung.....	18
3. Ergebnisse	20
3.1. M. vocalis	20
3.2. M. cricothyroideus.....	26
3.3. M. cricoarytaenoideus posterior.....	35
4. Diskussion.....	43
4.1. M. vocalis	43
4.2. M. cricothyroideus.....	46
4.3. M. cricoarytaenoideus posterior.....	49
4.4. Weitere Gesichtspunkte.....	52
4.5. „best fit“	54
4.5.1. M. vocalis.....	54
4.5.2. M. cricothyroideus bei medianem Zugang.....	55
4.5.3. M. cricothyroideus bei paramedianem Zugang.....	56
4.5.4. M. cricoarytaenoideus posterior bei anteriorem Zugang	57
4.5.5. M. cricoarytaenoideus posterior bei lateralem Zugang.....	58

5. Zusammenfassung	59
Literaturverzeichnis	VIII
Danksagung	XI
Lebenslauf	XII
Anhang	XIII
Eidesstattliche Versicherung	XIV

Tabellenverzeichnis

Tabelle 01:	Häufigkeiten der Probanden mit erfolgreich (im Muskel liegendem) bzw. nicht erfolgreich injiziertem Farbstoffdepot im Vergleich zu den Gruppen des Einstichwinkels in der Sagittalebene in den M. vocalis	20
Tabelle 02:	Häufigkeiten der Probanden mit erfolgreich (im Muskel liegendem) bzw. nicht erfolgreich injiziertem Farbstoffdepot im Vergleich zu den Gruppen des Einstichwinkels in der Transversalebene in den M. vocalis	21
Tabelle 03:	Häufigkeiten der Probanden mit erfolgreich (im Muskel liegendem) bzw. nicht erfolgreich injiziertem Farbstoffdepot im Vergleich zu den Gruppen des Einstichwinkels in der Frontalebene in den M. vocalis	22
Tabelle 04:	Häufigkeiten der Probanden mit erfolgreich (im Muskel liegendem) bzw. nicht erfolgreich injiziertem Farbstoffdepot im Vergleich zu den Gruppen der Einstichtiefe in den M. vocalis	23
Tabelle 05:	Vergleich der Mittelwerte der Probanden mit erfolgreich (im Muskel liegendem) bzw. nicht erfolgreich injiziertem Farbstoffdepot in Tiefe und Winkel des Einstichs in den M. vocalis	23
Tabelle 06:	Zusammenhänge (Spearman Korrelationen) zwischen der Einstichtiefe in den M. vocalis und der Größe und des Gewichtes der Probanden	24
Tabelle 07:	Zweifaktorielle Varianzanalyse der Einstichwinkel sowie -tiefe in den M. vocalis mit den Faktoren Geschlecht und Erfolg der Injektion	25
Tabelle 08:	Häufigkeiten der Probanden mit erfolgreich (im Muskel liegendem) bzw. nicht erfolgreich injiziertem Farbstoffdepot bei paramedianer Einstichstelle im Vergleich zu den Gruppen des Einstichwinkels in der Sagittalebene in den M. cricothyroideus.....	26
Tabelle 09:	Häufigkeiten der Probanden mit erfolgreich (im Muskel liegendem) bzw. nicht erfolgreich injiziertem Farbstoffdepot bei paramedianer Einstichstelle im Vergleich zu den Gruppen des Einstichwinkels in der Transversalebene in den M. cricothyroideus	27
Tabelle 10:	Häufigkeiten der Probanden mit erfolgreich (im Muskel liegendem) bzw. nicht erfolgreich injiziertem Farbstoffdepot bei paramedianer Einstichstelle im Vergleich zu den Gruppen des Einstichwinkels in der Frontalebene in den M. cricothyroideus	28

Tabelle 11:	Häufigkeiten der Probanden mit erfolgreich (im Muskel liegendem) bzw. nicht erfolgreich injiziertem Farbstoffdepot bei paramedianer Einstichstelle im Vergleich zu den Gruppen der Einstichtiefe in den M. cricothyroideus.....	29
Tabelle 12:	Vergleich der Mittelwerte der Probanden mit erfolgreich (im Muskel liegendem) bzw. nicht erfolgreich injiziertem Farbstoffdepot in Tiefe und Winkel des Einstichs in den M. cricothyroideus bei paramedianem Einstich	29
Tabelle 13:	Häufigkeiten der Probanden mit erfolgreich (im Muskel liegendem) bzw. nicht erfolgreich injiziertem Farbstoffdepot bei medianer Einstichstelle im Vergleich zu den Gruppen des Einstichwinkels in der Sagittalebene in den M. cricothyroideus	30
Tabelle 14:	Häufigkeiten der Probanden mit erfolgreich (im Muskel liegendem) bzw. nicht erfolgreich injiziertem Farbstoffdepot bei medianer Einstichstelle im Vergleich zu den Gruppen des Einstichwinkels in der Transversalebene in den M. cricothyroideus	31
Tabelle 15:	Häufigkeiten der Probanden mit erfolgreich (im Muskel liegendem) bzw. nicht erfolgreich injiziertem Farbstoffdepot bei medianer Einstichstelle im Vergleich zu den Gruppen des Einstichwinkels in der Frontalebene in den M. cricothyroideus	32
Tabelle 16:	Häufigkeiten der Probanden mit erfolgreich (im Muskel liegendem) bzw. nicht erfolgreich injiziertem Farbstoffdepot bei medianer Einstichstelle im Vergleich zu den Gruppen der Einstichtiefe in den M. cricothyroideus	33
Tabelle 17:	Vergleich der Mittelwerte der Probanden mit erfolgreich (im Muskel liegendem) bzw. nicht erfolgreich injiziertem Farbstoffdepot in Tiefe und Winkel des Einstichs in den M. cricothyroideus bei medianem Einstich.....	34
Tabelle 18:	Zweifaktorielle Varianzanalyse der Einstichwinkel sowie -tiefe in den M. cricothyroideus mit den Faktoren Geschlecht und Erfolg der Injektion.....	34
Tabelle 19:	Zusammenhänge (Spearman Korrelation) zwischen der Einstichtiefe in den M. cricothyroideus und der Größe und des Gewichtes der Probanden.....	35
Tabelle 20:	Häufigkeiten der Probanden mit erfolgreich (im Muskel liegendem) bzw. nicht erfolgreich injiziertem Farbstoffdepot im Vergleich zu den Gruppen des Einstichwinkels in der Sagittalebene in den M. cricoarytaenoideus posterior bei lateralem Zugang	36
Tabelle 21:	Häufigkeiten der Probanden mit erfolgreich (im Muskel liegendem) bzw. nicht erfolgreich injiziertem Farbstoffdepot im Vergleich zu den	

Gruppen des Einstichwinkels in der Transversalebene in den M. cricoarytaenoideus posterior bei lateralem Zugang	36
Tabelle 22: Häufigkeiten der Probanden mit erfolgreich (im Muskel liegendem) bzw. nicht erfolgreich injiziertem Farbstoffdepot im Vergleich zu den Gruppen des Einstichwinkels in der Frontalebene in den M. cricoarytaenoideus posterior bei lateralem Zugang	37
Tabelle 23: Häufigkeiten der Probanden mit erfolgreich (im Muskel liegendem) bzw. nicht erfolgreich injiziertem Farbstoffdepot im Vergleich zu den Gruppen der Einstichtiefe in den M. cricoarytaenoideus posterior bei lateralem Zugang	38
Tabelle 24: Vergleich der Mittelwerte der Probanden mit erfolgreich (im Muskel liegendem) bzw. nicht erfolgreich injiziertem Farbstoffdepot in Tiefe und Winkel des Einstichs in den M. cricoarytaenoideus posterior bei lateralem Zugang	39
Tabelle 25: Zusammenhänge (Spearman Korrelationen) zwischen der Einstichtiefe in den M. cricoarytaenoideus posterior und der Größe und des Gewichtes der Probanden	40
Tabelle 26: Zweifaktorielle Varianzanalyse der Einstichwinkel sowie -tiefe in den M. cricoarytaenoideus posterior mit den Faktoren Geschlecht und Erfolg der Injektion	41

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Dorsale und laterale Ansicht des Larynx.....	5
Abbildung 2: Messen des Einstichwinkels in der Sagittalebene bei anteriorem Zugang.....	13
Abbildung 3: Messen des Einstichwinkels in der Transversalebene bei anteriorem Zugang.....	14
Abbildung 4: Messen des Einstichwinkels in der Frontalebene bei anteriorem Zugang.....	14
Abbildung 5: Messen des Einstichwinkels in der Sagittalebene bei lateralem Zugang.....	16
Abbildung 6: Messen des Einstichwinkels in der Transversalebene bei lateralem Zugang.....	16
Abbildung 7: Messen des Einstichwinkels in der Frontalebene bei lateralem Zugang.....	17
Abbildung 8: Mittelwerte der Einstichtiefe in den M. vocalis links, getrennt nach Geschlecht und Erfolg der Injektion.....	25
Abbildung 9: Mittelwerte der Einstichtiefe in den M. cricoarytaenoideus posterior links, getrennt nach Geschlecht und Erfolg der Injektion	41
Abbildung 10: Mittelwerte der Einstichtiefe in den M. cricoarytaenoideus posterior rechts, getrennt nach Geschlecht und Erfolg der Injektion.....	41
Abbildung 11: Zusammenhang von Einstichpunkt und Einstichwinkel.....	43
Abbildung 12: „best fit“: M. vocalis in der Sagittalebene	54
Abbildung 13: „best fit“: M. vocalis in der Frontalebene	54
Abbildung 14: „best fit“: M. vocalis in der Transversalebene	54
Abbildung 15: „best fit“: M. cricothyroideus bei medianem Zugang in der Sagittalebene	55
Abbildung 16: „best fit“: M. cricothyroideus medianer Zugang in der Frontalebene	55
Abbildung 17: „best fit“: M. cricothyroideus bei medianem Zugang in der Transversalebene	55
Abbildung 18: „best fit“: M. cricothyroideus bei paramedianem Zugang in der Sagittalebene	56

Abbildung 19: „best fit“: M. cricothyroideus bei paramedianem Zugang in der Frontalebene	56
Abbildung 20: „best fit“: M. cricothyroideus bei paramedianem Zugang in der Transversalebene	56
Abbildung 21: „best fit“: M. cricoarytaenoideus posterior bei anteriorem Zugang in der Sagittalebene.....	57
Abbildung 22: „best fit“: M. cricoarytaenoideus posterior bei anteriorem Zugang in der Frontalebene	57
Abbildung 23: „best fit“: M. cricoarytaenoideus posterior bei anteriorem Zugang in der Transversalebene	57
Abbildung 24: „best fit“: M. cricoarytaenoideus posterior bei lateralem Zugang in der Sagittalebene.....	58
Abbildung 25: „best fit“: M. cricoarytaenoideus posterior bei lateralem Zugang in der Frontalebene	58
Abbildung 26: „best fit“: M. cricoarytaenoideus posterior bei lateralem Zugang in der Transversalebene	58
Abbildung 27: Histologische Abbildung mit Farbstoffmarkierung im M. vocalis.....	XIII
Abbildung 28: Histologische Abbildung mit Farbstoffmarkierung im M. vocalis.....	XIII

1. Perkutane Nadelpositionierung in die Kehlkopfmuskulatur

Die perkutane Nadelpositionierung ist eine Methode, Nadelelektroden oder Injektionskanülen perkutan durch die Haut des Halses in einzelne laryngeale Muskeln zu platzieren. Erstmals wurde diese Methode 1916 von Seifert zur Behandlung der unilateralen Stimmlippenparese verwendet. Er injizierte Paraffin in die gelähmte Stimmlippe, um diese wieder zu medialisieren und die laryngealen Funktionen dadurch zu verbessern. Er wählte für diese Injektion einen perkutanen Zugang durch das Lig. cricothyroideum [in Hirano et al. 1990]. Heute ist die perkutane Injektion von Teflon immer noch eine mögliche und angewandte Methode zur Behandlung der unilateralen Stimmlippenparese [Harries u. Morrison 1998]. Ein weiteres Anwendungsgebiet der perkutanen Nadelpositionierung ist die Elektromyographie des Larynx. Im Rahmen der laryngealen Elektromyographie (LEMG) wurde diese Methode auf weitere Larynxmuskeln ausgeweitet. Nadelelektroden werden hierbei perkutan in einzelne Muskeln des Larynx gestochen, um extrazelluläre Muskelpotentiale abzuleiten und somit genauere Aussagen über die Nerven- und Muskelfunktion machen zu können. 1984 erlebte diese Methode, im Zusammenhang mit Botulinumtoxininjektionen in laryngeale Muskeln zur Behandlung der spasmodischen Dysphonie, neuen Aufschwung [Blitzer et al. 2002; Woo 1998].

Die Methode der perkutanen Insertion von Elektroden bzw. Injektionskanülen in Larynxmuskeln wird (in der Forschung) schon lange angewendet, hat sich aber in der klinischen Routine trotz seiner vielen Vorteile in Diagnostik und Therapie noch nicht durchgesetzt. Grund dafür sind vor allem Schwierigkeiten bei der genauen Positionierung der Nadeln, da die Positionierung bei der perkutanen Injektion praktisch blind erfolgt und die Muskeln des Larynx sehr fein sind und versteckt liegen [Yin et al. 1997; Mu u. Yang 1990; Parnes 1988].

1.1. LEMG

Die Elektromyographie von laryngealen Muskeln, über die Weddel et al zuerst 1944 berichteten [in Mu u. Yang 1990], wurde lange Zeit nur zu Forschungszwecken durchgeführt und ist erst seit den letzten Jahren eine Untersuchungsmethode, die auch in der Praxis angewandt wird. Sie ermöglicht die Beurteilung der funktionellen Integrität

eines Muskels und seines Motoneurons und ist somit eine wichtige Untersuchungsmethode für neuromuskuläre Krankheiten des Larynx [Kotby et al. 1992; Mu u. Yang 1990].

In der Literatur werden verschiedene Methoden der Platzierung der EMG-Elektroden in die Larynxmuskeln beschrieben. Im Gegensatz zur Ableitung mit Oberflächenelektroden, die eine selektive Ableitung einzelner Kehlkopfmuskeln wegen störender Überlagerungen aus anderen Muskeln nicht zulässt, erlaubt die intramuskuläre Ableitung mit Nadelelektroden die Messung extrazellulärer Muskelpotentiale, die eine genaue Aussage über die Nerven- und Muskelfunktion bieten [Pototschnig u. Thumfart 1999]. Die zwei Methoden, die gewöhnlich zur intramuskulären Ableitung genutzt werden, sind die von Thumfart 1981 vorgestellte transorale Elektrodeninsertion durch indirekte Laryngoskopie und die perkutane Elektrodeninsertion [Blair 1989; Thumfart 1981]. Die perkutane Nadelpositionierung ist eine nicht sehr aufwendige Technik, die vom Patienten gut toleriert wird und auch in ambulanter Behandlung durchgeführt werden kann. Weitere Vorteile der perkutan platzierten Elektroden sind ein stabilerer Elektrodensitz und ein geringeres Hindernis für phonatorische und respiratorische Kehlkopfbewegungen. Eine Schwierigkeit dieser Methode ist allerdings die genaue Positionierung der Elektroden, da die Larynxmuskeln sehr klein sind und die Insertion der Elektroden blind erfolgt [Parnes 1988; Blair 1989].

Ein wichtiges Anwendungsgebiet der LEMG ist die Differentialdiagnose laryngealer Bewegungsstörungen. Die klinische Bedeutung der LEMG liegt in der Klärung der Frage, ob einem Stimmlippenstillstand eine neurogene, eine arthrogene (mechanische Behinderung bei Ankylose des Krikoarytaenoidgelenkes) oder eine myogene Störung zugrunde liegt [Wendler et al. 1996; Rontal et al. 1993]. Bei Vorliegen einer Parese ist es möglich mit der LEMG eine differenzierte Aussage über Art, Schweregrad und Prognose der Lähmung zu machen [Herberhold u. Walther 1995]. Es kann bestimmt werden, ob der N. recurrens, der N. laryngeus superior oder beide betroffen sind. Diese Entscheidung kann allein unter visueller Inspektion (Laryngoskopie) anhand der Stimmlippenposition nicht getroffen werden [Parnes 1988; Wendler et al. 1996]. Außerdem ist die LEMG der einzige elektrophysiologische Test, der den Status der Muskeldenervation und der Reinnervation beurteilen kann und damit eine Grundlage für die weitere Therapie bietet [Woo 1998]. Bei einer Neurapraxie, bei der nur eine lokalisierte Demyelinisierung vorliegt und eine Funktionswiederkehr zu erwarten ist,

zeigen sich im LEMG einige wenige Aktionspotentiale, auch wenn in der Laryngoskopie ein kompletter Stimmlippenstillstand zu sehen ist. Im Gegensatz dazu zeigt sich bei einer degenerativen Lähmung (Axonotmesis, Neurotmesis) von der ersten bis zur dritten Woche nach Beginn der Lähmung im LEMG elektrische Stille. Nach dieser Periode kommt es zu typischen Denervationszeichen wie Fibrillationen und positiv scharfen Wellen. Diese Erkrankungen haben eine schlechte Prognose; eine Funktionswiederkehr ist nicht zu erwarten [Thumfart 1988; Wirth 1995]. Da durch die LEMG eine Vorhersage über die Funktionswiederkehr getroffen werden kann, ermöglicht sie dem Arzt eine sichere Entscheidung bezüglich der Behandlungsstrategie zu treffen. Der LEMG-Befund ist somit nicht nur für die Diagnose und Prognose, sondern auch für die weitere Behandlung entscheidend [Jacobs u. Finkel 2002; Parnes 1988]. Nach einer Nervenverletzung kann auch eine aberrante Nervenregeneration auftreten, die zu einer laryngealen Synkinesis führt. Es kommt zu einer synchronen Kontraktion von Muskeln, die normalerweise unabhängig voneinander innerviert werden (Adduktoren und Abduktoren der Stimmlippe). Die Diagnose ist häufig nur mit der LEMG zu stellen, da laryngoskopisch oft ein Stimmlippenstillstand imponiert, der rein visuell nicht weiter zu differenzieren ist [Blitzer et al. 1996; Crumley 1989]. Ein weiteres Anwendungsgebiet der LEMG ist das intraoperative Monitoring. Bei Operationen, die mit einem erhöhten Risiko der Verletzung eines laryngealen Nerven einhergehen wie z.B. Thyroidektomie, kann die Funktion des Nerven mit Hilfe der LEMG überwacht und so das Risiko einer Stimmlippenlähmung reduziert werden [Woo 1998].

Eine elektromyographische Untersuchung des Larynx sollte die drei Muskeln M. thyroarytaenoideus, M. cricothyroideus und M. cricoarytaenoideus posterior umfassen, um sowohl die Abduktoren und Adduktoren der Stimmlippe als auch alle den Larynx versorgenden Nerven zu testen. Besonderes diagnostisches Interesse findet der M. cricoarytaenoideus posterior als einziger inspiratorische Öffner der Glottis. Der M. thyroarytaenoideus dagegen verengt die Stimmritze. Beide Muskeln werden neural durch den N. recurrens versorgt. Der M. cricothyroideus spannt das Stimmband und wird als einziger äußerer Kehlkopfmuskel vom N. laryngeus superior innerviert [Yin et al. 1997; Thumfart 1981].

Trotz vieler Vorteile hat sich das LEMG in der klinischen Routine noch nicht etabliert. Grund dafür ist, dass die Durchführung dieser Untersuchungsmethode hohe

Anforderungen an den Untersucher stellt. Zum einen ist es schwierig, die Elektroden genau in die sehr feinen und versteckt liegenden Muskeln zu platzieren, insbesondere bei dem Verfahren der perkutanen Nadelinsertion, bei dem die Positionierung praktisch blind erfolgt. Die richtige Nadellage kann nur durch das EMG-Monitoring bestätigt werden, welches besonders im Falle von Lähmungen schwierig ist. Ebenso bestehen Schwierigkeiten bei adipösen und im Bereich des Larynx operierten Patienten. Zum anderen stellt auch die Interpretation der Myogramme hohe Anforderungen an den Untersucher [Yin et al. 1997; Mu u. Yang 1990; Parnes 1988; Thumfart 1981].

1.2. Botulinumtoxin

Botulinum-Toxine sind Exotoxine des *Clostridium botulinum*, eines grampositiven anaeroben Sporenbildners, deren Wirkung auf einer irreversiblen Blockierung der Acetylcholinfreisetzung an der präsynaptischen Membran der muskulären Endplatte beruht [Pototschnig u. Thumfart 1999]. Diese anticholinerge Wirkung des Botulinumtoxins wird therapeutisch genutzt, um einzelne Muskeln gezielt temporär chemisch zu denervieren und damit muskuläre Dysfunktionen sowie Störungen des autonomen Nervensystems zu behandeln.

Blitzer setzte 1986 zum ersten Mal Botulinumtoxin zur partiellen, temporären, medikamentösen Denervierung laryngealer Muskeln ein, um das Krankheitsbild der Spasmodischen Dysphonie zu behandeln [Blitzer et al. 1998]. Die Spasmodische Dysphonie ist eine Erkrankung, bei der sich Kehlkopfmuskeln dyston verkrampfen und somit zu Stimmstörungen führen. Durch eine lokale Injektion von Botulinumtoxin in die laryngeale Muskulatur kommt es zu einem Sistieren der unregelmäßigen Überaktivität. Der positive therapeutische Effekt ist allerdings nur passager, so dass nach durchschnittlich 4,5 Monaten erneute Behandlungen notwendig sind [Pototschnig u. Thumfart 1999].

