

Aus der Klinik für Anästhesiologie
der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Koniotomie in der Simulation – Training verschiedener Berufsgruppen

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der
Medizin
der Universitätsmedizin
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Vorgelegt von

Fabian Pohlmann
aus Essen

Mainz, 2023

Wissenschaftlicher Vorstand: Univ.-Prof. Dr. Ulrich Förstermann
1. Gutachterin: PD Dr. med. Eva-Verena Griemert
2. Gutachter: PD Dr. med. Tobias Huber

Tag der Promotion: 22. April 2024

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	V
1 Einleitung / Ziel der Dissertation	1
1.1 Überblick: Algorithmus zum schwierigen Atemweg	1
1.1.1 „cannot ventilate, cannot intubate“ -Situation	2
1.2 Koniotomie	3
1.2.1 Komplikationen und Risiken	3
1.2.2 Anatomie	4
1.2.3 Koniotomietechniken	5
1.3 Training der Koniotomie	6
1.4 Effekte des Trainings	7
1.5 Ziel der Dissertation	7
2 Literatur	8
2.1 Überarbeitete S1-Leitlinie Atemwegsmanagement	8
2.2 Inzidenz	8
2.3 Trainingseffekt auf die Dauer bis zur Koniotomie-Indikationsstellung	10
2.4 Trainingseffekt auf die Dauer der Koniotomie	11
2.4.1 Einfluss der Berufsgruppe auf die Dauer der Koniotomie	12
2.5 Vergleichbarkeit von Übungsmodellen, Simulatoren und Körperspendern	13
2.6 Trainingseffekt auf den Wechsel der bevorzugten Koniotomietechnik	14
3 Material und Methoden	15
3.1 Primärer Endpunkt und sekundäre Endpunkte	15
3.2 Datenerhebung	15
3.3 Studienpopulation	16
3.4 Materialien	17
3.4.1 Koniotomie-Übungsmodell	17
3.4.2 Laminierte Anleitungen zu den 3 Koniotomietechniken	17
3.4.3 Aufbau für die Durchführung der klassisch chirurgischen Koniotomie	18
3.4.4 Aufbau für die Durchführung der Seldinger-Technik	19
3.4.5 Aufbau für die Durchführung der Skalpell-Bougie-Technik	20
3.4.6 CRF-Bögen	22
3.5 Studienaufbau / Studienablauf	22

3.5.1	CVCI-Szenario	23
3.6	Statistische Methoden	26
4	Ergebnisse.....	28
4.1	Inzidenz der Koniotomie	28
4.2	Trainingseffekt auf die Dauer bis zur Koniotomie-Indikationsstellung.....	29
4.3	Trainingseffekt auf die Dauer der Koniotomie.....	31
4.3.1	Seldinger-Technik	31
4.3.2	Chirurgische Technik	33
4.3.3	Skalpell-Bougie-Technik	35
4.3.4	Einflussfaktor Berufsgruppe	36
4.4	Trainingseffekt auf den Wechsel der bevorzugten Koniotomietechnik.....	38
4.4.1	Anwenderfreundlichkeit der verschiedenen Techniken	41
5	Diskussion	43
5.1	Inzidenz der Koniotomie	43
5.1.1	Einordnung in die bisherigen Studienergebnisse	43
5.1.2	Bewertung der Ergebnisse, Empfehlung	43
5.2	Trainingseffekt auf die Dauer bis zur Koniotomie-Indikationsstellung.....	44
5.2.1	Einordnung in die bisherigen Studienergebnisse	44
5.2.2	Klinische Relevanz	45
5.2.3	Bewertung	45
5.2.4	Limitationen und Verbesserungsmöglichkeiten	45
5.3	Trainingseffekt auf die Dauer der Koniotomie.....	47
5.3.1	Einordnung in die bisherigen Studienergebnisse	48
5.3.2	Klinische Relevanz	48
5.3.3	Bewertung, Limitationen und Verbesserungsmöglichkeiten	49
5.4	Einfluss der Berufsgruppe auf die Dauer der Koniotomie	50
5.4.1	Mögliche Erklärungen	50
5.4.2	Einfluss auf die Ergebnisse	50
5.5	Trainingseffekt auf den Wechsel der bevorzugten Koniotomietechnik.....	51
5.5.1	Einordnung in die bisherigen Studienergebnisse	51
5.5.2	Klinische Relevanz	52
5.5.3	Bewertung	52
5.5.4	Limitationen und Verbesserungsmöglichkeiten	52
6	Zusammenfassung	54