Unterschieden werden bei der spasmodischen Dysphonie ein Adduktortyp, der weitaus häufiger vorkommt und durch eine Botulinum-Toxin-Injektion in den *M. thyroarytaenoideus* behandelt wird, und ein Abduktortyp, bei dem es zu einem Öffnungskampf bei der Phonation kommt und der *M. cricoarytaenoideus posterior* die Zielmuskulatur für die Injektion darstellt [Rohrbach u. Laskawi 2003]. Die Injektion kann grundsätzlich transoral oder perkutan erfolgen. In der Literatur erscheint die perkutane

EMG-gesteuerte Injektion als häufigste Behandlungsart, bei der eine spezielle Kanüle gleichzeitig als EMG-Elektrode und Injektionskanüle dient [Pototschnig u. Thumfart 1999]. Die Injektion kann aber auch direkt perkutan, nicht EMG-gesteuert, durchgeführt werden, wobei eine genaue Positionierung der Injektionskanüle entscheidend ist.

Eine weitere mögliche laryngeale Anwendungsmöglichkeit von Botulinumtoxin ist der beidseitige Stimmlippenstillstand mit einer Paramedianstellung der Stimmlippen und Dyspnoe. Durch Botulinumtoxininjektionen in beide Mm. cricothyroidei soll es zu einer Änderung der Stimmlippenposition in eine Intermediärstellung kommen. Dies sollte eine ausreichende Luftzufuhr gewährleisten und so ggf. eine Tracheotomie vermeiden. Durch entsprechende Nachinjektionen könnte die Zeit bis zur Regeneration der Nervenfunktion überbrückt werden [Rohrbach u. Laskawi 2003].

1.3. Grundlagen

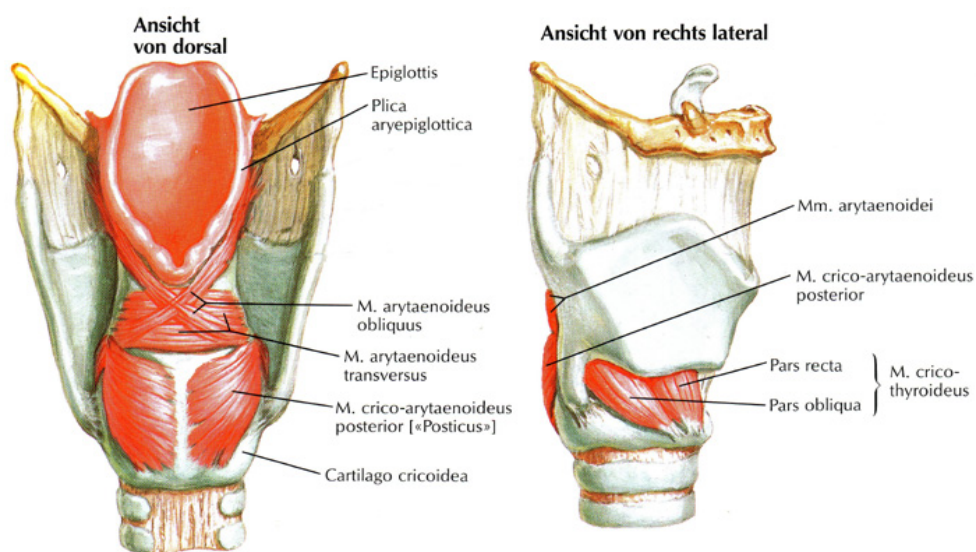


Abbildung 1: Dorsale und laterale Ansicht des Larynx
(modifiziert nach Netter 1997)

Das Kehlkopfgerüst des Larynx besteht aus den nachfolgend beschriebenen drei hyalinen Knorpeln sowie den elastischen Knorpeln Epiglottis und den Spitzen der Aryknorpeln aufsitzenden funktionslosen akzessorischen Knorpeln.

Der **Schildknorpel** (Cartilago thyroidea) besteht aus zwei großen Laminae, die in der Medianebene bei Männern in einem Winkel von 90° und bei Frauen in einem Winkel von 120° verbunden sind. Der dorsale Rand beider Platten bildet je ein unteres Horn (Cornu inferius) und ein oberes Horn (Cornu superius).

Der **Ringknorpel** (Cartilago cricoidea) gleicht einem Siegelring. Der ventral gelegene Bogen verbreitert sich nach hinten hin zu einer Ringknorpelplatte (Lamina cartilaginosa cricoidea). Er besitzt lateral zwei Gelenkflächen, die eine gelenkige Verbindung mit dem Cornu inferius des Schildknorpels und den Stellknorpeln darstellen. Verbunden sind Ring- und Schildknorpel durch das Lig. cricothyroideum (Lig. conicum).

Die paarigen **Aryknorpel** (Cartilago arytaenoidea) gleichen einer dreikantigen Pyramide und sitzen den Gelenkflächen des Ringknorpels auf. Jeder Aryknorpel (Stellknorpel) besitzt zwei Processus. Nach lateral ragt der Proc. muscularis vor, der den Ansatz für den M. cricoarytaenoideus posterior und den M. cricoarytaenoideus lateralis darstellt. Die mediane Fläche bildet mit ihrer unteren Kante den Processus vocalis, an dem das Lig. vocale ansetzt [Aronson 1980; Schiebler et al. 1999].

Der **M. thyroarytaenoideus** ist an der inneren Oberfläche im Winkel des Schildknorpels befestigt und zieht zu der anterolateralen Oberfläche der Aryknorpel. Der M. thyroarytaenoideus besteht aus einem lateralen und einem medialen (M. vocalis) Teil. Bei Kontraktion des M. thyroarytaenoideus schließt sich die Glottis anteroposterior. Innerviert wird der M. thyroarytaenoideus durch den N. laryngeus inferior [Cooper 1992; Aronson 1980].

Der **M. cricothyroideus** besteht aus zwei Teilen: einem vertikalen (pars recta) und einem mehr horizontalen Teil (pars obliqua). Die vertikalen Fasern ziehen von der anterolateralen Oberfläche des Ringknorpelbogens zur unteren Kante des Schildknorpels. Die horizontalen Fasern ziehen von der anterolateralen Oberfläche des Ringknorpelbogens zu den Unterhörnern des Schildknorpels. Er ist der einzige äußere Kehlkopfmuskel und wird als einziger Kehlkopfmuskel vom Ramus externus des N. laryngeus superior innerviert. Bei seiner Kontraktion wird das Stimmband gespannt [Cooper 1992; Aronson 1980].

Der **M. cricoarytaenoideus posterior** ist an der Hinterfläche der Ringknorpelplatte befestigt und zieht zum Processus muscularis der Arytaenoidknorpel. Innerviert wird der M. cricoarytaenoideus posterior vom N. laryngeus inferior. Der M. cricoarytaenoideus posterior ist der einzige Stimmritzenöffner, bei Kontraktion wird die Stimmritze zur Respirationstellung erweitert und das Stimmband wird gespannt [Cooper 1992; Aronson 1980].

1.4. Techniken der perkutanen Nadelpositionierung in der Literatur

Die Nadelpositionierung in den M. vocalis wird in der Literatur relativ einheitlich beschrieben. Der Nadeleinstich erfolgt immer durch das krikothyroidale Ligament, einige Autoren empfehlen aber im Gegensatz zu einem medianen Einstichpunkt eine paramediane Einstichstelle. Nach einem medianem Einstich soll die Nadel in kranialer (45°) und lateraler (20° bis 30°) Richtung vorgeschoben werden [Blitzer et al. 2002; Mu u. Yang 1990; Parnes 1988]. Andere Autoren beschreiben eine Einstichstelle von 0.3 cm bis 0.5 cm paramedian [Yin et al. 1997; Simpson et al. 1993]. Yin et al. empfehlen, die Nadel nach 0.3 cm paramedianem Einstich je 45° kranial und lateral vorzuschieben [Yin et al. 1997]. Simpson et al. sind die einzigen Autoren, die einen unterschiedlichen Einstichwinkel für Frauen und Männer angeben. Nach einem 0.5 cm paramedianem Einstich soll die Nadel bei Frauen 30° kranial und bei Männern 45° kranial vorgeschoben werden [Simpson et al. 1993]. Die Einstichtiefe variiert sehr stark von 2 cm [Simpson et al. 1993] bis 5 cm [Parnes 1988].

Zur Positionierung von Nadeln in den M. cricothyroideus werden in der Literatur verschiedene Methoden beschrieben. Mu und Yang beschreiben einen medianen Einstichpunkt auf Höhe des Ringknorpels. Nach Einstich soll die Nadel lateral und leicht kranial mit einer Einstichtiefe von 0.5 cm bis 1 cm platziert werden [Mu u. Yang 1990]. Simpson et al. stechen die Nadel 0.5 cm paramedian auf Höhe des Ringknorpels ein, kippen die Nadel 30° bis 45° lateral und schieben sie 1 cm tief vor [Simpson et al. 1993]. Außerdem gibt es die Möglichkeit, einen paramedianen Zugang zu nutzen, ohne die Nadel anschließend in lateraler Richtung vorzuschieben. Parnes beschreibt eine Einstichstelle 1 cm paramedian unterhalb des Schildknorpels, wo die Elektrode einige Millimeter tief eingestochen wird [Parnes 1988]. Yin et al. dagegen haben einen Einstichpunkt festgelegt, der sich der Größe der einzelnen Kehlköpfe

anpasst. Als Orientierungspunkt wählen sie eine horizontale Linie durch den krikothyroidalen Spalt, die von der Medianlinie bis zur hinteren Kante der Schildknorpelplatte reicht. Als Zugangspunkt dient die Stelle zwischen lateralem und mittlerem Drittel dieser Linie. Die Nadel wird an dieser Stelle senkrecht auf den Ringknorpel zu eingestochen [Yin et al. 1997].

Für die Nadelpositionierung in den M. cricoarytaenoideus posterior werden grundsätzlich zwei verschiedene Techniken beschrieben. Zum einen gibt es die Möglichkeit, den Muskel über einen lateralen Zugang zu erreichen, zum anderen kann ein anteriorer, percartilaginöser Zugang durch das Lig. cricothyroideum genutzt werden. Die Nadelpositionierung über einen lateralen Zugang ist die ältere Methode, die auf Hiroto 1962 zurückgeht [in Mu u. Yang 1990]. Die Nadel wird am unteren Horn des Schildknorpels eingestochen und dann nach medial vorgeschoben. Yin et al. und Mu u. Yang beschreiben neben der medialen auch eine posteriore Richtung nach Einstich der Nadel, und Mu u. Yang geben zusätzlich eine Einstichtiefe von 3.0 cm bis 3.5 cm an [Blitzer et al. 2002; Yin et al. 1997; Mu u. Yang 1990].

Die Nadelpositionierung in den M. cricoarytaenoideus posterior über einen anterioren, percartilaginösen Zugang wird zuerst von Mu und Yang beschrieben. Der Einstich erfolgt in der Medianlinie über dem Ringknorpel. Zuerst wird das Lig. cricothyroideum, dann die hintere Ringknorpelplatte durchstoßen. Blitzer et al. geben zusätzlich eine laterale Richtung der Nadelplatzierung an. Während Blitzer et al. beide Methoden beschreiben, jedoch keine Wertung vornehmen, schreiben Mu u. Yang der anterioren, percartilaginösen Technik mehrere Vorteile zu. Zum einen soll mit dieser Methode eine genauere Platzierung der Nadeln möglich sein, es kommt nicht zu Dislokationen während der Aufzeichnungen, und es gibt im Gegensatz zu der älteren Methode keine Nebenwirkungen wie z.B. Hämatome [Blitzer et al. 2002; Mu u. Yang 1990].

Alle hier genannten Angaben zur perkutanen Nadelplatzierung scheinen Erfahrungswerte der jeweiligen Autoren zu sein, die im Rahmen von LEMG und Botulinumtoxininjektionen an Patienten gewonnen wurden. Nur Mu und Yang haben Versuche an 100 Hunden durchgeführt, in denen Elektroden unter Sicht in die laryngealen Muskeln eingeführt worden sind [Mu u. Yang 1990].

1.5. Ziel

Ziel dieser Studie ist es, die Präzision der perkutanen Positionierung von EMG-Nadeln bzw. Injektionskanülen in Larynxmuskeln zu erhöhen. Anhand von systematischen Versuchen an Leichen sollen verschiedene perkutane Zugänge und verschiedene Techniken der perkutanen Nadelpositionierung in einzelne klinisch relevante laryngeale Muskeln getestet und miteinander verglichen werden. Ziel ist es weiterhin, klinische Landmarken und auch Winkel- und Tiefenangaben zu finden, um die Positionierung von Elektroden und Kanülen zu vereinfachen und damit eine für die Klinik praktikable und zuverlässige Methode der perkutanen Nadelpositionierung zu finden.

2. Material und Methode

2.1. Stichprobenbeschreibung

Alle Versuche wurden an Verstorbenen im Institut für Rechtsmedizin der Universitätsklinik Hamburg-Eppendorf durchgeführt. Die Versuche fanden im Rahmen von Verwaltungssektionen statt, denen Verwandte der Toten zuvor zugestimmt hatten. Es wurden ausschließlich Leichen untersucht, bei denen die Todesursache nicht im Bereich des Halses zu finden war, und keine Vorerkrankungen der Halsorgane bekannt waren.

Es wurden Versuche an 40 Leichen, 22 männlichen und 18 weiblichen, durchgeführt. Das Alter der Verstorbenen reicht von 31 bis 93 Jahren, der Mittelwert beträgt 63 Jahre. Die mittlere Körpergröße beträgt 171 cm, wobei Tote mit Körpergrößen von 156 cm bis 184 cm zur Stichprobe gehören. Die jeweiligen Körpergewichte reichen von 45 kg bis 111 kg, der Mittelwert beträgt 73 kg.

2.2. Versuchsdurchführung

Zur Vorbereitung wurden zuerst einige Kehlköpfe nur präpariert, um die genaue Anatomie der Larynxmuskeln und mögliche perkutane Zugänge zu diesen zu erkennen.

Anschließend wurden 10 Testläufe durchgeführt, um geeignete Verfahren zur Markierung der internen Kanülenspitzenposition und zur Messung der jeweiligen externen räumlichen Einstichposition der Kanüle zu testen. Zur Vermessung der externen Lage der Injektionskanüle hat sich ein in der Mitte halbiertes Geodreieck als geeignet herausgestellt. Zur Markierung der inneren Kanülenspitzenposition wurden verschiedene Farblösungen getestet, die in den Zielmuskel injiziert werden können. Die verwendete Farbstofflösung sollte sowohl zur Markierung der Nadelposition im Gewebe als auch in histologischen Schnitten geeignet sein. Die besten Ergebnisse wurden mit dem „Histological Marking System“ der Firma WAK-CHEMIE MEDICAL GMBH erreicht. Es wurden zwei verschiedene Farbtöne ausgewählt, um nahe beieinander liegende Injektionen voneinander unterscheiden zu können (siehe Anhang

Abb.27 u. 28). Die Ergebnisse dieser Vorversuche sind nicht zur Auswertung gekommen.

Die ausgewerteten Messungen sind in einem Zeitraum von 6 Monaten bei 40 Leichen durchgeführt worden.

Die Messungen erfolgen an der auf dem Rücken liegenden Leiche. Durch einen Block, der unter den oberen Teil des Rückens geschoben wird, kann der Kopf in eine reklinierte Position gebracht und der Hals dadurch überstreckt werden. Aufgrund der Leichenstarre ist es allerdings nicht immer möglich den Kopf optimal zu reklinieren. Anschließend werden Schildknorpel und Ringknorpel palpirt. Zwischen diesen beiden Knorpeln ist das Spatium cricothyroideum als Vertiefung zu tasten. Das Spatium cricothyroideum mit darunter liegendem Lig. cricothyroideum ist eine wichtige Landmarke bei perkutanen Interventionen des Larynx.

Zwei 1 ml- Einmalspritzen werden jeweils mit einer Farbstofflösung unterschiedlicher Farbe aufgezogen und Einmal-Injektions-Kanülen (0.80x 40 mm) aufgesetzt. Eine Kanüle mit Farblösung wird nun in den linken M. vocalis gestochen (genaue Beschreibung siehe 2.2.1., Abb. 2-4). Nach Platzierung der Kanüle werden ca. 0.1 ml der Farbstofflösung injiziert. Anschließend wird die externe Position der Kanüle durch das Messen von den Einstichwinkeln in drei Ebenen bestimmt (siehe 2.2.1.). Zusätzlich wird die Nadelposition durch Fotoaufnahmen aus allen drei Ebenen festgehalten. Nachdem die Nadelposition vermessen worden ist, wird an der Kanüle die Eintrittsstelle in die Haut markiert. So kann nach Herausziehen der Kanüle an einem Zentimetermaß die Einstichtiefe abgelesen werden. Anschließend wird eine Kanüle mit einer Farbstofflösung anderer Farbe in den rechten M. vocalis platziert. Dem linken M. vocalis entsprechend, wird auch hier nach Platzierung der Kanüle Farbstoff injiziert und die externe Nadelposition sowie die Einstichtiefe ausgemessen.

Anschließend wird nacheinander jeweils eine Kanüle mit Farblösung zuerst in linken, dann in den rechten M. cricothyroideus (genau Beschreibung siehe 2.2.2.) platziert. Auch hier wird nach Positionierung der einzelnen Kanülen jeweils etwa 0.1 ml Farbstoff injiziert, um die Position der Nadelspitze zu markieren. Zur Markierung von linkem und rechtem Muskel werden auch hier verschiedene Farben verwendet, um die Farbdepots bei anschließender Präparation genau zuordnen zu können. Nach der Injektion wird

jeweils die externe Position der Kanüle durch das Messen von den Einstichwinkeln in drei Ebenen bestimmt (siehe 2.2.1., Abb. 2-4). Nachdem die Nadelposition vermessen worden ist, wird die Einstichtiefe an der Nadel markiert und kann dann nach Herausziehen der Kanüle an einem Zentimetermaß abgelesen werden.

Zum Schluss wird nacheinander jeweils eine Kanüle in den linken, dann in den rechten M. cricoarytaenoideus posterior platziert (genaue Beschreibung siehe 2.2.3.). Entsprechend den anderen Muskeln wird Farbstofflösung injiziert und anschließend die externe Einstichposition der Kanülen und der Einstichtiefe vermessen (siehe 2.2.3., Abb. 5-7). Alle Nadelpositionen werden durch Fotoaufnahmen dokumentiert. Außerdem werden alle gemessenen Werte in einem Protokoll notiert.

Teilweise wird eine zweite Injektion in einen Muskel durchgeführt, um einen direkten Vergleich von verschiedenen Einstichwinkeln an einem Muskel zu bekommen.

Anschließend wird der Larynx über einen Kragenschnitt exentriert, präpariert und die einzelnen Muskeln dargestellt (siehe 2.3.). Die injizierten Farbstoffmarkierungen werden aufgesucht und der Abstand zu dem optimalen Treffpunkt (Muskelmitte) ausgemessen. Auch diese Daten werden in dem Protokoll vermerkt und zusätzlich durch Fotoaufnahmen festgehalten. Teilweise wurden von Mm. vocales histologische Schnitte angefertigt (siehe Anhang Abb. 27 u. 28).

Für jeden Muskel werden folgende Parameter bestimmt:

- Einstichstelle
- Externe Nadelposition:
 - Einstichwinkel in der Sagittalebene [°]
 - Einstichwinkel in der Transversalebene [°]
 - Einstichwinkel in der Frontalebene [°]
- Einstichtiefe [cm]
- Position der Nadelspitze bzw. Lage des injizierten Farbstoffdepots
 - Farbstoffdepot im Zielmuskel/ nicht im Zielmuskel
 - Entfernung des Farbstoffdepots zum Muskelmittelpunkt [cm]

2.2.1. M. vocalis

Der Untersucher (Rechtshänder) steht auf der rechten Seite des Probanden, sowohl zur Injektion in den linken als auch in den rechten M. vocalis. Schildknorpel, Ringknorpel und Lig. cricothyroideum werden palpiert und als Landmarken genutzt. Der Nadeleinstich erfolgt in der Medianlinie über dem Lig. cricothyroideum an der Oberkante des Ringknorpels. Nach Durchstechen des Lig. cricothyroideum, welches als Widerstand empfunden wird, wird die Nadel in kranialer und lateraler Richtung vorgeschoben, bis der M. vocalis als sehr leichter Widerstand wahrgenommen wird. Der Farbstoff wird injiziert.

Anschließend wird die äußere Position der Nadel mit Hilfe eines halbierten Geodreiecks folgendermaßen gemessen:

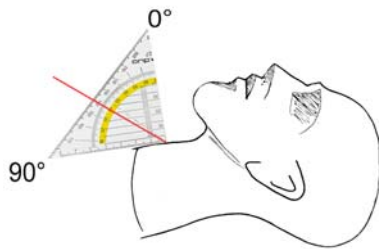


Abbildung 2:
Messen des Einstichwinkels in der Sagittalebene bei anteriorem Zugang

Zuerst wird die Lage der Kanüle in der Sagittalebene gemessen. Das Geodreieck wird mit der rechtwinkligen Ecke an der Einstichstelle angesetzt und liegt mit der einen Kante in der Medianlinie nach kaudal zeigend dem Ringknorpel auf. Die freie Kante des Geodreiecks zeigt 0 Grad an, die dem Ringknorpel aufliegende Kante zeigt 90 Grad. Der Winkel kann nun vom Untersucher, der lateral der Leiche steht, abgelesen werden (siehe Abb. 2). Dieser Winkel beschreibt, wie weit die Kanüle nach Einstechen durch das Lig. cricothyroideum in kaudaler Richtung gekippt wird.

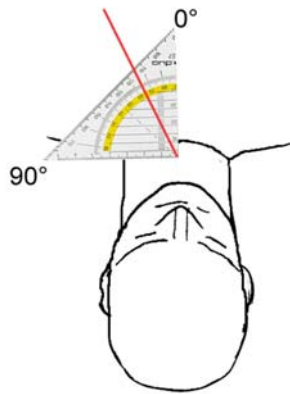


Abbildung 3:
Messen des Einstichwinkels in der Transversalebene bei anteriorem Zugang

Der zweite Winkel beschreibt die Position der Nadel in der Transversalebene. Der Untersucher steht an der Kopfseite der Leiche und blickt über den Kopf hinweg auf die Kanüle. Das Geodreieck wird mit der rechtwinkligen Ecke an der Einstichstelle angesetzt. Eine Kante liegt dem Hals in lateraler Richtung auf, die andere freie Kante zeigt nach frontal. Die freie Kante zeigt 0 Grad an, die aufliegende Kante 90 Grad. Der Winkel kann so abgelesen werden (siehe Abb. 3).

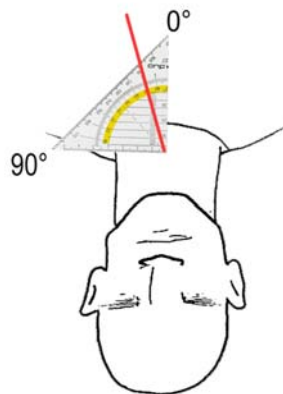


Abbildung 4:
Messen des Einstichwinkels in der Frontalebene bei anteriorem Zugang

Der dritte Winkel, der gemessen wird, beschreibt die Position der Nadel in der Frontalebene. Das Geodreieck wird so angelegt, dass die rechtwinklige Ecke an der Einstichstelle ansetzt und die Fläche dem Hals aufliegt. Die eine Kante liegt in der Medianlinie und zeigt nach kaudal, die andere Kante zeigt nach lateral. Die nach kaudal liegende Kante zeigt 0 Grad an, die nach lateral liegende Kante 90 Grad. Der Untersucher kann durch den Blick von oben auf das Geodreieck ablesen, an welcher Stelle sich die Nadel auf dem Geodreieck projiziert (siehe Abb. 4).

2.2.2. M. cricothyroideus

Die Platzierung der Injektionskanüle in den M. cricothyroideus erfolgte nach zwei verschiedenen Methoden.

Paramedianer Zugang. Die Injektion erfolgt über eine paramediane Einstichstelle. Der Ringknorpel wird in der Mittellinie palpiert, da er dort am besten zu tasten ist und dann in lateraler Richtung verfolgt. Anschließend wird die Kanüle paramedian auf Höhe des Ringknorpels gerade, in einem Winkel von 90 Grad auf den Ringknorpel zu, eingestochen. Bei Kontakt der Nadelspitze mit dem Knorpel wird die Nadel minimal zurückgezogen und der Farbstoff injiziert. Neben den Einstichwinkeln und der -tiefe wird bei Versuchen nach dieser Methode auch die Einstichstelle ausgemessen. Mit Hilfe eines Zentimetermaßes, das an der Einstichstelle angelegt wird, wird gemessen, wie viele cm paramedian die Nadel eingestochen wurde.

Medianer Zugang. Die Injektion erfolgt über eine mediane Einstichstelle. Der Ringknorpel wird palpiert. Der Einstich erfolgt median auf Höhe des Ringknorpels. Die Kanüle wird, in einem 90°-Winkel auf den Knorpel zu, eingestochen, bis die Spitze auf den Knorpel trifft. Bei Kontakt mit dem Knorpel wird die Kanüle in lateraler und leicht kranialer Richtung etwa 1.5 cm entlang des Ringknorpels vorgeschoben. Der Farbstoff wird injiziert.

Die externe Nadelposition wird, wie unter 2.2.1. beschrieben, entsprechend in den drei Ebenen ausgemessen, ebenso wird bei jeder Injektion auch die Einstichtiefe nach oben beschriebenem Schema gemessen.

2.2.3. M. cricoarytaenoideus posterior

Zur Platzierung der Kanüle in den M. cricoarytaenoideus posterior wurden zwei verschiedene Zugänge genutzt.

Lateraler Zugang. Der Untersucher steht bei der Injektion in den linken M. cricoarytaenoideus posterior auf der linken Seite der Leiche, bei Injektion in den rechten Muskel auf der rechten Seite. Der Larynx wird mit dem Daumen und den ersten zwei Fingern der linken Hand gehalten. Die Finger liegen den lateralen Flügeln des Schildknorpels an. Der Larynx wird dann leicht von der zu untersuchenden Seite weggekippt. Der dorsale Rand des Schildknorpels wird palpiert und anschließend das Cornu inferius des Thyroidknorpels aufgesucht. Oberhalb des Cornu inferius ist eine kleine Einbuchtung in der hinteren Kante des Schildknorpels. An dieser Stelle wird die

Kanüle inseriert und nach medial etwa 2.7 cm in den M. cricoarytaenoideus posterior vorgeschoben.

Die externe Nadelposition wird mit Hilfe eines vollständigen Geodreiecks folgendermaßen vermessen:

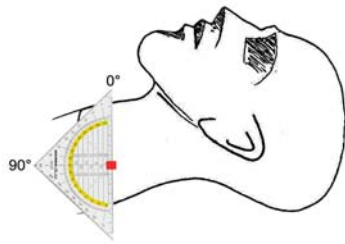


Abbildung 5:
Messen des Einstichwinkels in der Sagittalebene bei lateralem Zugang

Der erste Winkel, der gemessen wird, beschreibt die Kanülenposition in der Sagittalebene. Der Untersucher steht seitlich der Leiche. Das Geodreieck wird so angelegt, dass die Nullmarke an der Einstichstelle anliegt, die freien Enden zeigen nach ventral und dorsal. Die Fläche liegt dem Hals an. Der Winkel kann durch einen Blick von der Seite abgelesen werden (siehe Abb. 5).

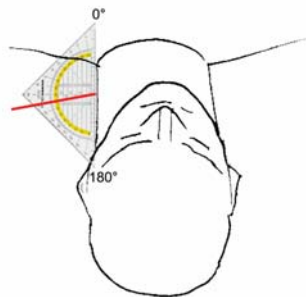


Abbildung 6:
Messen des Einstichwinkels in der Transversalebene bei lateralem Zugang

Bei Messen des Einstichwinkels in der Transversalebene liegt das Geodreieck nur mit der langen Seite dem Hals an, die Nullmarke liegt an der Einstichstelle. Die freien Enden zeigen nach ventral bzw. dorsal, die freie Ecke zeigt nach lateral. Durch den Blick vom Kopfende der Leiche kann der Winkel abgelesen werden (siehe Abb. 6).

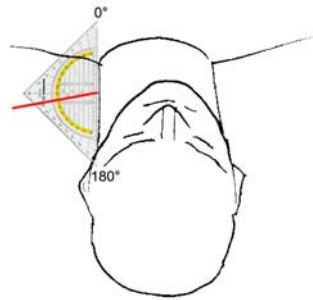


Abbildung 7:
Messen des Einstichwinkels in
der Frontalebene bei lateralem
Zugang

Der dritte gemessene Winkel beschreibt die Lage der Kanüle in der Frontalebene. Das Geodreieck wird so angelegt, dass die lange Kante dem Hals anliegt, die freien Enden zeigen nach kaudal bzw. kranial. Der Winkel kann vom Untersucher durch den Blick von oben auf das Geodreieck abgelesen werden (siehe Abb. 7).

Anteriorer, percartilaginöser Zugang. Ringknorpel und Lig. cricothyroideum werden palpirt. Der Einstich erfolgt dann median auf Höhe des Lig. cricothyroideum an der oberen Kante des Ringknorpels. Nach Durchstechen des Lig. cricothyroideum wird die Kanüle leicht lateral vorgeschoben, bis sie im subglottischen Raum auf die Ringknorpelplatte stößt. Diese Knorpelplatte wird durchstoßen, welches als plötzlicher Widerstandverlust wahrgenommen wird. Nach Durchstechen der Lamina befindet sich die Kanülenspitze im M. cricoarytaenoideus posterior, der der Ringknorpelplatte direkt aufliegt. Die Farblösung kann injiziert werden. Die externe Nadelposition wird, wie unter 2.2.1. (siehe Abb. 2-4) beschrieben, ausgemessen.

2.3. Präparation

Der Kehlkopf wird zusammen mit den Halsorganen als ein Paket entnommen. Es wird ein Kragenschnitt durchgeführt, anschließend wird die Haut des Halses bis zum Unterrand des Unterkiefers abpräpariert. Die Mundbodenmuskulatur wird nun in der Mittellinie durchstoßen und scharf am inneren Unterkieferrand abgelöst. Anschließend wird die Zunge vorgezogen und der weiche Gaumen am harten Gaumen durchstoßen und umschnitten. Anschließend können die Halsorgane unter Zug von der Halswirbelsäule gelöst und das gesamte Paket mit Zunge, Larynx und einem Teil der Trachea aus der Leiche entnommen werden.

Die Präparation des Larynx beginnt dorsal. Ösophagus und Hypopharynx werden von der Kehlkopfrückseite kaudal beginnend und bis an die aryepiglottischen Falten reichend abgelöst und dort abgetrennt. Der M. cricoarytaenoideus posterior stellt sich nun auf der Rückseite der Ringknorpelplatte liegend dar. Ventral werden die Mm. omohyoideus, sternohyoideus und sternothyroideus scharf abgetrennt und nach oben geklappt. Anschließend wird die Schilddrüse abpräpariert. Schildknorpelvorderfläche sowie ein Teil des Ringknorpels liegen nun frei, und der M. cricothyroideus stellt sich dar [Maxeiner 1986]. Anschließend wird der Übersicht halber das Zungenbein mit Zunge und Muskulatur des Zungenbeins abgetrennt. Zu sehen sind jetzt nur noch ein Teil der Trachea und das knorpelige Gerüst des Larynx mit den zwei bereits dargestellten Muskeln. Nun wird dorsal die Lamina des Ringknorpels durch einen median-sagittalen Schnitt mit einer Knochenschere eröffnet. Der Einblick in den Kehlkopf und damit die Sicht auf die Mm. vocales wird erleichtert, indem man das Kehlkopfskelett durch kräftiges Auseinanderziehen der beiden Hälften aufbricht [Maxeiner 2003]. Die einzelnen Muskeln werden nun noch angeschnitten, um die Farbstoffdepots in den Muskeln genau darzustellen.

2.4. Statistische Auswertung

Die Daten wurden in Microsoft-Excel eingegeben und auf einem Windows-PC unter SPSS in der Version 10.0 ausgewertet. Da die vorliegende Untersuchung als explorative zu gelten hat, wurden die Fehlerwahrscheinlichkeiten generell zweiseitig berichtet und es wurde auf Alpha-Niveau-Adjustierungen nach Bonferroni bzw. Bonferroni-Holm verzichtet.

Um lineare Zusammenhänge der Einstichwinkel und –tiefen mit dem jeweiligen Erfolgsmerkmal aufdecken zu können, wurden diese Merkmale als intervallskaliert aufgefasst und mit Student's t-Test für unabhängige Stichproben untersucht. Gleichzeitig wurden die genannten Merkmale zusätzlich in Gruppen zusammengefasst und mittels χ^2 –Test auf Verteilungsunterschiede des Erfolgsmerkmals hin analysiert. Zusätzlich wurden zweifaktorielle univariate Varianzanalysen mit Ausgabe der Effektstärken gerechnet. Varianzanalysen gelten als robust gegen Verletzungen der Voraussetzung der Normalverteiltheit [Backhaus et al. 1990].

Alle intervallskalierten Variablen wurden mittels Kolmogorov-Smirnoff-Test auf Normalverteiltheit untersucht (Ergebnis nicht berichtet). Da etwa 40% der Merkmale signifikante Abweichungen zeigen, wurden in der vorliegenden Arbeit Spearman-Rangkorrelationen zur Beschreibung von Zusammenhängen eingesetzt.

3. Ergebnisse

3.1. M. vocalis

40 Farbstoffinjektionen wurden am linken M. vocalis durchgeführt. In 30 Fällen (75%) konnte der Farbstoff in den M. vocalis injiziert werden, in 10 Fällen (25%) befand sich das Farbstoffdepot nicht innerhalb des Zielmuskels.

An dem rechten M. vocalis wurden 42 Injektionen durchgeführt. In 27 Fällen (64%) befand sich der injizierte Farbstoff im entsprechenden M. vocalis, in 15 Fällen (36%) nicht.

Tabelle 01: Häufigkeiten der Probanden mit erfolgreich (im Muskel liegendem) bzw. nicht erfolgreich injiziertem Farbstoffdepot im Vergleich zu den Gruppen des Einstichwinkels in der Sagittalebene in den M. vocalis

	Im Muskel liegendes Farbstoffdepot		Farbstoffdepot nicht im Muskel	
	<i>n</i>	<i>n</i> (%)	<i>n</i>	<i>n</i> (%)
<i>M. vocalis links</i>				
Einstichwinkel Sagittalebene < 50°	0	0	0	0
Einstichwinkel Sagittalebene 50°-54°	1	33	2	67
Einstichwinkel Sagittalebene 55°-59°	2	67	1	33
Einstichwinkel Sagittalebene 60°-64°	19	79	5	21
Einstichwinkel Sagittalebene 65°-70°	8	80	2	20
<i>M. vocalis rechts</i>				
Einstichwinkel Sagittalebene < 50°	0	0	2	100
Einstichwinkel Sagittalebene 50°-54°	2	100	0	0
Einstichwinkel Sagittalebene 55°-59°	7	64	4	36
Einstichwinkel Sagittalebene 60°-64°	12	63	7	37
Einstichwinkel Sagittalebene 65°-70°	6	75	2	25

Anmerkungen. Die Prozentzahlen werden gerundet angegeben.

n (Im M. vocalis links liegendes Farbstoffdepot) = 30, *n* (Farbstoffdepot nicht im Muskel) = 10. *n* (Im M. vocalis rechts liegendes Farbstoffdepot) = 27, *n* (Farbstoffdepot nicht im Muskel) = 15.

M. vocalis links: $\chi^2 = 3.24$, $p = .355$. M. vocalis rechts: $\chi^2 = 5.12$, $p = .275$.

Die Verteilungen der Gruppen der Einstichwinkel in der Sagittalebene unterscheiden sich in den Häufigkeiten erfolgreich bzw. nicht erfolgreich injizierter Farbstoffdepots nicht signifikant. Bei einem Einstichwinkel größer als 60° scheint aber eine erhöhte Häufigkeit einer erfolgreichen Platzierung des Farbstoffdepots in den Zielmuskel zu liegen (siehe Tab. 01).

Auch rechts konnten mittels des χ^2 –Tests keine signifikanten Unterschiede der Verteilungen der Gruppen der Einstichwinkel in der Sagittalebene gefunden werden. 60% der erfolgreichen Injektionen wurden bei Einstichwinkeln zwischen 50° und 70° erzielt, bei einem Einstichwinkel kleiner als 50° konnte kein Farbdepot in den Zielmuskel platziert werden (siehe Tab. 01).

Tabelle 02: Häufigkeiten der Probanden mit erfolgreich (im Muskel liegendem) bzw. nicht erfolgreich injiziertem Farbstoffdepot im Vergleich zu den Gruppen des Einstichwinkels in der Transversalebene in den M. vocalis

	Im Muskel liegendes Farbstoffdepot		Farbstoffdepot nicht im Muskel	
	<i>n</i>	<i>n</i> (%)	<i>n</i>	<i>n</i> (%)
M. vocalis links				
Einstichwinkel Transversalebene 0°-9°	0	0	0	0
Einstichwinkel Transversalebene 10°-19°	25	89	3	11
Einstichwinkel Transversalebene 20°-29°	5	46	6	55
Einstichwinkel Transversalebene 30°-39°	0	0	1	100
M. vocalis rechts				
Einstichwinkel Transversalebene 0°-9°	1	100	0	0
Einstichwinkel Transversalebene 10°-19°	21	66	11	34
Einstichwinkel Transversalebene 20°-29°	5	56	4	44
Einstichwinkel Transversalebene 30°-39°	0	0	0	0

Anmerkungen. Die Prozentzahlen werden gerundet angegeben.

n (Im M. vocalis links liegendes Farbstoffdepot) = 30, *n* (Farbstoffdepot nicht im Muskel) = 10. *n* (Im M. vocalis rechts liegendes Farbstoffdepot) = 27, *n* (Farbstoffdepot nicht im Muskel) = 15. M. vocalis links: $\chi^2 = 11.17$, $p = .004$. M. vocalis rechts: $\chi^2 = 0.88$, $p = .644$.

Die Häufigkeiten erfolgreich bzw. nicht erfolgreich injizierter Farbdepots in den linken M. vocalis sind bezüglich der Einstichwinkelgruppen in der Transversalebene sehr signifikant unterschiedlich ($p = .004$). Bei einem Einstichwinkel zwischen 10° und 19° zeigt sich die höchste Prozentzahl an erfolgreich injizierten Farbdepots (siehe Tab. 02). Von 28 Kanülen, die in diesem Winkel eingestochen wurden, konnten 25 erfolgreich in den Zielmuskel platziert werden, nur drei verfehlten den Muskel. Es scheint, als ob die Ergebnisse schlechter werden, je größer der Einstichwinkel ist. In einem Winkel kleiner als 10° ist keine Kanüle eingestochen worden (siehe Tab. 02).

Beim rechten M. vocalis ist die Verteilung der Einstichwinkelgruppen in der Transversalebene bezüglich erfolgreich bzw. nicht erfolgreich injizierter Farbstoffdepots im Chiquadrat-Test nicht signifikant unterschiedlich, aber es zeigt sich auch hier die Tendenz, dass ein kleinerer Einstichwinkel zu einer erhöhten Häufigkeit einer Platzierung in den Zielmuskel führt. Bei einem Einstichwinkel zwischen 20° und 29° fand sich der injizierte Farbstoff nur in 56% der Fälle im Zielmuskel, bei Einstichwinkeln

zwischen 10° und 19° befanden sich 66% der Kanülen im Zielmuskel. In einem Winkel unter 10° wurde nur eine Kanüle eingestochen; hier konnte der Farbstoff erfolgreich in den Muskel platziert werden (siehe Tab. 02).

Tabelle 03: Häufigkeiten der Probanden mit erfolgreich (im Muskel liegendem) bzw. nicht erfolgreich injiziertem Farbstoffdepot im Vergleich zu den Gruppen des Einstichwinkels in der Frontalebene in den M. vocalis

	Im Muskel liegendes Farbstoffdepot		Farbstoffdepot nicht im Muskel	
	<i>n</i>	<i>n</i> (%)	<i>n</i>	<i>n</i> (%)
M. vocalis links				
Einstichwinkel Frontalebene 0°-9°	0	0	0	0
Einstichwinkel Frontalebene 10°-19°	25	89	3	11
Einstichwinkel Frontalebene 20°-29°	5	46	6	55
Einstichwinkel Frontalebene 30°-39°	0	0	1	100
M. vocalis rechts				
Einstichwinkel Frontalebene 0°-9°	1	100	0	0
Einstichwinkel Frontalebene 10°-19°	21	66	11	34
Einstichwinkel Frontalebene 20°-29°	5	56	4	44
Einstichwinkel Frontalebene 30°-39°	0	0	0	0

Anmerkungen. Die Prozentzahlen werden gerundet angegeben.

n (Im M. vocalis links liegendes Farbstoffdepot) = 30, *n* (Farbstoffdepot nicht im Muskel) = 10. *n* (Im M. vocalis rechts liegendes Farbstoffdepot) = 27, *n* (Farbstoffdepot nicht im Muskel) = 15.

M. vocalis links: $\chi^2 = 11.17$, $p = .004$. M. vocalis rechts: $\chi^2 = 0.88$, $p = .644$.

Beim linken M. vocalis sind auch beim Einstichwinkel in der Frontalebene sehr signifikante Unterschiede in der Verteilung der Gruppen bezüglich erfolgreich bzw. nicht erfolgreich injiziertem Farbstoffdepot zu berichten ($p = .004$). Der Einstichwinkelbereich von 10° bis 19° zeigt die höchste Prozentzahl an erfolgreichen Injektionen. 89% der in diesem Winkel platzierten Kanülen befanden sich im Zielmuskel. Bei einem größeren Einstichwinkel (20° bis 29°) konnten nur noch 46% der Kanülen richtig platziert werden (siehe Tab. 03).

Rechts sind keine signifikanten Unterschiede der Verteilungen bezüglich erfolgreich bzw. nicht erfolgreich injizierten Farbstoffdepots zu berichten. Dennoch scheinen auch hier Einstichwinkel größer als 19° zu niedrigeren Häufigkeiten einer Platzierung in den Zielmuskel zu führen als kleinere Einstichwinkel (siehe Tab. 03).

Tabelle 04: Häufigkeiten der Probanden mit erfolgreich (im Muskel liegendem) bzw. nicht erfolgreich injiziertem Farbstoffdepot im Vergleich zu den Gruppen der Einstichtiefe in den M. vocalis

	Im Muskel liegendes Farbstoffdepot		Farbstoffdepot nicht im Muskel	
	<i>n</i>	<i>n</i> (%)	<i>n</i>	<i>n</i> (%)
M. vocalis links				
Einstichtiefe 2.0-2.49 cm	1	100	0	0
Einstichtiefe 2.5-2.99 cm	11	92	1	8
Einstichtiefe 3.0-3.49 cm	18	75	6	25
Einstichtiefe 3.5-3.99 cm	0	0	3	100
M. vocalis rechts				
Einstichtiefe 2.0-2.49 cm	0	0	1	100
Einstichtiefe 2.5-2.99 cm	11	92	1	8
Einstichtiefe 3.0-3.49 cm	16	57	12	43
Einstichtiefe 3.5-3.99 cm	0	0	1	100

Anmerkungen. Die Prozentzahlen werden gerundet angegeben.

n (Im M. vocalis links liegendes Farbstoffdepot) = 30, *n* (Farbstoffdepot nicht im Muskel) = 10. *n* (Im M. vocalis rechts liegendes Farbstoffdepot) = 27, *n* (Farbstoffdepot nicht im Muskel) = 15.