7 Literaturverzeichnis	55
8 Anhang	61
8.1 Algorithmus zum unerwartet schwierigen Atemweg aus der S1-Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin (2015).....	61
8.2 Algorithmus zum unerwartet schwierigen Atemweg aus der S1-Leitlinie der AWMF (2023)	62
8.3 Atemwegsalgorithmus des unerwartet schwierigen Atemwegs der Klinik für Anästhesiologie der Universitätsmedizin Mainz nach Piepho und Noppens...	63
8.4 Anleitungen zu den Koniotomietechniken	64
8.4.1 Anleitung zur chirurgischen Koniotomie	64
8.4.2 Anleitung zur Koniotomie mit Seldinger-Technik	65
8.4.3 Anleitung zur Koniotomie mit Skalpell-Bougie-Technik	66
8.5 CRF-Bögen der ScalpelCric-Studie	67
8.6 Flussdiagramm: Allgemeiner Studienablauf (mit präferierten Techniken).....	70
8.7 Flussdiagramm: Ablauf CVCI-Szenario	71
9 Danksagung	73
10 Tabellarischer Lebenslauf.....	75

Abkürzungsverzeichnis

ADAC: Allgemeiner Deutscher Automobil-Club

ASA: American Society of Anesthesiologists

ASB: Arbeiter-Samariter-Bund

AWMF: Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften

cm: Zentimeter

Co. Ltd: Limited Company (Kapitalgesellschaft)

CRF-Bogen: Case-Report-Form-Bogen (Erhebungsbogen)

CT: Chirurgische (Koniotomie-)Technik

CVCI: „cannot ventilate, cannot intubate“

DGAI: Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin

DIN: Deutsches Institut für Normung

DRK: Deutsches Rotes Kreuz

EGA: Extraglottische Atemweghilfen

Et al.: Et alia (und andere)

etCO₂: Endtiales Kohlenstoffdioxid

e.V.: Eingetragener Verein

Fa.: Firma

Fr: French (Maßeinheit für den Außendurchmesser)

G: Gauge (Maßeinheit für den Außendurchmesser)

GmbH: Gesellschaft mit beschränkter Haftung

gGmbH: gemeinnützige Gesellschaft mit beschränkter Haftung

HF: Herzfrequenz

ID: Identifikationsnummer

IMBEI: Institut für Biometrie, Epidemiologie und Informatik

IN: Indiana

Inc.: Incorporated (Rechtsform für Unternehmen, vergleichbar mit GmbH)

kA: keine Angabe

KV: Kreisverband

Lig.: Ligamentum

MA: Mitarbeitende

MET: Medical emergency team (Medizinisches Notfallteam)

ml: Milliliter

mm: Millimeter

mmHg: Millimeter-Quecksilbersäule

No: Number (Nummer)

NCT-Nummer: (US) National Clinical Trial Number

RR: Blutdruck nach Riva Rocci

SBT: Skalpell-Bougie-Technik

Sek.: Sekunden

SpO₂: pulsoxymetrisch gemessene Sauerstoffsättigung des Blutes

SPSS: Statistical Package for Social Sciences, Statistikprogramm von IBM (New York, USA)

ST: Seldinger-(Koniotomie-)Technik

UK: United Kingdom (Vereinigtes Königreich)

US: United States (Vereinigte Staaten)

vs.: versus

WI: Wisconsin (USA-Bundesstaat)

z.B.: zum Beispiel

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anatomische Darstellung des Kehlkopfs, Lage des Ligamentum cricothyroideum	4
Abbildung 2: Rachen, Kehlkopf und oberer Thorax im Sagittalschnitt, Tubuslage nach Koniotomie.....	6
Abbildung 3: Crico-Trainer „Adelaide“ inklusive zweischichtiger Haut (links), Kehlkopfnachbildung mit Aussparung im Bereich des Lig. Cricothyroideum (rechts)	17
Abbildung 5: Set und Aufbau für chirurgische Koniotomie.....	18
Abbildung 6: Melker Emergency Cricothyrotomy Catheter Set und Aufbau für Koniotomie mit Seldinger-Technik.	19
Abbildung 7: ScalpelCric Set und Aufbau für Koniotomie mit Skalpell-Bougie-Technik	21
Abbildung 8: Studienaufbau in den Räumen des Simulationszentrums der Unimedizin Mainz.....	22
Abbildung 9: Aufbau des CVCI-Szenarios in den Räumen des Simulationszentrums der Unimedizin Mainz	24
Abbildung 10: Kaplan-Meier-Schätzung bezüglich der Dauer bis zur Koniotomie-Indikationsstellung im Vergleich „Training vor CVCI-Szenario“ (grün) vs. „kein Training vor CVCI-Szenario“ (rot)	29
Abbildung 11: Kaplan-Meier-Schätzung bezüglich der Dauer bis zur Koniotomie-Indikationsstellung im Vergleich Fachärzt:innen (grün) vs. Assistenzärzt:innen (rot)	30
Abbildung 12: Kaplan-Meier-Kurven bezüglich der Dauer bis zur erfolgreichen Koniotomie mit Hilfe der Seldinger Technik im Vergleich „Training vor der Studie“ (grün) vs. „kein Training vor der Studie“ (rot).....	31
Abbildung 13: Kaplan-Meier-Kurven bezüglich der Dauer bis zur erfolgreichen Koniotomie mit Hilfe der Seldinger Technik unter Berücksichtigung der Zeitpunkte des Trainings	32
Abbildung 14: Kaplan-Meier-Kurven bezüglich der Dauer bis zur erfolgreichen Koniotomie mit Hilfe der Chirurgischen Technik im Vergleich „Training vor der Studie“ (grün) vs. „kein Training vor der Studie“ (rot).....	33
Abbildung 15: Kaplan-Meier-Kurven bezüglich der Dauer bis zur erfolgreichen Koniotomie mit Hilfe der chirurgischen Technik unter Berücksichtigung der Zeitpunkte des Trainings	34

Abbildung 16: Kaplan-Meier-Kurven bezüglich der Dauer bis zur erfolgreichen Koniotomie mit Hilfe der Skalpell-Bougie-Technik im Vergleich „Training vor der Studie“ (grün) vs. „kein Training vor der Studie“ (rot)	35
Abbildung 17: Kaplan-Meier-Kurven bezüglich der Summe der Dauer aller drei Techniken im Vergleich der verschiedenen Berufsgruppen	36
Abbildung 18: Wechselströme der angegebenen bevorzugten Techniken der 200 Studienteilnehmenden im Vergleich vor (links) vs. nach (rechts) dem Training.....	38
Abbildung 19: Wechselströme der angegebenen bevorzugten Techniken der 50 Fachärzt:innen im Vergleich vor (links) vs. nach (rechts) dem Training	39
Abbildung 20: Wechselströme der angegebenen bevorzugten Techniken der 100 Studierenden und Rettungsdienstmitarbeitenden im Vergleich vor (links) vs. nach (rechts) dem Training	40