M. vocalis links: $\chi^2 = 11.11$, $p = .011$. M. vocalis rechts: $\chi^2 = 8.14$, $p = .043$.

Sowohl beim rechten als auch beim linken M. vocalis unterscheiden sich die Gruppen der Einstichtiefe in den Häufigkeiten erfolgreich bzw. nicht erfolgreich injizierter Farbdepots signifikant (li: $p = .011$, re: $p = .043$). Die höchsten Prozentzahlen von erfolgreichen Injektionen liegen bei einer Einstichtiefe zwischen 2,5 cm und 2,99 cm. Links und rechts wurden bei einer Einstichtiefe in diesem Bereich 11 (92%) von 12 injizierten Farbstoffdepots in den jeweiligen Zielmuskel platziert (siehe Tab. 04).

Tabelle 05: Vergleich der Mittelwerte der Probanden mit erfolgreich (im Muskel liegendem) bzw. nicht erfolgreich injiziertem Farbstoffdepot in Tiefe und Winkel des Einstichs in den M. vocalis

	Im Muskel liegendes Farbstoffdepot		Farbstoffdepot nicht im Muskel		Ergebnisse der t-Tests		
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>df</i>	<i>t</i>	<i>p</i> (<i>t</i>)
M. vocalis links							
Einstichtiefe	2.98	0.23	3.29	0.23	38	3.67	.001
Winkel Sagittalebene	61.47	3.47	59.10	4.31	38	-1.76	.087
Winkel Transversalebene	14.93	3.58	20.70	6.02	11.20	2.87	.015
Winkel Frontalebene	14.90	3.57	20.70	6.02	11.18	2.88	.015
M. vocalis rechts							
Einstichtiefe	3.04	0.24	3.11	0.25	40	0.88	.382
Winkel Sagittalebene	59.15	6.00	58.93	6.69	40	-0.11	.910
Winkel Transversalebene	15.48	3.32	15.87	4.31	40	0.32	.748
Winkel Frontalebene	15.48	3.32	15.87	4.31	40	0.32	.748

Anmerkungen. *n* (Im M. vocalis links liegendes Farbstoffdepot) = 30, *n* (Farbstoffdepot nicht im Muskel) = 10. *n* (Im M. vocalis rechts liegendes Farbstoffdepot) = 27, *n* (Farbstoffdepot nicht im Muskel) = 15.

Die mittlere Einstichtiefe bei erfolgreich injizierten Farbdepots in den linken M. vocalis ist sehr signifikant kleiner als die mittlere Einstichtiefe bei falsch platzierten Farbdepots (siehe Tab. 05).

Der Mittelwert der Einstichwinkel in der Sagittalebene links ist für im Muskel liegende Farbdepots größer als für außerhalb des Zielmuskels liegende, verfehlt die Signifikanz jedoch knapp ($p = .087$). In der Transversal- und Frontalebene links sind die Einstichwinkel bei erfolgreich platzierter Kanüle signifikant kleiner als bei nicht erfolgreich platzierter Kanüle (siehe Tab. 05).

Für den rechten M. vocalis konnten mittels des t-Tests keine signifikanten Unterschiede gefunden werden (siehe Tab. 05).

Tabelle 06: Zusammenhänge (Spearman Korrelationen) zwischen der Einstichtiefe in den M. vocalis und der Größe und des Gewichtes der Probanden

	Erfolgreiche und nicht erfolgreiche Injektionen	Erfolgreiche Injektionen	Nicht erfolgreiche Injektionen
	ρ	ρ	ρ
M. vocalis links			
Größe	.47**	.14	.69*
Gewicht	.29	.10	.84**
M. vocalis rechts			
Größe	.18	.23	.17
Gewicht	.16	.02	.34

Anmerkungen. * signifikant, ** sehr signifikant, *** hochsignifikant

n (am linken M. vocalis durchgeführte Injektionen) = 39, n (erfolgreiche Injektionen) = 29, n (nicht erfolgreiche Injektionen) = 10.

n (am rechten M. vocalis durchgeführte Injektionen) = 40, n (erfolgreiche Injektionen) = 27, n (nicht erfolgreiche Injektionen) = 13.

Die Einstichtiefe aller am linken M. vocalis durchgeführten Injektionen korreliert sehr signifikant mit der Größe der Probanden ($p = .002$). Untersucht man allerdings die Fälle mit erfolgreich bzw. nicht erfolgreich injiziertem Farbdepot getrennt voneinander, zeigt sich, dass bei den Fällen mit erfolgreich injiziertem Farbdepot Körpergröße und Einstichtiefe nicht signifikant zusammenhängen. Bei den Injektionen, die nicht in den M. vocalis platziert werden konnten, zeigt sich dagegen eine signifikante Korrelation ($p = .026$) (siehe Tab. 06). Ebenso korreliert die Einstichtiefe links bei den nicht im Muskel liegenden Farbdepots sehr signifikant mit dem Gewicht der Probanden ($p = .002$) (siehe Tab. 06).

Rechts sind keine Zusammenhänge zwischen Einstichtiefe und Körpergröße sowie -gewicht der Probanden zu berichten (siehe Tab. 06).

Tabelle 07: Zweifaktorielle Varianzanalyse der Einstichwinkel sowie -tiefe in den M. vocalis mit den Faktoren Geschlecht und Erfolg der Injektion

	Geschlecht			Erfolg			Geschlecht x Erfolg		
	F	p (F)	η^2	F	p (F)	η^2	F	p (F)	η^2
M. vocalis links									
Einstichtiefe	3.35	.076	.087	7.83	.008	.183	1.45	.237	.040
Winkel Sagittalebene	2.60	.116	.069	1.10	.301	.031	0.93	.341	.026
Winkel Transversalebene	1.62	.212	.044	8.92	.005	.203	0.50	.486	.014
Winkel Frontalebene	1.48	.233	.040	9.04	.005	.205	0.58	.450	.016
M. vocalis rechts									
Einstichtiefe	0.89	.352	.024	0.07	.790	.002	0.01	.925	.000
Winkel Sagittalebene	1.88	.180	.049	0.02	.895	.000	0.22	.641	.006
Winkel Transversalebene	0.52	.475	.014	0.03	.872	.001	0.22	.639	.006
Winkel Frontalebene	0.52	.475	.014	0.03	.872	.001	0.22	.639	.006

Anmerkungen. n (M. vocalis links, Männer) = 22, n (erfolgreich) = 15, n (nicht erfolgreich) = 7
 n (M. vocalis links, Frauen) = 17, n (erfolgreich) = 14, n (nicht erfolgreich) = 3.
 n (M. vocalis rechts, Männer) = 22, n (erfolgreich) = 13, n (nicht erfolgreich) = 9
 n (M. vocalis rechts, Frauen) = 18, n (erfolgreich) = 14, n (nicht erfolgreich) = 4.

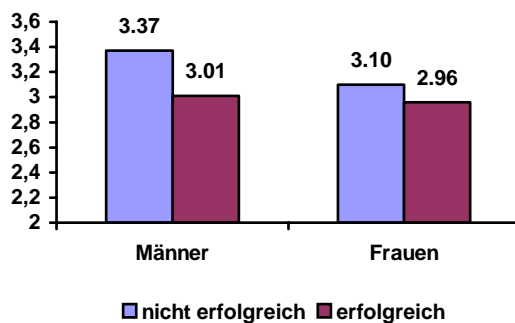


Abbildung 8:

Mittelwerte der Einstichtiefe in den M. vocalis links, getrennt nach Geschlecht und Erfolg der Injektion

Nur bei der Einstichtiefe sind im Vergleich von Frauen und Männern tendenziell signifikante Unterschiede zu erkennen (siehe Tab. 07). Der Mittelwert der Einstichtiefe ist bei den Frauen kleiner als bei den Männern (siehe Abb. 8). Ebenso fällt auch hier auf, dass die Mittelwerte der Einstichtiefe für erfolgreiche Injektionen signifikant kleiner sind als für nicht erfolgreiche Injektionen (vergleiche Tab. 05).

3.2. M. cricothyroideus

43 Farbstoffinjektionen wurden am linken M. cricothyroideus durchgeführt, 35 (81%) davon konnten erfolgreich in den Muskel platziert werden, acht (19%) Injektionen verfehlten den Zielmuskel. Rechts wurden ebenfalls 43 Injektionen durchgeführt. Hier konnten 36 (84%) Farbdepots in den entsprechenden Muskel platziert werden, sieben (16%) Farbdepots lagen außerhalb des Zielmuskels.

Die Messwerte werden in Bezug auf die Einstichstelle, paramedian und median (siehe 2.2.2), getrennt voneinander ausgewertet.

Über einen paramedianen Einstich (siehe 2.2.2) wurden 29 Farbinjektionen in den linken M. cricothyroideus durchgeführt. In 25 Fällen (86%) wurde der Farbstoff in den Muskel injiziert, in vier Fällen (14%) wurde der Muskel verfehlt. Rechts konnten bei paramedianer Einstichstelle 23 (82%) von 28 durchgeführten Farbstoffinjektionen erfolgreich platziert werden, fünf (18%) verfehlten den Zielmuskel.

Tabelle 08: Häufigkeiten der Probanden mit erfolgreich (im Muskel liegendem) bzw. nicht erfolgreich injiziertem Farbstoffdepot bei paramedianer Einstichstelle im Vergleich zu den Gruppen des Einstichwinkels in der Sagittalebene in den M. cricothyroideus

	Im Muskel liegendes Farbstoffdepot		Farbstoffdepot nicht im Muskel	
	<i>n</i>	<i>n</i> (%)	<i>n</i>	<i>n</i> (%)
M. cricothyroideus links				
Einstichwinkel Sagittalebene 0°-9°	20	83	4	17
Einstichwinkel Sagittalebene 10°-19°	4	100	0	0
Einstichwinkel Sagittalebene 20°-29°	1	100	0	0
M. cricothyroideus rechts				
Einstichwinkel Sagittalebene 0°-9°	22	88	3	12
Einstichwinkel Sagittalebene 10°-19°	1	50	1	50
Einstichwinkel Sagittalebene 20°-29°	0	0	1	100

Anmerkungen. Die Prozentzahlen werden gerundet angegeben.

n (Im M. cricothyroideus links liegendes Farbstoffdepot) = 25, *n* (Farbstoffdepot nicht im Muskel) = 4. *n* (Im M. cricothyroideus rechts liegendes Farbstoffdepot) = 23, *n* (Farbstoffdepot nicht im Muskel) = 5.

M. cricothyroideus links: $\chi^2 = 0.97$, $p = .617$. M. cricothyroideus rechts: $\chi^2 = 6.59$, $p = .037$.

Die Verteilungen der Gruppen der Einstichwinkel in der Sagittalebene rechts bei paramedianer Einstichstelle unterscheiden sich in den Häufigkeiten erfolgreich bzw. nicht erfolgreich injizierter Farbstoffdepots signifikant ($p = .037$). Die höchste Prozentzahl an erfolgreichen Injektionen liegt bei einem Einstichwinkel von 0° bis 9° (siehe Tab. 08).

Links konnten mittels des χ^2 -Tests keine signifikanten Unterschiede der Verteilungen gefunden werden (siehe Tab. 08).

Tabelle 09: Häufigkeiten der Probanden mit erfolgreich (im Muskel liegendem) bzw. nicht erfolgreich injiziertem Farbstoffdepot bei paramedianer Einstichstelle im Vergleich zu den Gruppen des Einstichwinkels in der Transversalebene in den M. cricothyroideus

	Im Muskel liegendes Farbstoffdepot		Farbstoffdepot nicht im Muskel	
	<i>n</i>	<i>n</i> (%)	<i>n</i>	<i>n</i> (%)
M. cricothyroideus links				
Einstichwinkel Transversalebene 0°-19°	16	84	3	16
Einstichwinkel Transversalebene 20°-39°	3	100	0	0
Einstichwinkel Transversalebene 40°-59°	6	100	0	0
Einstichwinkel Transversalebene 60°-79°	0	0	1	100
M. cricothyroideus rechts				
Einstichwinkel Transversalebene 0°-19°	16	89	2	11
Einstichwinkel Transversalebene 20°-39°	2	67	1	33
Einstichwinkel Transversalebene 40°-59°	3	60	2	40
Einstichwinkel Transversalebene 60°-79°	2	100	0	0

Anmerkungen. Die Prozentzahlen werden gerundet angegeben.

n (Im M. cricothyroideus links liegendes Farbstoffdepot) = 25, *n* (Farbstoffdepot nicht im Muskel) = 4. *n* (Im M. cricothyroideus rechts liegendes Farbstoffdepot) = 23, *n* (Farbstoffdepot nicht im Muskel) = 5.

M. cricothyroideus links: $\chi^2 = 7.75$, $p = .051$. M. cricothyroideus rechts: $\chi^2 = 3.15$, $p = .368$.

Die Häufigkeiten erfolgreich bzw. nicht erfolgreich injizierter Farbdepots sind bezüglich der Einstichwinkelgruppen in der Transversalebene links tendenziell signifikant ($p = .051$). Rechts konnten keine signifikanten Unterschiede der Verteilungen gefunden werden (siehe Tab. 09).

Tabelle 10: Häufigkeiten der Probanden mit erfolgreich (im Muskel liegendem) bzw. nicht erfolgreich injiziertem Farbstoffdepot bei paramedianer Einstichstelle im Vergleich zu den Gruppen des Einstichwinkels in der Frontalebene in den M. cricothyroideus

	Im Muskel liegendes Farbstoffdepot		Farbstoffdepot nicht im Muskel	
	<i>n</i>	<i>n</i> (%)	<i>n</i>	<i>n</i> (%)
M. cricothyroideus links				
Einstichwinkel Frontalebene 0°-19°	14	88	2	13
Einstichwinkel Frontalebene 20°-39°	1	100	0	0
Einstichwinkel Frontalebene 40°-59°	7	100	0	0
Einstichwinkel Frontalebene 60°-79°	2	100	0	0
Einstichwinkel Frontalebene 80°-99°	1	33	2	67
M. cricothyroideus rechts				
Einstichwinkel Frontalebene 0°-19°	13	93	1	7
Einstichwinkel Frontalebene 20°-39°	1	100	0	0
Einstichwinkel Frontalebene 40°-59°	2	50	2	50
Einstichwinkel Frontalebene 60°-79°	4	80	1	20
Einstichwinkel Frontalebene 80°-99°	3	75	1	25

Anmerkungen. Die Prozentzahlen werden gerundet angegeben.

n (Im M. cricothyroideus links liegendes Farbstoffdepot) = 25, *n* (Farbstoffdepot nicht im Muskel) = 4. *n* (Im M. cricothyroideus rechts liegendes Farbstoffdepot) = 23, *n* (Farbstoffdepot nicht im Muskel) = 5.

M. cricothyroideus links: $\chi^2 = 8.68$, $p = .070$. M. cricothyroideus rechts: $\chi^2 = 4.29$, $p = .369$.

Die Verteilungen der Gruppen der Einstichwinkel in der Frontalebene rechts unterscheiden sich in den Häufigkeiten erfolgreich bzw. nicht erfolgreich injizierter Farbstoffdepots nicht signifikant, links wird die Signifikanz knapp verfehlt ($p = .070$) (siehe Tab. 10). Links wurden die meisten Injektionen in einem Einstichwinkel kleiner als 19° durchgeführt und 88% der Farbdepots konnten in den entsprechenden Muskel platziert werden. In einem Einstichwinkel von 20° bis 79° wurden nur wenige Injektionen durchgeführt, hier verfehlte aber keine den Zielmuskel. Rechts scheint es so, als lägen bei einem Einstichwinkel kleiner als 40° erhöhte Häufigkeiten an erfolgreichen Injektionen vor (siehe Tab. 10).

Tabelle 11: Häufigkeiten der Probanden mit erfolgreich (im Muskel liegendem) bzw. nicht erfolgreich injiziertem Farbstoffdepot bei paramedianer Einstichstelle im Vergleich zu den Gruppen der Einstichtiefe in den M. cricothyroideus

	Im Muskel liegendes Farbstoffdepot		Farbstoffdepot nicht im Muskel	
	<i>n</i>	<i>n</i> (%)	<i>n</i>	<i>n</i> (%)
M. cricothyroideus links				
Einstichtiefe 0 - 0.49 cm	2	67	1	33
Einstichtiefe 0.5- 0.99 cm	13	100	0	0
Einstichtiefe 1.0- 1.49 cm	10	77	3	23
M. cricothyroideus rechts				
Einstichtiefe 0 - 0.49 cm	2	100	0	0
Einstichtiefe 0.5- 0.99 cm	13	87	2	13
Einstichtiefe 1.0- 1.49 cm	6	67	3	33
Einstichtiefe 1.5- 1.99 cm	2	100	0	0

Anmerkungen. Die Prozentzahlen werden gerundet angegeben.

n (Im M. cricothyroideus links liegendes Farbstoffdepot) = 25, *n* (Farbstoffdepot nicht im Muskel) = 4. *n* (Im M. cricothyroideus rechts liegendes Farbstoffdepot) = 23, *n* (Farbstoffdepot nicht im Muskel) = 5.

M. cricothyroideus links: $\chi^2 = 4.85$, $p = .183$. M. cricothyroideus rechts: $\chi^2 = 2.55$, $p = .467$.

Signifikante Unterschiede der Verteilung der Gruppen der Einstichtiefe sind weder rechts noch links zu berichten (siehe Tab. 11). Links scheint es aber so, als wenn eine mittlere Einstichtiefe von 0.5 cm bis 0.99 cm zu einer erhöhten Häufigkeit einer Platzierung in den Zielmuskel führt. Alle in dieser Tiefe injizierten Farbstoffdepots konnten in den Zielmuskel platziert werden (siehe Tab. 11).

Tabelle 12: Vergleich der Mittelwerte der Probanden mit erfolgreich (im Muskel liegendem) bzw. nicht erfolgreich injiziertem Farbstoffdepot in Tiefe und Winkel des Einstichs in den M. cricothyroideus bei paramedianem Einstich

	Im Muskel liegendes Farbstoffdepot		Farbstoffdepot nicht im Muskel		Ergebnisse der t-Tests		
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>df</i>	<i>t</i>	<i>p</i> (<i>t</i>)
M. cricothyroideus links							
Einstichtiefe	0.89	0.26	1.00	0.43	27	0.75	.459
Winkel Sagittalebene	2.96	5.35	0.00	0.00	24.00	-2.77	.011
Winkel Transversalebene	15.84	17.97	23.25	28.02	27	0.71	.483
Winkel Frontalebene	24.48	27.93	57.25	44.40	27	2.02	.054
M. cricothyroideus rechts							
Einstichtiefe	0.90	0.37	1.04	0.34	26	0.80	.433
Winkel Sagittalebene	0.83	2.39	7.00	9.75	4.11	1.41	.230
Winkel Transversalebene	16.09	21.09	30.20	24.86	26	1.32	.199
Winkel Frontalebene	29.57	34.28	52.80	33.71	26	1.38	.180

Anmerkungen. *n* (Im M. cricothyroideus links liegendes Farbstoffdepot) = 25, *n* (Farbstoffdepot nicht im Muskel) = 4. *n* (Im M. cricothyroideus rechts liegendes Farbstoffdepot) = 23, *n* (Farbstoffdepot nicht im Muskel) = 5.

Beim Vergleich der Mittelwerte von erfolgreichen bzw. nicht erfolgreichen Injektionen kann ein signifikanter Unterschied beim Einstichwinkel in der Sagittalebene links festgestellt werden (siehe Tab. 12). Außerdem ist der mittlere Einstichwinkel in der Frontalebene links bei erfolgreichen Injektionen tendenziell signifikant kleiner als bei Injektionen, die den Zielmuskel verfehlen ($p = .054$) (siehe Tab. 12).

Rechts konnten mittels des t-Tests keine signifikanten Unterschiede gefunden werden (siehe Tab. 12).

Über eine mediane Einstichstelle (siehe 2.2.2.) wurden 14 Injektionen mit Farbstofflösung in den linken M. cricothyroideus durchgeführt. Zehn (71%) dieser injizierten Farbstoffdepots lagen im entsprechenden Zielmuskel, vier Farbdepots (29%) lagen außerhalb des Muskels. Rechts konnten 13 (87%) von 15 Injektionen über einen medianen Zugang erfolgreich platziert werden, zwei Injektionen (13%) verfehlten den Zielmuskel.

Tabelle 13: Häufigkeiten der Probanden mit erfolgreich (im Muskel liegendem) bzw. nicht erfolgreich injiziertem Farbstoffdepot bei medianer Einstichstelle im Vergleich zu den Gruppen des Einstichwinkels in der Sagittalebene in den M. cricothyroideus

	Im Muskel liegendes Farbstoffdepot		Farbstoffdepot nicht im Muskel	
	<i>n</i>	<i>n (%)</i>	<i>n</i>	<i>n (%)</i>
M. cricothyroideus links				
Einstichwinkel Sagittalebene 0°-9°	3	75	1	25
Einstichwinkel Sagittalebene 10°-19°	5	83	1	17
Einstichwinkel Sagittalebene 20°-29°	1	50	1	50
Einstichwinkel Sagittalebene 30°-39°	1	100	0	0
Einstichwinkel Sagittalebene 40°-49°	0	0	0	0
Einstichwinkel Sagittalebene 50°-59°	0	0	1	100
M. cricothyroideus rechts				
Einstichwinkel Sagittalebene 0°-9°	5	100	0	0
Einstichwinkel Sagittalebene 10°-19°	4	67	2	33
Einstichwinkel Sagittalebene 20°-29°	3	100	0	0
Einstichwinkel Sagittalebene 30°-39°	1	100	0	0

Anmerkungen. Die Prozentzahlen werden gerundet angegeben.

n (Im M. cricothyroideus links liegendes Farbstoffdepot) = 10, n (Farbstoffdepot nicht im Muskel) = 4. n (Im M. cricothyroideus rechts liegendes Farbstoffdepot) = 13, n (Farbstoffdepot nicht im Muskel) = 2.