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vitalparameter der Übungspuppe während des CVCI-Szenarios	25
Tabelle 2: Koniotomie-Erfahrung in realen Situationen, nach Berufsgruppen	28
Tabelle 3: Studienpopulation des CVCI-Szenarios.....	29
Tabelle 4: Ergebnisse des Cox Proportional-Hazard Modells mit den Variablen "Fachärzt:innen" und "Training vor Szenario" zur Zielvariable "Zeit bis zur Koniotomie-Indikationsstellung"	30
Tabelle 5: Übersicht der Studienteilnehmenden, die schon vor der Studie an einem Training teilgenommen haben	31
Tabelle 6: Anteile der Studienteilnehmenden, aufgeteilt nach Dauer seit letztem Training der Seldinger Technik.....	32
Tabelle 7: Ergebnisse des Log-Rank-Tests bezüglich der Unterschiede in der Dauer bis zur erfolgreichen Koniotomie mit der Seldinger-Technik zwischen den Gruppen mit unterschiedlicher Dauer seit dem letzten Training	33
Tabelle 8: Anteile der Studienteilnehmenden, aufgeteilt nach Dauer seit letztem Training der chirurgischen Technik.....	34
Tabelle 9: Ergebnisse des Log-Rank-Tests bezüglich der Unterschiede in der Dauer bis zur erfolgreichen Koniotomie mit der chirurgischen Koniotomietechnik zwischen den Gruppen mit unterschiedlicher Dauer seit dem letzten Training.	35
Tabelle 10: Anteile der Studienteilnehmenden, aufgeteilt nach Dauer seit letztem Training der Skalpell-Bougie-Technik.....	36
Tabelle 11: Ergebnisse des Cox Proportional-Hazard Modells mit den Variablen " Fachärzt:innen ", "Training vor der Studie" und "Rettungsdienstler + Studenten" zur Zielvariable "Zeit bis zur erfolgreichen Koniotomie"	37
Tabelle 12: Übersicht über die Anteile der Studienteilnehmenden, welche ihre präferierte Technik gewechselt haben.....	41
Tabelle 13: Ergebnisse der Likert-Skala bezüglich der Anwenderfreundlichkeit der verschiedenen Techniken.....	41

1 Einleitung / Ziel der Dissertation

1.1 Überblick: Algorithmus zum schwierigen Atemweg

Die Sicherung des Atemwegs ist insbesondere für Anästhesist:innen, aber auch für Intensiv- und Notfallmediziner:innen eine der Kernkompetenzen. Eine besondere Herausforderung stellt in diesem Kontext der „schwierige Atemweg“ dar. Unter der Begrifflichkeit „schwieriger Atemweg“ werden auf unterschiedlichen Ebenen des Atemwegsalgorithmus (Maskenbeatmung, extraglottische Atemwegssicherung, Intubation) auftretende Schwierigkeiten verstanden, welche eine suffiziente Ventilation und somit Oxygenierung behindern [1-3]. Da es studienübergreifend keine einheitliche Definition für einen „schwierigen Atemweg“ gibt, sind Aussagen über die Inzidenz nur schwer möglich. Das Auftreten einer schwierigen Maskenbeatmung wird mit einer Häufigkeit von 2 % und das Auftreten einer schwierigen direkten Laryngoskopie mit einer Häufigkeit von 1,5 - 8 % angegeben [1, 4-8].

Diverse Studien zeigten bereits, dass das Einhalten von Algorithmen bei der Bewältigung dieser Probleme helfen kann [9-11]. Der „Algorithmus zum unerwartet schwierigen Atemweg“ (siehe Anhang 8.1) aus der S1-Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin (DGAI, 2015 [1, 2, 12]) sieht nach fehlgeschlagener Atemwegssicherung (z.B. nach maximal zwei erfolglosen Intubationsversuchen) und zusätzlich insuffizienter Maskenbeatmung einen Hilferuf nach weiterer Unterstützung vor. Dieser Hilferuf ist nur im klinischen Setting, nicht jedoch im Bereich der Präklinik möglich. Im weiteren Verlauf ist der Versuch der Einlage von extraglottischen Atemwegshilfen (EGA) vorgesehen. Hierbei handelt es sich um Ventilationshilfen, welche außerhalb der Glottis und der Trachea platziert werden und die Atemwege zwischen Oropharynx und proximalem Ösophagus offenhalten sollen. Hierzu gehören beispielsweise die Larynxmaske oder der Larynxtubus. Ist mittels EGA weiterhin keine suffiziente Ventilation möglich, ist der (erneute) Versuch der endotrachealen Intubation mit direkter oder indirekter Laryngoskopie vorgesehen. Bei der direkten Laryngoskopie wird mit Hilfe eines Laryngoskops die Epiglottis angehoben, um einen direkten Blick auf die Stimmritze zu erhalten. Alternativ kann direkt der Versuch einer Intubation mithilfe eines Videolaryngoskops erwogen werden. Dieses bietet neben der Möglichkeit der direkten Laryngoskopie zusätzlich über eine eingebaute Kamera und einen externen Bildschirm eine verbesserte und veränderte Sichtachse [1, 13]. Sofern das gewählte