M. cricothyroideus links: $\chi^2 = 3.79$, $p = .435$. M. cricothyroideus rechts: $\chi^2 = 3.46$, $p = .326$.

Die Verteilungen der Gruppen der Einstichwinkel in der Sagittalebene unterscheiden sich in den Häufigkeiten erfolgreich bzw. nicht erfolgreich injizierter Farbdepots weder links noch rechts signifikant (siehe Tab. 13).

Tabelle 14: Häufigkeiten der Probanden mit erfolgreich (im Muskel liegendem) bzw. nicht erfolgreich injiziertem Farbstoffdepot bei medianer Einstichstelle im Vergleich zu den Gruppen des Einstichwinkels in der Transversalebene in den M. cricothyroideus

	Im Muskel liegendes Farbstoffdepot		Farbstoffdepot nicht im Muskel	
	<i>n</i>	<i>n (%)</i>	<i>n</i>	<i>n (%)</i>
M. cricothyroideus links				
Einstichwinkel Transversalebene 20°-39°	0	0	1	100
Einstichwinkel Transversalebene 40°-59°	3	75	1	25
Einstichwinkel Transversalebene 60°-79°	7	78	2	22
M. cricothyroideus rechts				
Einstichwinkel Transversalebene 20°-39°	0	0	1	100
Einstichwinkel Transversalebene 40°-59°	6	100	0	0
Einstichwinkel Transversalebene 60°-79°	7	88	1	13

Anmerkungen. Die Prozentzahlen werden gerundet angegeben.

n (Im M. cricothyroideus links liegendes Farbstoffdepot) = 10, *n* (Farbstoffdepot nicht im Muskel) = 4. *n* (Im M. cricothyroideus rechts liegendes Farbstoffdepot) = 13, *n* (Farbstoffdepot nicht im Muskel) = 2.

M. cricothyroideus links: $\chi^2 = 2.70$, $p = .259$. M. cricothyroideus rechts: $\chi^2 = 7.43$, $p = .024$.

Die Verteilungen der Gruppen der Einstichwinkel in der Transversalebene rechts unterscheiden sich in den Häufigkeiten erfolgreich bzw. nicht erfolgreich injizierter Farbdepots signifikant ($p = .024$) (siehe Tab. 14). Links konnten mittels des χ^2 – Tests keine signifikanten Unterschiede der Verteilungen gefunden werden. Sowohl links als auch rechts sind alle im Muskel liegenden Farbdepots in einem Einstichwinkelbereich zwischen 40° und 80° injiziert worden (siehe Tab. 14).

Tabelle 15: Häufigkeiten der Probanden mit erfolgreich (im Muskel liegendem) bzw. nicht erfolgreich injiziertem Farbstoffdepot bei medianer Einstichstelle im Vergleich zu den Gruppen des Einstichwinkels in der Frontalebene in den M. cricothyroideus

	Im Muskel liegendes Farbstoffdepot		Farbstoffdepot nicht im Muskel	
	<i>n</i>	<i>n</i> (%)	<i>n</i>	<i>n</i> (%)
M. cricothyroideus links				
Einstichwinkel Frontalebene 20°-39°	0	0	1	100
Einstichwinkel Frontalebene 40°-59°	0	0	0	0
Einstichwinkel Frontalebene 60°-79°	3	60	2	40
Einstichwinkel Frontalebene 80°-99°	6	86	1	14
Einstichwinkel Frontalebene 100°-119°	1	100	0	0
M. cricothyroideus rechts				
Einstichwinkel Frontalebene 20°-39°	0	0	0	0
Einstichwinkel Frontalebene 40°-59°	1	50	1	50
Einstichwinkel Frontalebene 60°-79°	3	100	0	0
Einstichwinkel Frontalebene 80°-99°	6	86	1	14
Einstichwinkel Frontalebene 100°-119°	3	100	0	0

Anmerkungen. Die Prozentzahlen werden gerundet angegeben.

n (Im M. cricothyroideus links liegendes Farbstoffdepot) = 10, *n* (Farbstoffdepot nicht im Muskel) = 4. *n* (Im M. cricothyroideus rechts liegendes Farbstoffdepot) = 13, *n* (Farbstoffdepot nicht im Muskel) = 2.

M. cricothyroideus links: $\chi^2 = 3.92$, $p = .270$. M. cricothyroideus rechts: $\chi^2 = 3.26$, $p = .354$.

Mittels des χ^2 -Tests konnten in der Verteilung der Gruppen der Einstichwinkel in der Frontalebene bei medianer Einstichstelle links und rechts keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Es scheint aber so, dass ein größerer Winkel eher zu einer erfolgreichen Platzierung des Farbstoffs führt als ein kleinerer Einstichwinkel (siehe Tab. 15).

Tabelle 16: Häufigkeiten der Probanden mit erfolgreich (im Muskel liegendem) bzw. nicht erfolgreich injiziertem Farbstoffdepot bei medianer Einstichstelle im Vergleich zu den Gruppen der Einstichtiefe in den M. cricothyroideus

	Im Muskel liegendes Farbstoffdepot		Farbstoffdepot nicht im Muskel	
	<i>n</i>	<i>n</i> (%)	<i>n</i>	<i>n</i> (%)
M. cricothyroideus links				
Einstichtiefe 0.5- 0.99 cm	1	100	0	0
Einstichtiefe 1.0- 1.49 cm	3	60	2	40
Einstichtiefe 1.5- 1.99 cm	6	75	2	25
M. cricothyroideus rechts				
Einstichtiefe 0.5- 0.99 cm	0	0	1	100
Einstichtiefe 1.0- 1.49 cm	5	100	0	0
Einstichtiefe 1.5- 1.99 cm	6	100	0	0
Einstichtiefe 2.0- 2.49 cm	2	67	1	33

Anmerkungen. Die Prozentzahlen werden gerundet angegeben.

n (Im M. cricothyroideus links liegendes Farbstoffdepot) = 10, *n* (Farbstoffdepot nicht im Muskel) = 4. *n* (Im M. cricothyroideus rechts liegendes Farbstoffdepot) = 13, *n* (Farbstoffdepot nicht im Muskel) = 2.

M. cricothyroideus links: $\chi^2 = 0.77$, $p = .680$. M. cricothyroideus rechts: $\chi^2 = 9.23$, $p = .026$.

Bei den Gruppen der Einstichtiefe rechts zeigt sich im χ^2 –Test eine signifikante Verteilung in den Häufigkeiten erfolgreich bzw. nicht erfolgreich injizierter Farbstoffdepots ($p = .026$). Die höchsten Häufigkeiten an erfolgreichen Injektionen liegen in einem Bereich von 1.0 cm bis 1.99 cm (siehe Tab. 16).

Links sind keine signifikanten Unterschiede der Verteilungen zu berichten (vergleiche Tab. 16).

Tabelle 17: Vergleich der Mittelwerte der Probanden mit erfolgreich (im Muskel liegendem) bzw. nicht erfolgreich injiziertem Farbstoffdepot in Tiefe und Winkel des Einstichs in den M. cricothyroideus bei medianem Einstich

	Im Muskel liegendes Farbstoffdepot		Farbstoffdepot nicht im Muskel		Ergebnisse der t-Tests		
	M	SD	M	SD	df	t	p(t)
M. cricothyroideus links							
Einstichtiefe	1.44	0.28	1.38	0.38	12	-0.36	.729
Winkel Sagittalebene	11.70	10.06	24.50	21.70	12	1.56	.146
Winkel Transversalebene	60.40	8.92	53.00	18.96	3.55	-0.75	.501
Winkel Frontalebene	81.80	12.35	67.25	21.61	12	-1.62	.132
M. cricothyroideus rechts							
Einstichtiefe	1.57	0.31	1.45	1.20	1.02	-0.14	.911
Winkel Sagittalebene	11.46	9.28	14.00	5.66	13	0.37	.718
Winkel Transversalebene	58.31	8.92	47.50	38.89	1.02	-0.39	.762
Winkel Frontalebene	87.00	16.14	60.00	28.28	13	-2.05	.062

Anmerkungen. n (Im M. cricothyroideus links liegendes Farbstoffdepot) = 10, n (Farbstoffdepot nicht im Muskel) = 4. n (Im M. cricothyroideus rechts liegendes Farbstoffdepot) = 13, n (Farbstoffdepot nicht im Muskel) = 2.

Links und rechts sind im t-Test keine signifikanten Unterschiede der Mittelwerte erfolgreich bzw. nicht erfolgreich platzierter Farbstoffdepots zu erkennen. Der mittlere Einstichwinkel in der Frontalebene rechts ist bei richtig platziertem Farbstoffdepot größer als bei nicht im Muskel liegendem Farbstoffdepot, verfehlt die Signifikanz jedoch knapp ($p = .062$) (siehe Tab. 17).

Tabelle 18: Zweifaktorielle Varianzanalyse der Einstichwinkel sowie -tiefe in den M. cricothyroideus mit den Faktoren Geschlecht und Erfolg der Injektion

	Geschlecht			Erfolg			Geschlecht x Erfolg		
	F	p (F)	η^2	F	p (F)	η^2	F	p (F)	η^2
M. cricothyroideus links									
Einstichtiefe	0.05	.821	.001	0.11	.740	.003	0.02	.891	.001
Winkel Sagittalebene	1.29	.263	.035	5.62	.023	.135	0.30	.585	.008
Winkel Transversalebene	1.66	.206	.044	1.99	.167	.052	1.67	.204	.044
Winkel Frontalebene	0.24	.625	.007	1.55	.222	.041	0.28	.603	.008
M. cricothyroideus rechts									
Einstichtiefe	1.29	.264	.034	0.04	.836	.001	0.65	.427	.018
Winkel Sagittalebene	0.00	.954	.000	2.51	.122	.065	0.11	.742	.003
Winkel Transversalebene	0.99	.326	.027	0.01	.929	.000	1.13	.295	.030
Winkel Frontalebene	1.22	.276	.033	0.06	.812	.002	0.69	.413	.019

Anmerkungen. n (M. cricothyroideus links, Männer) = 22, n (erfolgreich) = 21, n (nicht erfolgreich) = 1

n (M. cricothyroideus links, Frauen) = 18, n (erfolgreich) = 13, n (nicht erfolgreich) = 5.

n (M. cricothyroideus rechts, Männer) = 22, n (erfolgreich) = 19, n (nicht erfolgreich) = 3

n (M. cricothyroideus rechts, Frauen) = 18, n (erfolgreich) = 15, n (nicht erfolgreich) = 3.

Signifikante Unterschiede in Einstichwinkel und -tiefe zwischen Frauen und Männern sind bei den Injektionen in den M. cricothyroideus nicht zu erkennen (siehe Tab. 18).

Tabelle 19: Zusammenhänge (Spearman Korrelation) zwischen der Einstichtiefe in den M. cricothyroideus und der Größe und des Gewichtes der Probanden

	Erfolgreiche und nicht erfolgreiche Injektionen	Erfolgreiche Injektionen	Nicht erfolgreiche Injektionen
	ρ	ρ	ρ
M. cricothyroideus links			
Größe	.18	.30	-.08
Gewicht	.04	.12	-.09
M. cricothyroideus rechts			
Größe	.22	.31	-.46
Gewicht	.14	.18	.27

Anmerkungen. * signifikant, ** sehr signifikant, *** hochsignifikant

n (am linken M. cricothyroideus durchgeführte Injektionen) = 40, n (erfolgreiche Injektionen) = 34, n (nicht erfolgreiche Injektionen) = 6.

n (am rechten M. cricothyroideus durchgeführte Injektionen) = 40, n (erfolgreiche Injektionen) = 34, n (nicht erfolgreiche Injektionen) = 6.

Beim M. cricothyroideus konnten weder links noch rechts signifikante Zusammenhänge zwischen Einstichtiefe und Körpergewicht sowie Körpergröße der Probanden festgestellt werden (siehe Tab. 19).

3.3. M. cricoarytaenoideus posterior

42 Farbstoffinjektionen wurden am linken M. cricoarytaenoideus posterior durchgeführt, 23 (55%) der injizierten Farbdepots konnten in den Zielmuskel platziert werden, 19 Farbdepots (45%) lagen nicht im entsprechenden Muskel. Rechts befanden sich 22 von 39 Farbstoffinjektionen (56%) im Muskel, 17 Farbdepots (44%) lagen außerhalb des Zielmuskels.

Die Messwerte werden bezüglich der zwei verschiedenen Methoden (lateralen Zugang und anteriorer, percartilaginöser Zugang, siehe 2.2.3.) getrennt voneinander ausgewertet.

Über einen lateralen Zugang (siehe 2.2.3) wurden links 35 Farbinjektionen durchgeführt, wobei 18 (51%) Farbstoffdepots im und 17 (49%) außerhalb des Zielmuskels lagen. Rechts konnten über einen lateralen Zugang 14 von 30 Farbstoffinjektionen (47%) erfolgreich in den entsprechenden Muskel platziert werden, 16 (53%) verfehlten den Muskel.

Tabelle 20: Häufigkeiten der Probanden mit erfolgreich (im Muskel liegendem) bzw. nicht erfolgreich injiziertem Farbstoffdepot im Vergleich zu den Gruppen des Einstichwinkels in der Sagittalebene in den M. cricoarytaenoideus posterior bei lateralem Zugang

	Im Muskel liegendes Farbstoffdepot		Farbstoffdepot nicht im Muskel	
	<i>n</i>	<i>n</i> (%)	<i>n</i>	<i>n</i> (%)
M. cricoarytaenoideus posterior links				
Einstichwinkel Sagittalebene 0°-9°	9	53	8	47
Einstichwinkel Sagittalebene 10°-19°	5	56	4	44
Einstichwinkel Sagittalebene 20°-29°	4	44	5	56
Einstichwinkel Sagittalebene 30°-39°	0	0	0	0
M. cricoarytaenoideus posterior rechts				
Einstichwinkel Sagittalebene 0°-9°	12	60	8	40
Einstichwinkel Sagittalebene 10°-19°	2	40	3	60
Einstichwinkel Sagittalebene 20°-29°	0	0	4	100
Einstichwinkel Sagittalebene 30°-39°	0	0	1	100

Anmerkungen. Die Prozentzahlen werden gerundet angegeben.

n (Im M. cricoarytaenoideus posterior links liegendes Farbstoffdepot) = 18, *n* (Farbstoffdepot nicht im Muskel) = 17. *n* (Im M. cricoarytaenoideus posterior rechts liegendes Farbstoffdepot) = 14, *n* (Farbstoffdepot nicht im Muskel) = 16.

M. cricoarytaenoideus posterior links: $\chi^2 = 0.25$, $p = .881$. M. cricoarytaenoideus posterior rechts: $\chi^2 = 5.89$, $p = .117$.

Die Verteilungen der Gruppen der Einstichwinkel in der Sagittalebene unterscheiden sich in den Häufigkeiten erfolgreich bzw. nicht erfolgreich injizierter Farbstoffdepots nicht signifikant. Es scheint aber vor allem auf der rechten Seite so zu sein, dass ein kleinerer Einstichwinkel zu einer höheren Häufigkeit an erfolgreichen Injektionen führt (siehe Tab. 20).

Tabelle 21: Häufigkeiten der Probanden mit erfolgreich (im Muskel liegendem) bzw. nicht erfolgreich injiziertem Farbstoffdepot im Vergleich zu den Gruppen des Einstichwinkels in der Transversalebene in den M. cricoarytaenoideus posterior bei lateralem Zugang

	Im Muskel liegendes Farbstoffdepot		Farbstoffdepot nicht im Muskel	
	<i>n</i>	<i>n</i> (%)	<i>n</i>	<i>n</i> (%)
M. cricoarytaenoideus posterior links				
Einstichwinkel Transversalebene 60°-89°	3	38	5	63
Einstichwinkel Transversalebene 90°-119°	14	54	12	46
Einstichwinkel Transversalebene 120°-149°	1	100	0	0
M. cricoarytaenoideus posterior rechts				
Einstichwinkel Transversalebene 60°-89°	0	0	3	100
Einstichwinkel Transversalebene 90°-119°	13	50	13	50
Einstichwinkel Transversalebene 120°-149°	1	100	0	0

Anmerkungen. Die Prozentzahlen werden gerundet angegeben.

n (Im M. cricoarytaenoideus posterior links liegendes Farbstoffdepot) = 18, *n* (Farbstoffdepot nicht im Muskel) = 17. *n* (Im M. cricoarytaenoideus posterior rechts liegendes Farbstoffdepot) = 14, *n* (Farbstoffdepot nicht im Muskel) = 16.

M. cricoarytaenoideus posterior links: $\chi^2 = 1.63$, $p = .443$. M. cricoarytaenoideus posterior rechts: $\chi^2 = 3.88$, $p = .143$.

Auch bei der Verteilung der Gruppen der Einstichwinkel in der Transversalebene sind keine signifikanten Unterschiede in den Häufigkeiten erfolgreich bzw. nicht erfolgreich injizierter Farbstoffdepots zu berichten (siehe Tab. 21). Nach den Messwerten aus Tab. 21 scheint es aber so zu sein, dass Farbstoffdepots, die in einem Einstichwinkel größer als 90° injiziert wurden, höhere Häufigkeiten einer erfolgreichen Platzierung aufweisen als Injektionen, die in einem kleineren Winkel gestochen wurden.

Tabelle 22: Häufigkeiten der Probanden mit erfolgreich (im Muskel liegendem) bzw. nicht erfolgreich injiziertem Farbstoffdepot im Vergleich zu den Gruppen des Einstichwinkels in der Frontalebene in den M. cricoarytaenoideus posterior bei lateralem Zugang

	Im Muskel liegendes Farbstoffdepot		Farbstoffdepot nicht im Muskel	
	<i>n</i>	<i>n</i> (%)	<i>n</i>	<i>n</i> (%)
M. cricoarytaenoideus posterior links				
Einstichwinkel Frontalebene 60°-89°	1	20	4	80
Einstichwinkel Frontalebene 90°-119°	17	57	13	43
M. cricoarytaenoideus posterior rechts				
Einstichwinkel Frontalebene 60°-89°	0	0	4	100
Einstichwinkel Frontalebene 90°-119°	14	54	12	46

Anmerkungen. Die Prozentzahlen werden gerundet angegeben.

n (Im M. cricoarytaenoideus posterior links liegendes Farbstoffdepot) = 18, *n* (Farbstoffdepot nicht im Muskel) = 17. *n* (Im M. cricoarytaenoideus posterior rechts liegendes Farbstoffdepot) = 14, *n* (Farbstoffdepot nicht im Muskel) = 16.

M. cricoarytaenoideus posterior links: $\chi^2 = 2.31$, $p = .129$. M. cricoarytaenoideus posterior rechts: $\chi^2 = 4.04$, $p = .044$.

Bei der Verteilung der Gruppen der Einstichwinkel in der Frontalebene rechts konnten signifikante Unterschiede bezüglich der Häufigkeiten erfolgreich bzw. nicht erfolgreich injizierter Farbstoffdepots ermittelt werden ($p = .044$). Nur bei Einstichwinkeln zwischen 90° und 119° konnte der Farbstoff in den Zielmuskel platziert werden (siehe Tab. 22).

Links sind die Unterschiede der Verteilungen der Gruppen nicht signifikant. Allerdings zeigt sich auch hier die Tendenz, dass ein Einstichwinkel größer als 90° zu einer erhöhten Häufigkeit an erfolgreichen Injektionen führt als ein kleinerer Einstichwinkel (siehe Tab. 22).

Tabelle 23: Häufigkeiten der Probanden mit erfolgreich (im Muskel liegendem) bzw. nicht erfolgreich injiziertem Farbstoffdepot im Vergleich zu den Gruppen der Einstichtiefe in den M. cricoarytaenoideus posterior bei lateralem Zugang

	Im Muskel liegendes Farbstoffdepot		Farbstoffdepot nicht im Muskel	
	<i>n</i>	<i>n</i> (%)	<i>n</i>	<i>n</i> (%)
M. cricoarytaenoideus posterior links				
Einstichtiefe 2.0- 2.49 cm	3	100	0	0
Einstichtiefe 2.5- 2.99 cm	7	50	7	50
Einstichtiefe 3.0- 3.49 cm	7	58	5	42
Einstichtiefe 3.5- 3.99 cm	0	0	5	100
M. cricoarytaenoideus posterior rechts				
Einstichtiefe 2.0 - 2.49 cm	1	25	3	75
Einstichtiefe 2.5- 2.99 cm	9	64	5	36
Einstichtiefe 3.0- 3.49 cm	3	38	5	63
Einstichtiefe 3.5- 3.99 cm	1	25	3	75

Anmerkungen. Die Prozentzahlen werden gerundet angegeben.

n (Im M. cricoarytaenoideus posterior links liegendes Farbstoffdepot) = 17, *n* (Farbstoffdepot nicht im Muskel) = 17. *n* (Im M. cricoarytaenoideus posterior rechts liegendes Farbstoffdepot) = 14, *n* (Farbstoffdepot nicht im Muskel) = 16.

M. cricoarytaenoideus posterior links: $\chi^2 = 8.33$, $p = .040$. M. cricoarytaenoideus posterior rechts: $\chi^2 = 3.53$, $p = .318$.

Die Verteilungen der Gruppen der Einstichtiefe links unterscheiden sich in den Häufigkeiten erfolgreich bzw. nicht erfolgreich injizierter Farbstoffdepots signifikant ($p = .040$). Eine kleinere Einstichtiefe führt zu einer höheren Häufigkeit erfolgreicher Farbstoffplatzierungen. Von den Farbstoffdepots, die tiefer als 3.5 cm injiziert wurden, befand sich keines im Zielmuskel (siehe Tab. 23).

Rechts sind keine signifikanten Unterschiede der Verteilungen der Einstichtiefe zu berichten (siehe Tab. 23).

Tabelle 24: Vergleich der Mittelwerte der Probanden mit erfolgreich (im Muskel liegendem) bzw. nicht erfolgreich injiziertem Farbstoffdepot in Tiefe und Winkel des Einstichs in den M. cricoarytaenoideus posterior bei lateralem Zugang

	Im Muskel liegendes Farbstoffdepot		Farbstoffdepot nicht im Muskel		Ergebnisse der t-Tests		
	M	SD	M	SD	df	t	p(t)
M. cricoarytaenoideus posterior links							
Einstichtiefe	2.82	0.26	3.02	0.32	31	2.03	.051
Winkel Sagittalebene	8.94	9.60	9.24	9.44	32	0.90	.929
Winkel Transversalebene	90.29	22.62	86.82	16.56	32	-0.51	.613
Winkel Frontalebene	90.53	16.23	89.35	11.52	32	-0.24	.809
M. cricoarytaenoideus posterior rechts							
Einstichtiefe	2.81	0.30	2.89	0.54	22.28	0.49	.630
Winkel Sagittalebene	3.07	5.62	9.27	10.04	22.28	2.07	.050
Winkel Transversalebene	93.79	25.00	90.20	22.66	27	-0.41	.689
Winkel Frontalebene	89.36	15.81	90.80	14.06	27	0.26	.797

Anmerkungen. n (Im M. cricoarytaenoideus posterior links liegendes Farbstoffdepot) = 17, n (Farbstoffdepot nicht im Muskel) = 17. n (Im M. cricoarytaenoideus posterior rechts liegendes Farbstoffdepot) = 14, n (Farbstoffdepot nicht im Muskel) = 15.

Die mittlere Einstichtiefe links ist bei im Muskel liegendem Farbdepot tendenziell signifikant kleiner als die mittlere Einstichtiefe bei außerhalb des Muskels liegendem Farbdepot ($p = .051$) (siehe Tab. 24). Ebenfalls ist von tendenziell signifikanten Unterschieden beim Einstichwinkel in der Sagittalebene rechts zu berichten ($p = .050$). Der mittlere Einstichwinkel bei erfolgreicher Farbstoffinjektion ist kleiner als der Mittelwert nicht erfolgreicher Injektionen (siehe Tab. 24).

Über einen anterioren, percartilaginösen Zugang (siehe 2.2.3) wurden links sieben Injektionen durchgeführt. In fünf Versuchen (71%) konnte das Farbstoffdepot in den Zielmuskel injiziert werden, zweimal wurde der Muskel verfehlt. Der Einstichwinkel der erfolgreichen Injektionen lag in der Sagittalebene zwischen 5° und 20° , in der Transversalebene zwischen 10° und 30° und in der Frontalebene zwischen 20° und 73° . Die Einstichtiefe der erfolgreichen Injektionen befand sich zwischen 2.5 cm und 3.1 cm.

Am rechten M. cricoarytaenoideus posterior wurden neun Injektionen über den anterioren, percartilaginösen Zugang durchgeführt. Achtmal (89%) konnte der Farbstoff erfolgreich in den Zielmuskel platziert werden, in nur einem Fall lag das Farbstoffdepot außerhalb des Muskels. Der Einstichwinkel der erfolgreichen Injektionen lag in der Sagittalebene zwischen 4° und 15° , in der Transversalebene zwischen 5° und 20° , und

in der Frontalebene zwischen 35° und 90°. Die Einstichtiefe lag zwischen 2.5 cm und 3.5 cm.

Aufgrund einer zu geringen Fallzahl konnten der χ^2 – und t-Test auf Signifikanz für die Injektionen über einen anterioren, percartilaginösen Zugang nicht durchgeführt werden.

Tabelle 25: Zusammenhänge (Spearman Korrelationen) zwischen der Einstichtiefe in den M. cricoarytaenoideus posterior und der Größe und des Gewichtes der Probanden

	Erfolgreiche und nicht erfolgreiche Injektionen	Erfolgreiche Injektionen	Nicht erfolgreiche Injektionen
	ρ	ρ	ρ
M. cricoarytaenoideus posterior links			
Größe	.18	.04	.19
Gewicht	.28	-.01	.29
M. cricoarytaenoideus posterior rechts			
Größe	.25	.44*	.05
Gewicht	.47**	.52*	.59*

Anmerkungen. * signifikant, ** sehr signifikant, *** hochsignifikant

n (am linken M. cricoarytaenoideus posterior durchgeführte Injektionen) = 38, *n* (erfolgreiche Injektionen) = 21, *n* (nicht erfolgreiche Injektionen) = 18.

n (am rechten M. cricoarytaenoideus posterior durchgeführte Injektionen) = 36, *n* (erfolgreiche Injektionen) = 21, *n* (nicht erfolgreiche Injektionen) = 15.

Bei den am linken M. cricoarytaenoideus posterior durchgeführten Injektionen lassen sich keine signifikanten Zusammenhänge zwischen Einstichtiefe und Körpergröße sowie Körpergewicht der Probanden erkennen (siehe Tab. 25).

Rechts fällt eine sehr signifikante Korrelation zwischen der Einstichtiefe aller durchgeführten Injektionen und dem Körpergewicht auf ($p= .004$). Ebenso zeigt sich dieser Zusammenhang zwischen Einstichtiefe und Gewicht für die einzelnen Gruppen ‚erfolgreiche Injektionen‘ ($p= .015$) und ‚nicht erfolgreiche Injektionen‘ ($p= .021$) (siehe Tab. 25).

Zwischen der Körpergröße und der Einstichtiefe rechts besteht nur bei der Gruppe der erfolgreichen Injektionen ein signifikanter Zusammenhang ($p= .045$), bei den nicht erfolgreich durchgeführten Injektionen besteht dagegen eine annähernde Nullkorrelation (siehe Tab. 25).

Tabelle 26: Zweifaktorielle Varianzanalyse der Einstichtiefe sowie -tiefe in den *M. cricoarytaenoideus posterior* mit den Faktoren Geschlecht und Erfolg der Injektion

	Geschlecht			Erfolg			Geschlecht x Erfolg		
	F	p (F)	η^2	F	p (F)	η^2	F	p (F)	η^2
<i>M. cricoarytaenoideus posterior links</i>									
Einstichtiefe	3.03	.091	.082	4.82	.035	.124	0.04	.834	.001
Winkel Sagittalebene	0.54	.468	.015	0.01	.925	.000	0.77	.387	.021
Winkel Transversalebene	0.29	.595	.008	0.02	.882	.001	0.30	.585	.009
Winkel Frontalebene	1.29	.264	.036	0.09	.772	.002	0.35	.560	.010
<i>M. cricoarytaenoideus posterior rechts</i>									
Einstichtiefe	5.40	.027	.144	0.52	.475	.016	2.23	.145	.065
Winkel Sagittalebene	0.82	.373	.025	5.05	.032	.136	0.29	.866	.001
Winkel Transversalebene	0.15	.704	.005	0.81	.375	.025	0.83	.369	.025
Winkel Frontalebene	2.48	.125	.072	0.21	.652	.006	0.06	.812	.002

Anmerkungen. *n* (*M. cricoarytaenoideus posterior links*, Männer) = 21, *n* (erfolgreich) = 11, *n* (nicht erfolgreich) = 10. *n* (*M. cricoarytaenoideus posterior links*, Frauen) = 17, *n* (erfolgreich) = 9, *n* (nicht erfolgreich) = 8.

n (*M. cricoarytaenoideus posterior rechts*, Männer) = 21, *n* (erfolgreich) = 10, *n* (nicht erfolgreich) = 11. *n* (*M. cricoarytaenoideus posterior rechts*, Frauen) = 15, *n* (erfolgreich) = 11, *n* (nicht erfolgreich) = 4.

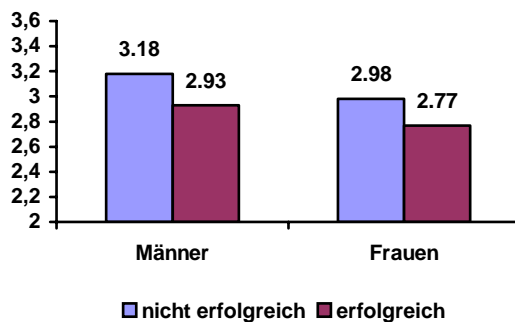


Abbildung 9:

Mittelwerte der Einstichtiefe in den *M. cricoarytaenoideus posterior links*, getrennt nach Geschlecht und Erfolg der Injektion

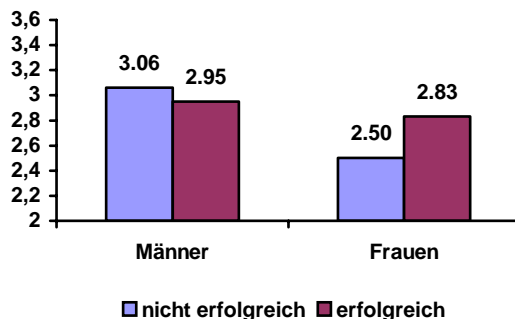


Abbildung 10:

Mittelwerte der Einstichtiefe in den *M. cricoarytaenoideus posterior rechts*, getrennt nach Geschlecht und Erfolg der Injektion

Im Vergleich der Männer und Frauen bei den Injektionen in den M. cricoarytaenoideus posterior sind nur bezüglich der Einstichtiefe links tendenziell signifikante und rechts signifikante Unterschiede zu berichten (siehe Tab. 26). Die Mittelwerte der erfolgreichen Injektionen bei Frauen sind kleiner als die Mittelwerte der erfolgreichen Injektionen bei Männern (siehe Abb. 9 und 10).

Auf der linken Seite fällt außerdem auf, dass die Mittelwerte der Einstichtiefe der erfolgreichen Injektionen signifikant kleiner sind als die Mittelwerte der Einstichtiefe der nicht erfolgreichen Injektionen (siehe Tab. 26 und Abb. 9).

4. Diskussion

4.1. M. vocalis

75% der Injektionen in den linken M. vocalis und 64% der Injektionen in den rechten M. vocalis konnten erfolgreich in den Zielmuskel platziert werden. Bei diesem Ergebnis ist nicht zu vergessen, dass bei der praktischen Anwendung von LEMG oder Botulinumtoxininjektionen die EMG- Aufzeichnungen eine große Hilfestellung bei der richtigen Nadelplatzierung darstellen.

In der Sagittalebene zeigen sich bezüglich der Häufigkeiten erfolgreich bzw. nicht erfolgreich injizierter Farbstoffdepots keine signifikanten Unterschiede. Der Einstichwinkelbereich von 50° bis 70°, in dem alle erfolgreichen Injektionen durchgeführt wurden, lässt sich somit nicht weiter einschränken (siehe Tab. 01). Links zeigt sich sowohl im χ^2 -Test als auch im t-Test eine leichte Tendenz zu eher größeren Einstichwinkeln, rechts lässt sich dieses Ergebnis aber nicht bestätigen (vergleiche Tab. 01 und Tab. 05). Dieser Einstichwinkelbereich von 50° bis 70° ist damit im Vergleich zu Angaben in der Literatur größer. Es lässt sich vermuten, dass die Größe dieses Einstichwinkels auch von dem Grad der Überstreckung des Halses abhängt. Da die Überstreckung der Leichen vielleicht nicht ganz denen der lebenden Probanden entspricht, kann sich ein Unterschied in den Ergebnissen ergeben.

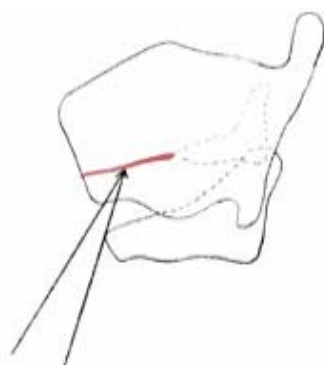


Abbildung 11:

Zusammenhang von Einstichpunkt und Einstichwinkel

Ein anderer Aspekt, der sich auf den Einstichwinkel auswirkt, ist der Ort des Einstichs durch das Lig. cricothyroideum. Wird der Einstich am oberen Rand des Lig. cricothyroideum, direkt unterhalb des Schildknorpels, durchgeführt, so ist der Winkel kleiner, als wenn der Einstich am unteren Ende des Ligamentum, an der oberen Kante des Ringknorpels, durchgeführt wird (siehe Abb. 11). In diesen Versuchen erfolgte der Einstich stets knapp oberhalb des Ringknorpels.

In der Literatur werden keine genaueren Angaben dazu gemacht. Dadurch ließe sich der im Gegensatz zu den Literaturangaben größere Einstichwinkel erklären.

Ein Unterschied im Einstichwinkel zwischen Frauen und Männern ist nicht zu erkennen. Auch in der Literatur sind keine Angaben zu unterschiedlichen Einstichwinkeln in der Sagittalebene zu finden.

Eindeutigere Ergebnisse fallen vor allem links beim Einstichwinkel in der Transversalebene auf, so dass sich der Winkelbereich für erfolgreiche Nadelpositionierungen gut eingrenzen lässt. In einem Bereich von 10° bis 19° liegen eindeutig die höchsten Häufigkeiten an erfolgreichen Injektionen. Zwar wurden auch noch in einem Einstichwinkel von 20° bis 29° erfolgreiche Injektionen durchgeführt, allerdings mit einer geringeren Prozentzahl an erfolgreichen Platzierungen (siehe Tab. 02). Dieses Ergebnis wird auch im t-Test bestätigt, wobei der Mittelwert der erfolgreichen Injektionen ($M= 14.93$) signifikant kleiner ist als der Mittelwert nicht erfolgreich platzierter Injektionen (siehe Tab. 05). Auf der rechten Seite zeigt sich ein ähnliches Ergebnis. Auch hier wurden die meisten erfolgreichen Injektionen in einem Winkelbereich von 10° bis 19° durchgeführt (siehe Tab. 02).

In der Literatur finden sich bezüglich des Einstichwinkels in der Transversalebene sehr unterschiedliche Angaben. Die Winkelangaben reichen von 20° [Mu u. Yang 1990; Parnes 1988] bis 45° [Yin et al. 1997]. Die hier gewonnenen Ergebnisse liegen damit im unteren Bereich und sogar unter den Angaben in der Literatur. Bei den hier durchgeführten Versuchen ist aufgefallen, dass Farbdepots, die in einem Winkel größer als 20° durchgeführt worden sind, häufig lateral und kaudal des M. vocalis injiziert wurden.

Signifikante Unterschiede im Einstichwinkel in der Transversalebene zwischen Männern und Frauen sind nicht zu erkennen (siehe Tab. 07), obwohl Unterschiede im Winkel des Schildknorpels bei Männern und Frauen bestehen. Aber auch in der Literatur sind keine unterschiedlichen Angaben für die verschiedenen Geschlechter zu finden.

Der Einstichwinkel in der Frontalebene weist links im χ^2 -Test sehr signifikante Unterschiede der Verteilungen auf. In dem Einstichwinkelbereich zwischen 10° und 19° wurden eindeutig die besten Ergebnisse erreicht. Zwar konnten auch in dem Bereich von 20° bis 29° Treffer erzielt werden, allerdings mit einer wesentlich geringeren Prozentzahl an erfolgreichen Injektionen (siehe Tab. 03). Bestätigt wird dieses Ergebnis durch die Ergebnisse des t-Tests, in dem der Mittelwert der erfolgreichen Injektionen ($M= 14.93$) signifikant kleiner ist als der Mittelwert der nicht erfolgreichen Injektionen (siehe Tab. 05). Auf der rechten Seite ist das Ergebnis nicht so eindeutig, trotzdem lässt sich auch hier sagen, dass in dem Bereich von 10° bis 19° die besseren Ergebnisse erzielt worden sind (siehe Tab. 03).

Die Gruppen der Einstichtiefe unterscheiden sich in den Häufigkeiten erfolgreich bzw. nicht erfolgreich injizierter Farbstoffdepots sowohl rechts als auch links signifikant. Die besten Ergebnisse wurden eindeutig in einer Einstichtiefe zwischen 2.5 cm und 2.99 cm erreicht. Auch in einer Tiefe von 3.0 cm bis 3.49 cm konnten Injektionen erfolgreich platziert werden, allerdings mit einer etwas kleineren Prozentzahl an erfolgreichen Injektionen (siehe Tab. 04). Auch im t-Test zeigt sich, dass eine kleinere Einstichtiefe zu besseren Ergebnissen führt (siehe Tab. 05). Diese Ergebnisse liegen damit im mittleren Bereich der Literaturangaben (siehe 1.4.).

Es ist auch ein tendenziell signifikanter Unterschied in der Einstichtiefe zwischen Frauen und Männern zu erkennen (siehe Tab. 07). Dieser Unterschied ist aber nicht so groß, dass er in der klinischen Anwendung dieser Methode von Bedeutung ist. Zusätzlich besteht ein interessanter Zusammenhang zwischen der Einstichtiefe und der Körpergröße der Probanden (siehe Tab. 06). Betrachtet man die einzelnen Gruppen ‚erfolgreiche Injektionen‘ und ‚nicht erfolgreiche Injektionen‘ getrennt voneinander, zeigen sich nur bei der Gruppe der nicht erfolgreichen Injektionen signifikante Zusammenhänge zwischen der Einstichtiefe und der Körpergröße, sowie sehr signifikante Zusammenhänge zwischen der Einstichtiefe und dem Körpergewicht der Probanden (siehe Tab. 06). Dieses Ergebnis zeigt, dass die Kanülen bei Probanden mit großer Körpergröße und großem Gewicht zwar tiefer eingestochen worden sind, dies aber nicht zu einer richtigen Nadelplatzierung geführt hat. Das deutet darauf hin, dass bei Patienten mit großem Gewicht und Körpergröße die Einstichtiefe nicht bedeutend größer ist als bei anderen Patienten.

Der Bereich der Einstichtiefe für eine erfolgreiche Injektion ist damit immer noch relativ groß. Es ist daher entscheidend bei Durchführung der Injektion auf den leichten Widerstand zu achten, der bei Kontakt der Nadelspitze mit dem M. vocalis entsteht.

4.2. M. cricothyroideus

Insgesamt sind bei den Injektionen in den M. cricothyroideus gute Ergebnisse erzielt worden. Links konnten 81% aller Injektionen in den Muskel platziert werden, rechts befanden sich 84% aller Injektionen im Muskel. Dieses Ergebnis zeigt, dass der M. cricothyroideus als einziger äußerer Kehlkopfmuskel durch seine oberflächliche Lage relativ leicht zu lokalisieren und zu erreichen ist.

Vergleicht man die verschiedenen Methoden mit medianem und paramedianem Zugang miteinander, so haben die Injektionen über einen paramedianen Zugang (links 86%, rechts 82%) einen etwas höheren Prozentsatz an erfolgreichen Injektionen als die Injektionen über einen medianen Zugang (links 71%, rechts 87%). Die Qualität der erfolgreichen Injektionen ist allerdings bei den Injektionen über einen medianen Zugang besser. Hier konnten links 26% und rechts 77% der Injektionen in den mittleren Anteil des M. cricothyroideus platziert werden, während über einen paramedianen Zugang wesentlich weniger Farbdepots exakt in den mittleren Teil des Muskel platziert werden konnten (links 20%, rechts 18%). Häufig fanden sich die Farbdepots bei Injektionen, die über einen paramedianen Zugang durchgeführt worden sind, im medialen Anteil des Muskels. Eine Schwierigkeit bei den Injektionen über einen paramedianen Einstichpunkt bestand darin, dass gerade bei adipösen Patienten der Ringknorpel median gut zu tasten war, es jedoch schwer war, ihn weit genug nach lateral zu verfolgen. Die Injektionen wurden daher oft zu medial angesetzt.

Yin et al. versuchen dieses Problem zu lösen, indem sie als Einstichpunkt einen Punkt zwischen mittlerem und lateralem Drittel einer Orientierungslinie auf Höhe des Krikothyroidspaltes von der Medianlinie zur hinteren Kante des Schildknorpels festlegen. Damit liegt der Einstichpunkt weit genug lateral und passt sich den unterschiedlichen Größen der Kehlköpfe an [Yin et al. 1997]. Allerdings besteht weiterhin das Problem, dass es gerade bei adipösen Patienten nicht einfach ist, den Ringknorpel weit genug nach lateral zu verfolgen.

Da sich die Prozentzahlen an erfolgreichen Injektionen der beiden verschiedenen Methoden nur gering unterscheiden, in der Qualität jedoch entscheidende Unterschiede bestehen, hat die Technik über einen medianen Einstich Vorteile gegenüber der Technik mit paramedianem Einstich.

Bei den Injektionen über einen medianen Zugang sind in der Sagittalebene die erfolgreichen Injektionen in einem Einstichwinkelbereich von 0° bis 39° durchgeführt worden. Dieser Bereich kann nicht weiter eingeschränkt werden, da die Verteilung der Gruppen keine signifikanten Unterschiede aufweist (siehe Tab. 13). Der Einstichwinkel sollte aber möglichst klein gehalten werden, um die Elektrodenspitze auf Höhe des Ringknorpels oder leicht kranial des Ringknorpelbogens zu platzieren. Bei größeren bzw. kleineren Einstichwinkeln besteht die Gefahr, dass die Kanüle kranial bzw. kaudal des Muskels gelangt.

In der Transversalebene liegt der Winkelbereich für erfolgreiche Nadelplatzierungen zwischen 40° und 79° (siehe Tab. 14). Auch dieser Bereich lässt sich anhand der Ergebnisse nicht weiter einschränken, allerdings ist eine Winkelangabe für die Durchführung der Nadelplatzierung nach dieser Technik nicht entscheidend. Wichtig ist, den Ringknorpel als Landmarke zu nutzen, und die Nadel entlang des Ringknorpels vorzuschieben. Solange der Kontakt mit dem Ringknorpel gehalten wird, liegt die Kanüle im M. cricothyroideus, der dem Ringknorpel direkt aufliegt.

In der Frontalebene sind die erfolgreichen Injektionen in einem Winkelbereich von 60° bis 119° durchgeführt worden (siehe Tab. 15). Rechts fällt auf, dass der Einstichwinkel für erfolgreiche Injektionen größer ist als für die nicht erfolgreichen Injektionen (siehe Tab. 17). Die Kanüle sollte in der Frontalebene in einem Winkel um 90° eingestochen werden, um auf der Höhe des Ringknorpelbogens zu bleiben und nicht kranial bzw. kaudal des Ringknorpels und damit des Muskels zu gelangen.

Bezüglich der Einstichtiefe zeigen sich rechts signifikante Unterschiede in der Verteilung der Gruppen. Die größten Häufigkeiten an erfolgreichen Injektionen liegen bei einer Einstichtiefe von 1.0 cm bis 1.99 cm (siehe Tab. 16). Links zeigt sich ein ähnliches Ergebnis. Hier konnte sogar eine erfolgreiche Injektion mit einer Einstichtiefe von nur 0.9 cm durchgeführt werden, wobei das Farbstoffdepot allerdings nur in den

medialen Anteil des M. cricothyroideus platziert werden konnte. Die Einstichtiefe sollte also größer als 1 cm sein, um den mittleren Anteil des Muskels zu erreichen.

Die Literaturangaben für Nadelpositionierungen in den M. cricothyroideus sind sehr unterschiedlich und ungenau. Die Technik, die Kanüle über einen medianen Einstichpunkt in den M. cricothyroideus zu platzieren, wird von Mu und Yang beschrieben. Die Richtung der Elektrodenplatzierung wird nur als lateral und leicht aufwärts angegeben, welches den Ergebnissen dieser Arbeit entspricht. Die Einstichtiefe wird im Vergleich allerdings wesentlich kleiner angegeben [Mu u. Yang 1990].

Simpson et al. beschreiben diese Methode etwas abgeändert. Hier wird die Elektrode 0.5 cm paramedian eingestochen und anschließend in lateraler Richtung (30° bis 45°) vorgeschoben. Dies entspricht prinzipiell der medianen Methode, auch wenn die Elektrode nicht median eingestochen wird [Simpson et al. 1993].

Bei den Injektionen in den M. cricothyroideus, die über einen paramedianen Zugang durchgeführt worden sind, zeigen sich rechts in der Sagittalebene bei einem Einstichwinkel von 0° bis 9° signifikant erhöhte Häufigkeiten an erfolgreichen Injektionen (siehe Tab. 08). Die besten Ergebnisse zeigen sich also, wenn die Nadel möglichst senkrecht auf den Ringknorpel zugestochen wird. Auf der linken Seite sind die Ergebnisse nicht so eindeutig, hier konnten auch mit einem größeren Einstichwinkel noch gute Ergebnisse erzielt werden (siehe Tab. 08).

In der Transversalebene lässt sich nach den vorliegenden Ergebnissen ein Einstichwinkelbereich für erfolgreiche Injektionen schwer einschränken. Zwar sind in dem Bereich 0° bis 19° die meisten erfolgreichen Injektionen durchgeführt worden, allerdings konnten auch Kanülen mit größeren Einstichwinkeln in den Zielmuskel platziert werden (siehe Tab. 09).

Auch in der Frontalebene ist der Einstichwinkelbereich, in dem erfolgreiche Injektionen durchgeführt wurden, sehr groß. Auf der linken Seite zeigen sich tendenziell signifikante Unterschiede in der Verteilung der Gruppen bezüglich der Häufigkeiten erfolgreich bzw. nicht erfolgreicher Injektionen, wobei die höchsten Prozentzahlen an

erfolgreichen Injektionen in einem mittleren Einstichwinkelbereich von 20° bis 79° liegen (siehe Tab. 10). Das Ergebnis des t-Tests deutet darauf hin, dass die erfolgreichen Injektionen eher im unteren Winkelbereich platziert worden sind (siehe Tab. 12). Rechts liegen die höchsten Prozentzahlen in einem Winkelbereich kleiner als 40°, wobei diese Unterschiede in der Verteilung nicht signifikant sind (siehe Tab. 10).

Die Einstichtiefe, in der links die besten Ergebnisse erzielt worden sind, liegt zwischen 0.5 cm und 0.99 cm. Rechts sind auch mit größeren und kleineren Einstichtiefen gute Ergebnisse erzielt worden (siehe Tab. 11).

Die Breite des Einstichwinkelbereichs, in dem erfolgreiche Injektionen in den M. cricothyroideus durchgeführt werden konnten, ist bei beiden Techniken sehr groß und lässt sich anhand der hier gewonnenen Ergebnisse nicht weiter einschränken. Trotz der sehr unterschiedlichen Einstichwinkel konnten über 80% der Injektionen korrekt platziert werden. Die Einstichwinkel scheinen daher bei den Injektionen in den M. cricothyroideus nicht so entscheidend zu sein, da der Muskel sehr oberflächlich liegt und durch den Ringknorpel ein guter Orientierungspunkt besteht. Wichtig ist, dass der Ringknorpelbogen gut palpirt und als Landmarke genutzt wird. Bei einem paramedianen Zugang sollte die Nadel dann möglichst weit lateral eingestochen werden, um sie in den mittleren Teil des Muskels zu platzieren. In der Literatur werden zu dieser Methode der Nadelpositionierung keine Winkelangaben gemacht. Auch bei der Einstichtiefe ist der entscheidende Anhaltspunkt der Kontakt der Nadelspitze mit dem Ringknorpel. Der M. cricothyroideus liegt dem Ringknorpel direkt auf. Es ist daher wichtig, die Nadel einzustechen, bis sie mit dem Knorpel in Kontakt kommt und dann ganz leicht zurückzuziehen, um die Nadelspitze im Muskel zu platzieren.

4.3. M. cricoarytaenoideus posterior

Im Vergleich der beiden Injektionsmethoden über einen lateralen und einen anterioren, percartilaginösen Zugang zeigt sich, dass mit dem anterioren Zugang erheblich mehr Injektionen erfolgreich platziert wurden (links 71%, rechts 89%) als mit dem lateralen Zugang, wo gerade einmal die Hälfte der Injektionen in den Zielmuskel platziert werden konnte. Obwohl zu wenig Injektionen über einen anterioren Zugang durchgeführt worden sind, um χ^2 – und t-Test auf Signifikanz durchführen zu können, zeigt sich, dass mit dieser Methode die Kanüle mit einer höheren Sicherheit und Genauigkeit in

den M. cricoarytaenoideus posterior platziert werden kann. Bei Interventionen am M. cricoarytaenoideus posterior ist also die anteriore, percartilaginöse Technik als Methode der Wahl anzusehen. Bestätigt wird diese Aussage von Mu u. Yang, die diese Methode zuerst beschreiben und für leichter durchführbar und sicherer halten [Mu u. Yang 1990].

Bei den hier durchgeführten erfolgreichen Injektionen wurde die Kanüle nach Einstich durch das Lig. cricothyroideum leicht kranial und lateral, jeweils zwischen 5° und 20°, geführt. Die Einstichtiefe lag bei den erfolgreichen Platzierungen zwischen 2.5 cm und 3.5 cm. Da der M. cricoarytaenoideus posterior aber direkt der hinteren Platte des Ringknorpels aufliegt, befindet sich die Nadelspitze direkt nach Durchstechen der Ringknorpelplatte im Muskel. Da das Durchstechen des Knorpels deutlich als Widerstandsverlust wahrgenommen wird, ist eine Tiefenangabe für Interventionen am M. cricoarytaenoideus posterior nicht entscheidend und kann nur als Anhaltspunkt dienen.

Auch Blitzer et al. beschreiben bei dieser Technik nach Durchstechen des Lig. cricothyroideum ein laterales Verschieben der Kanüle. Andere Richtungs- oder Tiefenangaben konnten zu dieser Methode nicht gefunden werden [Blitzer et al. 2002].

Eine Schwierigkeit bei der praktischen Durchführung dieser Methode könnte eine starke Ossifikation der Ringknorpelplatte darstellen. In diesen Versuchen wurden die Injektionen mit einer relativ stabilen Kanüle durchgeführt. Die LEMG-Elektroden sind allerdings im Vergleich wesentlich unstabiler. Es ist die Frage, inwieweit eine starke Verknöcherung der Ringknorpelplatte die Nadelpositionierung durch diese beeinträchtigt.

Häufig wird in der Literatur die Nadelpplatzierung über einen lateralen Zugang beschrieben, die auf Hiroto 1962 zurückgeht [in Mu u. Yang 1990]. Es wird eine mediale und posteriore Richtung zur Nadelpplatzierung angegeben. Genauere Angaben werden nicht gemacht [Blitzer et al. 2002; Yin et al. 1997; Mu u. Yang 1990].

In den Versuchen hat sich gezeigt, dass in der Sagittalebene in einem kleineren Winkelbereich von 0° bis 19° die besseren Ergebnisse erzielt worden sind (siehe Tab. 20). Der Einstichwinkel in der Sagittalebene sollte also möglichst klein gehalten

werden. Dies wird auch im t-Test vor allem auf der rechten Seite bestätigt, wo der mittlere Einstichwinkel der erfolgreichen Injektionen tendenziell signifikant kleiner ist als der Mittelwert der Einstichwinkel der nicht erfolgreichen Injektionen (siehe Tab. 24).

In der Transversalebene wurden die meisten erfolgreichen Injektionen mit einem Einstichwinkel von 90° bis 119° durchgeführt. Allerdings wurden rechts und links auch jeweils eine Injektion in einem Winkel größer als 120° durchgeführt, die beide erfolgreich platziert werden konnten (siehe Tab. 21). Die besseren Ergebnisse wurden also in einem Winkel in der Transversalebene größer als 90° erzielt, d.h. dass die Kanüle (nach Passieren des dorsalen Randes der Schildknorpelplatte) eher in anteriorer Richtung vorgeschoben wurde, im Gegensatz zur Beschreibung von Yin et al. (1997) und Mu und Yang (1990), die eine posteriore Richtung angeben. Entscheidend dafür, ob die Nadel eher anterior oder posterior gelenkt wird, ist, inwieweit der hintere Rand der Schildknorpelplatte nach posterior reicht und damit posterior oder anterior der Ringknorpelplatte liegt. Dies ist allerdings von außen nicht zu tasten. Es wäre interessant näher zu betrachten, ob hier Regelmäßigkeiten oder Unterschiede zwischen Frauen und Männern bestehen.

In der Frontalebene zeigen sich rechts signifikante Unterschiede in den Verteilungen; alle erfolgreichen Injektionen erfolgten in einem Einstichwinkel zwischen 90° und 119°. Links zeigt sich ein ähnliches Ergebnis, hier konnte allerdings zusätzlich eine Injektion mit einem kleineren Winkel erfolgreich platziert werden (siehe Tab. 22). Die Kanüle wird also in einem Winkel von 90° eingestochen und muss danach in dieser Ebene nicht mehr bewegt werden, da der Einstichpunkt schon auf Höhe des Muskels liegt. Bei einem wesentlich größeren oder kleineren Winkel würde die Kanüle kaudal bzw. kranial des Muskels landen.

Die Einstichtiefe der erfolgreichen Injektionen liegt zwischen 2.0 cm und 3.49 cm (siehe Tab. 23). Die Einstichtiefe ist bei Injektionen über einen lateralen Zugang schwierig einzuschätzen. Es gibt keinen direkten Anhaltspunkt wie z.B. einen Widerstandsverlust oder erhöhten Widerstand. Die Einstichtiefe sollte aber in dem Bereich von 2.5 cm bis 3.5 cm liegen und kann dann je nach Gewicht und Größe des Patienten eher zum oberen oder unteren Grenzwert tendieren. Diese Ergebnisse bestätigen die von Mu und Yang (1990) angegebene Einstichtiefe (siehe 1.4.).

Der Zusammenhang zwischen der Einstichtiefe in den M. cricoarytaenoideus posterior und der Körpergröße sowie dem Körpergewicht der Probanden wird anhand der Spearman Korrelationen in Tab. 25 deutlich. Es zeigt sich hier vor allem bei der Gruppe der erfolgreichen Injektionen eine signifikant positive Korrelation zwischen der Einstichtiefe und der Körpergröße sowie dem Körpergewicht. Das bedeutet, dass die Einstichtiefe umso größer ist, je größer das Körpergewicht bzw. die Körpergröße der Probanden ist. Außerdem hat sich ein Unterschied in der Einstichtiefe bei Frauen und Männern herausgestellt. Dieser Unterschied ist zwar signifikant, allerdings nicht groß und damit für die praktische Umsetzung nicht allzu bedeutend (siehe Tab. 26, Abb. 9 und 10).

4.4. Weitere Gesichtspunkte

Eine mögliche Fehlerquelle stellt bei dieser Versuchsdurchführung die Winkelmessung dar. Zwischen der Farbstoffinjektion nach Platzierung der Kanüle und dem Messen der externen Nadelposition können geringe Lageveränderungen durch das Eigengewicht der Kanüle aufgetreten sein, die zu Messfehlern führen können. Bei den sehr kleinen Muskeln können auch schon geringe Änderungen im Einstichwinkel entscheidende Fehler hervorrufen.

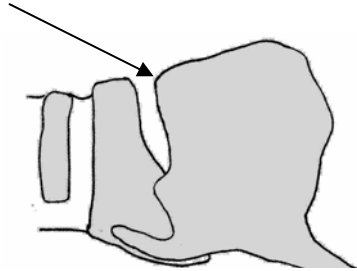
Eine entscheidende Frage, die bei der Interpretation dieser Ergebnisse auftaucht, ist, inwieweit sich die Untersuchungsergebnisse, die an Leichen durchgeführt worden sind, auf lebende Patienten übertragen lassen. Ein Problem stellt sicherlich die Position des Kopfes dar, da der Hals aufgrund der Leichenstarre nicht immer optimal zu überstrecken war.

Ein generelles Problem bei der perkutanen Nadelpositionierung ist die Stellung der Stimmlippen. Es ist fraglich, ob die Position der Stimmlippen sowohl bei verschiedenen Patienten als auch bei Verstorbenen immer gleich ist. Grundsätzlich aber ist die Stimmlippenstellung von Patienten und Verstorbenen vergleichbar. Bei dem Patienten besteht während der Atmung eine Respirationstellung, bei der die Stimmlippen abduziert sind. Bei Leichen liegt eine Kadaverstellung vor, bei der die Stimmlippen ebenfalls abduziert sind.

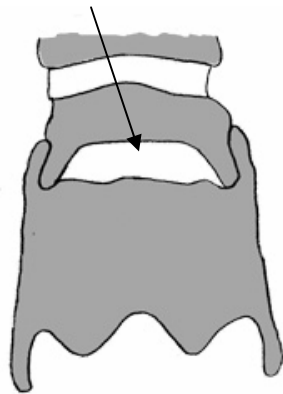
Ein großer Vorteil liegt bei der praktischen Anwendung der Larynx-EMG und der Botulinumtoxininjektionen im Vergleich zu den im Rahmen dieser Dissertation durchgeführten Versuchen sicherlich darin, dass zumindest bei gesunden Patienten die interne Lage der Elektrodenspitze durch die EMG-Aufzeichnungen bestätigt werden kann. Bei pathologischen Befunden, wie z.B. Lähmungen, ist dies schwieriger.

4.5. „best fit“

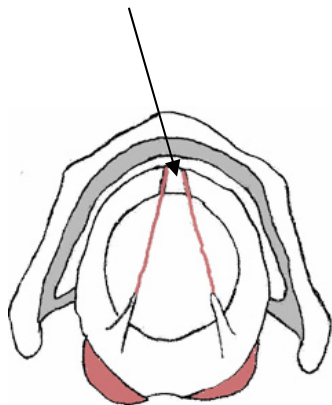
4.5.1. M. vocalis



**Abbildung 12: „best fit“:
M. vocalis in der Sagittalebene**



**Abbildung 13: „best fit“:
M. vocalis in der Frontalebene**



**Abbildung 14: „best fit“:
M. vocalis in der Transversalebene**

Die optimale Nadelposition bei perkutanen Interventionen am M. vocalis stellt sich folgendermaßen dar:

Der Einstich erfolgt median direkt über dem oberen Rand des Ringknorpels. Nach Durchstechen des Lig. cricothyroideum wird die Nadel in folgender Richtung vorgeschoben:

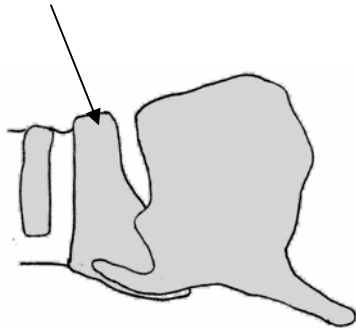
60° (50°-70°) in der Sagittalebene,

15° (10°-19°) in der Frontalebene,

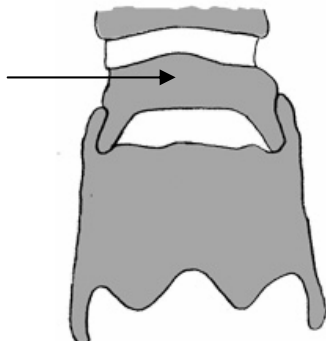
15° (10°-19°) in der Transversalebene.

Die Einstichtiefe sollte zwischen 2.5 und 3.5 cm, bei Frauen eher im unteren Bereich, bei Männern eher im oberen Bereich liegen. Das Einstechen der Nadel in den Muskel ist als leichter Widerstand wahrzunehmen (siehe Abb. 12-14)

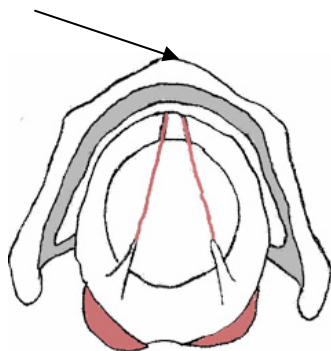
4.5.2. M. cricothyroideus bei medianem Zugang



**Abbildung 15: „best fit“:
M. cricothyroideus bei medianem
Zugang in der Sagittalebene**



**Abbildung 16: „best fit“:
M. cricothyroideus bei medianem
Zugang in der Frontalebene**



**Abbildung 17: „best fit“:
M. cricothyroideus bei medianem
Zugang in der Transversalebene**

Zur Nadelpositionierung in den M. cricothyroideus ist die Technik über einen medianen Zugang der paramedianen Technik vorzuziehen.

Nach einem medianem Einstich auf Höhe des Ringknorpelbogens wird die Nadel entlang des Ringknorpels nach lateral und leicht kranial vorgeschoben.

Der Einstichwinkel liegt zwischen

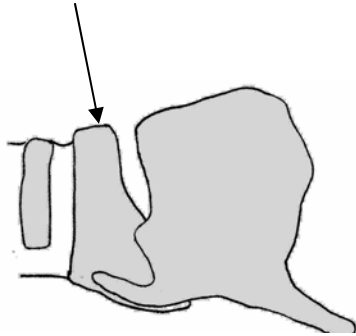
0° bis 39° in der Sagittalebene,

80°- 99° in der Frontalebene,

40°- 79° in der Transversalebene.

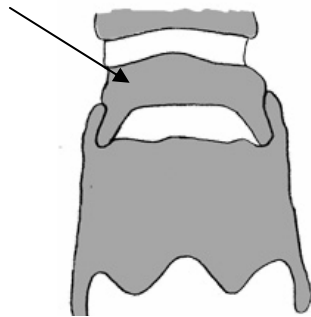
Die Einstichtiefe sollte 1.5 cm bis 2 cm betragen (siehe Abb. 15 bis 17).

4.5.3. M. cricothyroideus bei paramedianem Zugang



**Abbildung 18: „best fit“:
M. cricothyroideus bei
paramedianem Zugang in der
Sagittalebene**

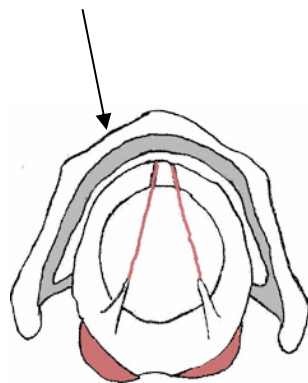
Wird ein paramedianer Zugang gewählt, so sollte die Kanüle etwa 1.5 cm paramedian auf Höhe des Ringknorpelbogens (eher kranial) eingestochen werden. Die Nadel wird möglichst senkrecht auf den Knorpel zugestochen:



**Abbildung 19: „best fit“:
M. cricothyroideus bei
paramedianem Zugang in der
Frontalebene**

0°- 9° in der Sagittalebene,
20°- 79° in der Frontalebene,
0°- 19° in der Transversalebene.

Die Nadel wird soweit eingestochen bis sie auf den Knorpel trifft und dann leicht zurückgezogen. Die Nadelspitze liegt dann in einer Tiefe von 0.5 cm bis 0.99 cm (siehe Abb. 18 bis 20).



**Abbildung 20: „best fit“:
M. cricothyroideus bei
paramedianem Zugang in der
Transversalebene**

4.5.4. M. cricoarytaenoideus posterior bei anteriorem Zugang

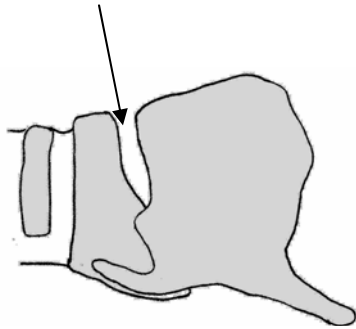


Abbildung 21: „best fit“:
M. cricoarytaenoideus posterior
bei anteriorem Zugang in der
Sagittalebene

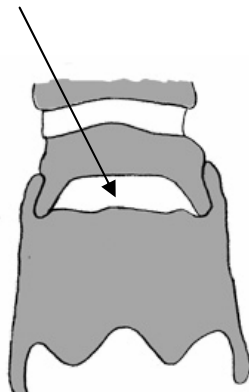


Abbildung 22: „best fit“:
M. cricoarytaenoideus posterior
bei anteriorem Zugang in der
Frontalebene

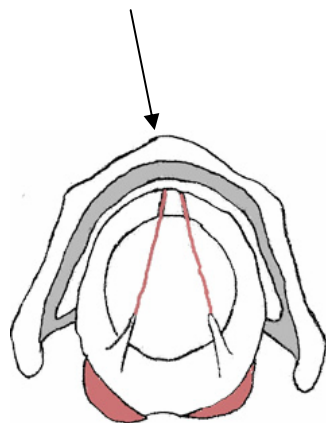


Abbildung 23: „best fit“:
M. cricoarytaenoideus posterior
bei anteriorem Zugang in der
Transversalebene

Die Nadelpositionierung in den M. cricoarytaenoideus posterior sollte über einen anterioren, percartilaginösen Zugang durchgeführt werden.

Die Nadel wird hierbei median auf Höhe des Lig. cricothyroideum am oberen

Rand des Ringknorpelbogens eingestochen und nach Durchstechen des Ligamentums leicht lateral und kranial vorgeschoben bis sie auf die Lamina des Ringknorpels stößt.

Der Einstichwinkel der Nadel beträgt:

5°- 20° in der Sagittalebene,

20°- 70° in der Frontalebene,

5°- 20° in der Transersalebene.

Nach Durchstechen der Lamina liegt die Nadelspitze in einer Tiefe von 2.5 cm bis 3.5 cm im M. cricoarytaenoideus posterior. Die Einstichtiefe hängt sowohl von Größe und Gewicht als auch vom Geschlecht der Probanden ab. Bei Männern und Patienten mit hohem Gewicht und Körpergröße ist die Einstichtiefe größer als bei Frauen und kleineren, leichteren Patienten (siehe Abb. 21 bis 23).

4.5.5. M. cricoarytaenoideus posterior bei lateralem Zugang

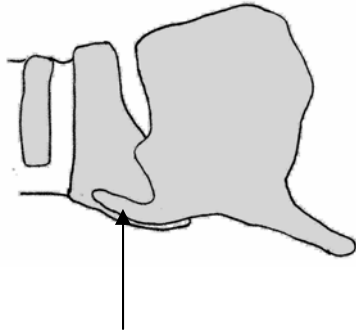


Abbildung 24: „best fit“:
M. cricoarytaenoideus posterior
bei lateralem Zugang in der
Sagittalebene

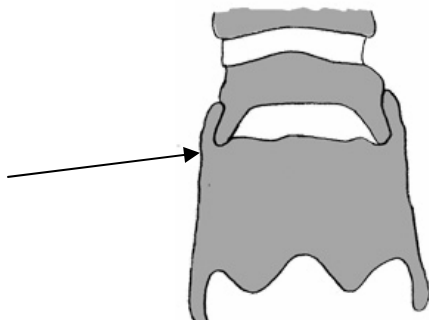


Abbildung 25: „best fit“:
M. cricoarytaenoideus posterior
bei lateralem Zugang in der
Frontalebene

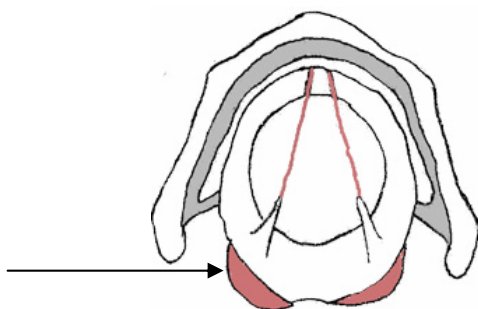


Abbildung 26: „best fit“:
M. cricoarytaenoideus posterior
bei lateralem Zugang in der
Transversalebene

Bei Durchführung der Nadelpositionierung in den M. cricoarytaenoideus posterior über einen lateralen Zugang wird die Nadel oberhalb des Cornu inferius am dorsalen Rand des Schildknorpels eingestochen und dann in einem Winkel von

0°- 19° in der Sagittalebene,

90°- 119° in der Frontalebene,

90°- 119° in der Transversalebene

vorgeschoben. Die Einstichtiefe beträgt zwischen 2.5 cm und 3.5 cm und liegt je nach Geschlecht sowie Größe und Gewicht der Patienten eher im oberen oder unteren Bereich (siehe Abb. 24 bis 26).

5. Zusammenfassung

Die perkutane Nadelpositionierung in laryngeale Muskeln zur Durchführung von elektromyographischen Untersuchungen oder Botulinumtoxininjektionen ist eine schon lange bekannte Methode, die sich aber in der klinischen Routine aufgrund von Schwierigkeiten bei der präzisen Positionierung der Nadeln nicht durchgesetzt hat. Ziel dieser Studie ist es, eine für die Klinik praktikable und zuverlässige Methode der perkutanen Nadelpositionierung zu finden, um Elektroden bzw. Injektionskanülen möglichst präzise in laryngeale Muskeln zu platzieren.

Es wurden dafür an 40 Leichen des Instituts für Rechtsmedizin des Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf perkutane Nadelpositionierungen durchgeführt. Injektionskanülen mit einer Farbstofflösung wurden in die Mm. vocales, cricothyroidei und cricoarytaenoidei posterior platziert und der Farbstoff jeweils injiziert, um die interne Position der Nadelspitze zu markieren. Anschließend wurde die externe Nadelposition anhand der Einstichwinkel in drei Ebenen sowie die Einstichtiefe mit einem Geodreieck vermessen. Nach Durchführung der Injektionen wurde der Larynx exenteriert, präpariert, die einzelnen Muskeln dargestellt und die injizierten Farbstoffmarkierungen aufgesucht. Die Injektionslokalisationen in den einzelnen Muskeln wurden im Vergleich mit den Daten der externen Nadelposition ausgewertet. Dabei zeigte sich, dass bei Interventionen am M. vocalis die Kanüle nach medianem Einstich über dem Ringknorpel in einem Winkel von 50° - 70° in der Sagittalebene und 10° - 19° in der Transversal- und Frontalebene platziert werden sollte. Damit weichen diese Angaben teilweise von den in der Literatur gegebenen Beschreibungen ab.

Die Nadelplatzierungen in den M. cricothyroideus wurden im Rahmen dieser Versuche in zwei möglichen Techniken, über einen medianen und einen paramedianen Einstich, durchgeführt. Mit beiden Methoden konnte eine sehr hohe Prozentzahl an erfolgreichen Injektionen erreicht werden. Die Einstichwinkel- und Tiefenbereiche für erfolgreiche Injektionen umfassten einen relativ großen Bereich und ließen sich anhand der hier gewonnenen Ergebnisse nicht weiter einschränken. Als besonders wichtig wurde daher der Ringknorpelbogen als Landmarke erachtet, dem der M. cricothyroideus aufliegt.

Bei Interventionen am M. cricoarytaenoideus posterior hat sich eine anteriore, percartilaginöse Technik gegenüber einem lateralen Zugang als eindeutig besser erwiesen. Die Kanüle wurde anterior durch das Lig. cricothyroideum gestochen und anschließend je 5° bis 20° kranial und lateral durch die hintere Ringknorpelplatte vorgeschoben. Für beide Techniken können Winkel- und Tiefenbereiche für eine erfolgreiche Platzierung angegeben werden, die in der Fachliteratur so nicht zu finden sind.

Anhand der hier gewonnen Ergebnisse sind Bereiche von Einstichwinkeln und –tiefen bestimmt worden, in denen erfolgreiche Nadelplatzierungen in laryngeale Muskeln durchgeführt werden können. Diese sind aber teilweise noch relativ groß und lassen sich anhand der hier gewonnen Daten nicht weiter einschränken. Es wäre interessant zu sehen, ob sich diese Winkel- und Tiefenbereiche noch weiter begrenzen lassen, oder ob die anatomischen Verhältnisse zu sehr variieren, so dass der Kliniker sich doch mehr an Landmarken als an Winkel- und Tiefenangaben halten sollte. Eine weitere offene Frage ist, inwieweit der Unterschied im Kehlkopfgerüst von Frauen und Männern sich auf die Technik der Nadelpositionierung auswirkt. Im Rahmen dieser Dissertation konnten keine entscheidenden Unterschiede gefunden werden.

Literaturverzeichnis

- ARONSON AE** (1980) Clinical Voice Disorders. An Interdisciplinary Approach. Brian C. Decker, a Division of Thieme-Stratton Inc. New York Georg Thieme Publishers Stuttgart New York
- BACKHAUS K, ERICHSON B, PLINKE W, WEIBER R** (1990) Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung. Springer-Lehrbuch, 6. Auflage
- BLAIR RL** (1989) Laryngeal Electromyography. Arch Otorhinolaryngol 246:395-396
- BLITZER A, BRIN MF, STEWART C** (1998) Botulinum Toxin Management of spasmodic dysphonia (laryngeal dystonia): a 12 year experience in more than 900 patients. Laryngoscope 108:1435-1441
- BLITZER A, JAHN AF, KEIDAR A** (1996) Semon's Law Revisited: An Electromyographic Analysis of Laryngeal Synkinesis. Ann Otol Rhinol Laryngol 105:764-769
- BLITZER A, ZALVAN C, GONZALEZ-YANEZ O, BRIN MF** (2002) Botulinum Toxin Type A Injections for the Management of the Hyperfunctional Larynx. In: Brin MF, Jankovic J, Hallett M (ed) Scientific and Therapeutic Aspects of Botulinum Toxin, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, pp 207-216
- COOPER MH** (1992) Anatomy of the Larynx. In: Blitzer A, Brin MF, Sasaki CT, Fahn S, Katharine SH (Hrsg) Neurologic Disorders of the Larynx. Thieme Medical Publishers New York
- CRUMLEY RL** (1989) Laryngeal Synkinesis: Its Significance to the Laryngologist. Ann Otol Rhinol Laryngol 98:87-92
- HARRIES ML, MORRISON M** (1998) Management of unilateral Vocal Cord Paralysis by Injection Medialization with Teflon Paste. Ann Otol Rhinol Laryngol 107:332-336
- HERBERHOLD C, WALTHER EK** (1995) Die Elektromyographie des Kehlkopfes. In: Naumann, Helms, Herberhold, Kastenbauer (Hrsg) Oto-Rhino-Laryngologie in Klinik und Praxis, Band 3. Thieme Stuttgart, S 315-320
- HIRANO M, YASUMASA T, TANAKA S, HIBI S** (1990) Transcutaneous Intrafold Injection for Unilateral Vocal Fold Paralysis: Functional Results. Ann Otol Rhinol Laryngol 99:598-604
- JACOBS IN, FINKEL RS** (2002) Laryngeal Electromyography in the Management of Vocal Cord Mobility Problems in Children. Laryngoscope 112:1243-1248

- KOTBY MN, FADLY E, MADKOUR O, BARAKAH M, KHIDR A, ALLOUSH T, SALEH M** (1992) Electromyography and Neurography in Neurolaryngology. *Journal of Voice* Vol.6, No.2, pp. 159-187
- LIPTON RJ, MCCAFFREY TV, CAHILL DR** (1989) Sectional Anatomy of the Larynx: Implications for the transcutaneous Approach to endolaryngeal Structures. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 98:141-144
- LOVELACE RE, BLITZER A, LUDLOW CL** (1992) Clinical Laryngeal Electromyography. In: Blitzer A, Brin MF, Sasaki CT, Fahn S, Katharine SH (Hrsg) *Neurologic Disorders of the Larynx*. Thieme Medical Publishers New York, p66
- MAXEINER H** (2003) Untersuchungstechniken des Kehlkopfes. In: Brinkmann B, Madea B (Hrsg) *Handbuch der gerichtlichen Medizin*, Springer, S 720-723
- MAXEINER H, DIETZ W.** (1986) Anleitung für eine vollständige Kehlkopfpräparation. *Z Rechtsmed* 96: 11-16
- MERMELSTEIN M, NONWEILER R, RUBINSTEIN E** (1996) Intraoperative Identification of Laryngeal Nerves with Laryngeal Electromyography. *Laryngoscope* 106:752-756
- MU L, YANG S** (1990) A New Method of Needle-Electrode Placement in the Posterior Cricoarytenoid Muscle for Electromyography. *Laryngoscope* 100:1127-1131
- NETTER FH** (1997) *Atlas der Anatomie des Menschen*. Novartis, East Hannover, NJ, S 72
- PARNES SM** (1988) Laryngeal Electromyography. *Ear Nose Throat J* 67:48-51
- POTOTSCHNIG C, THUMFART WF** (1999) Die Behandlung der spasmodischen Dysphonie. In: Laskawi R, Roggenkämper P (Hrsg) *Botulinum-Toxin-Therapie im Kopf-Hals-Bereich*. Urban & Vogel München
- ROHRBACH S, LASKAWI R** (2003) Botulinum-Toxin in der Hals-Nasen-Ohrenheilkunde. *Laryngo-Rhino-Otol* 82:202-218
- RONTAL E, RONTAL M, SILVERMAN B, KILENY PR** (1993) The Clinical Differentiation Between Vocal Cord Paralysis and Vocal Cord Fixation Using Electromyography. *Laryngoscope* 103:133-137
- SCHIEBLER TH, SCHMIDT W, ZILLES K** (Hrsg.) (1999) *Anatomie*. Springer-Verlag 7. Auflage, S. 451-456
- SIMPSON DV, STERNMAN D, GRAVES-WRIGHT J, SANDERS I** (1993) Vocal Cord Paralysis: Clinical and Electrophysiologic Features. *Muscle Nerve* 16:952-957
- THUMFART WF** (1981) Elektrodiagnostik bei Läsionen des N. recurrens. *Arch Oto-Rhino-Laryngol* 231:483-505

- THUMFART WF** (1988) Electrodiagnosis of Laryngeal Nerve Disorders. Ear Nose Throat J 67:380-393
- WENDLER J, SEIDNER W, KITTEL G, EYSHOLDT U** (1996) Lehrbuch der Phoniatrie und Pädaudiologie, 3. Auflage. Georg Thieme Verlag Stuttgart New York
- WIRTH G** (1995) Stimmstörungen. Lehrbuch für Ärzte, Logopäden, Sprachheilpädagogen und Sprechtherapeuten, 4. Auflage. Deutscher Ärzte-Verlag Köln, S.74-79
- WISSEL J, POEWE W** (1995) Electromyography for Identification of Dystonic Muscles. In: Moore P (ed) Handbook of Botulinum Toxin Treatment. Blackwell Science, p 54
- Woo P** (1998) Laryngeal Electromyography Is a Cost-effective Clinically Useful Tool in the Evaluation of Vocal Fold Function. Arch Otolaryngol Head Neck Surg 124:472-475
- YIN SS, QUI WW, STUCKER FJ** (1997) Major Patterns of Laryngeal Electromyography and Their Clinical Application. Laryngoscope 107:126-136

Danksagung

Meinen Dank möchte ich zunächst in besonderem Maße Herrn Prof. Dr. M. Hess für seine Unterstützung aussprechen.

Weiterhin gilt mein Dank Prof. Dr. Püschel und den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts für Rechtsmedizinischen am UKE für das Ermöglichen und die Unterstützung der praktischen Durchführung der Versuche. Außerdem möchte ich Dr. Sanchez für seine Hilfe und Beratung vor allem bei der Vorbereitung und Planung meiner Versuche danken und Herrn Petersen für seine Unterstützung in statistischen Fragen.

Abschließend möchte ich mich bei meiner Familie für ihre Unterstützung bedanken.

Lebenslauf

Name: Koch, Simone

Geburtsdatum: 13. April 1979

Geburtsort: Bonn

Schulbildung

1989 – 1998 Gymnasium Christianeum

1998 – 1999 Grossmont College, San Diego, Kalifornien

Studium

seit 10/99 Medizin, Universität Hamburg

09/01 Physikum

10/01 – 03/02 Auslandssemester an der Universität Wien

08/02 1. Staatsexamen

03/05 2. Staatsexamen

05/05 Beginn des Praktischen Jahres

Famulaturen

03/02 – 04/02 Chirurgie, AK Altona

02/03 – 03/03 Praxisfamulatur Orthopädie

09/03 – 10/03 Gynäkologie, AK Altona

03/04 Ophthalmologie, AK Altona

07/04 – 08/04 Auslandsfamulatur im Department of Hand Surgery,
Singapore General Hospital

Anhang

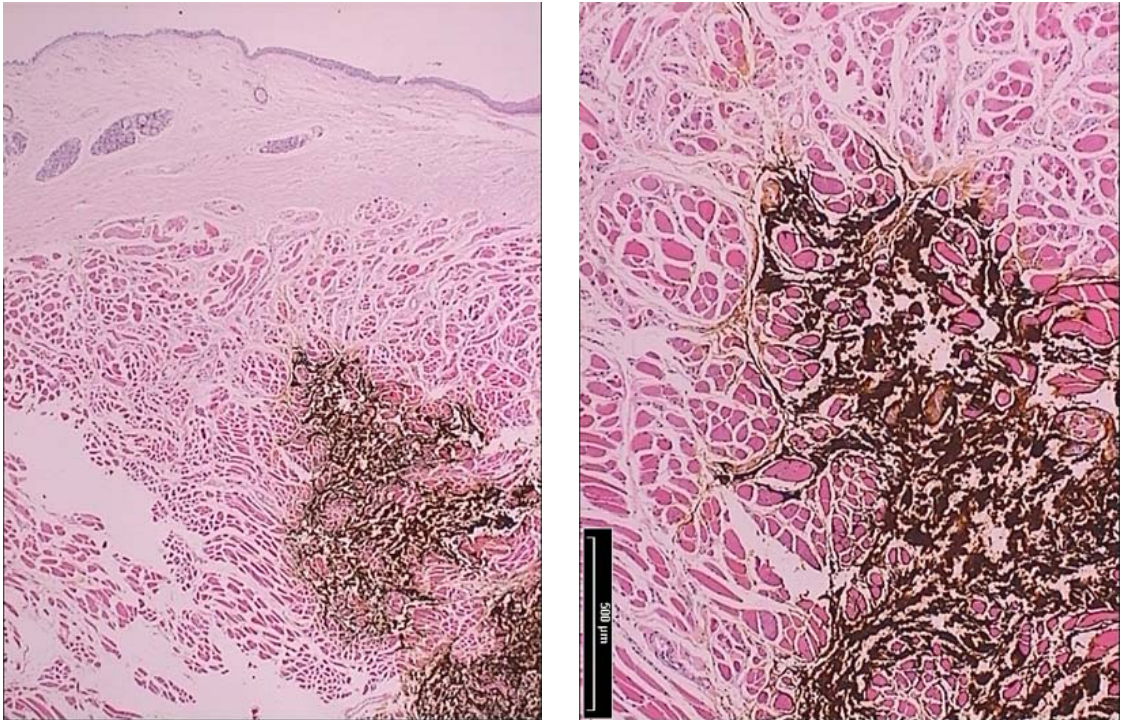
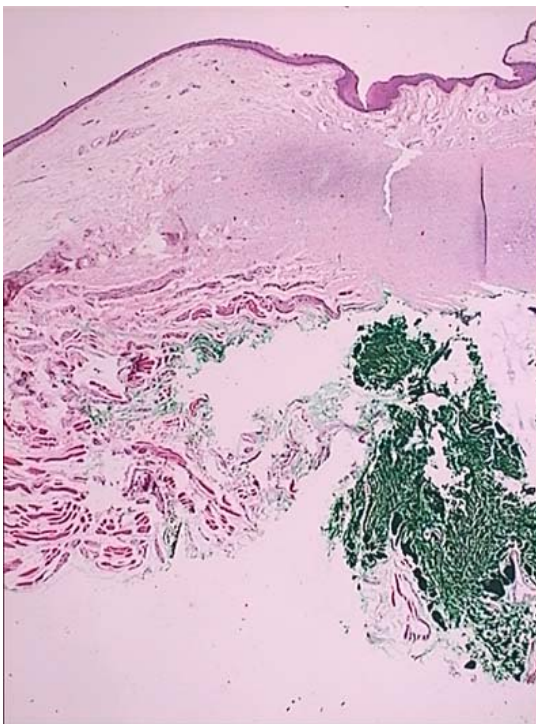


Abbildung 27: Histologische Abbildung mit Farbstoffmarkierung im M. vocalis



**Abbildung 28:
Histologische Abbildung mit
Farbstoffmarkierung im M. vocalis**

Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die 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.