Vorgehen nicht erfolgreich ist und eine Rückkehr zur Spontanatmung nicht möglich ist, soll ein erneuter Versuch der Atemwegssicherung mittels einer Alternative unternommen werden.

Der an der Universitätsmedizin Mainz genutzte und gelehrte Atemwegsalgorithmus des unerwartet schwierigen Atemwegs der Klinik für Anästhesiologie der Universitätsmedizin Mainz (siehe Anhang 8.3, [14]) wurde ebenso wie der Algorithmus zum unerwartet schwierigen Atemweg aus der S1-Leitlinie der DGAI [1] von Herrn Prof. Dr. Piepho und Herrn PD Dr. Noppens in ihrer Zeit an der Universitätsmedizin Mainz erstellt. Aus diesem Grund weisen die beiden Algorithmen einen sehr ähnlichen Aufbau auf. In dem in Mainz verwendeten Algorithmus sind nur wenige Unterschiede zu erkennen. So soll ein Hilferuf auch bei möglicher Maskenbeatmung bereits nach der ersten fehlgeschlagenen Atemwegssicherung erfolgen. Außerdem wird die Möglichkeit der zu erwägenden neuromuskulären Blockade sowie im Gegenzug die Antagonisierung von Medikamenten (z.B. durch Naloxon, Sugammadex) genannt.

1.1.1 „cannot ventilate, cannot intubate“ -Situation

Falls weder durch die Maskenbeatmung noch durch eine extraglottische Atemwegshilfe eine Oxygenierung gewährleistet werden kann und keine Intubation möglich ist, wird von einer „cannot ventilate, cannot intubate“ (folgend CVCI) - Situation gesprochen. Ursächlich für eine CVCI-Situation können Atemwegsverlegungen im Bereich des Oropharynx und der Glottis sein. Dies kann zum Beispiel durch ein schweres Mittelgesichtstrauma, ein Ödem im Rahmen einer Anaphylaxie, eine Fremdkörperaspiration im Bereich der oberen Luftwege oder individuelle anatomische Besonderheiten von Patient:innen bedingt sein. Eine andauernde Hypoxie kann zu irreversiblen Hirnschäden sowie Schäden weiterer lebenswichtiger Organe und schließlich zum Tod führen [15-18]. Etwa ab einer Sauerstoffsättigung von 60 % im arteriellen Blut kommt es zu einem Verlust des Bewusstseins [18]. Die Zeit, die bis dahin vergeht, ist sehr patientenabhängig. Einflussfaktoren sind zum Beispiel das Alter, das Gewicht, der Hämoglobingehalt im Blut, das Herzzeitvolumen oder die Ausgangsoxygenierung. Mathematischen Berechnungen zufolge liegt die Dauer bis eine Sauerstoffsättigung von 60 % erreicht ist im Bereich von 1-3 Minuten [19]. Bei vollständiger Atemwegsobstruktion unter Raumluft wird von einem Kreislaufstillstand nach 5-10 Minuten ausgegangen [18, 20]. Ein Überleben durch Reanimation nach hypoxiebedingtem Kreislaufstillstand ist

selten und geht dann häufig mit einem schlechten neurologischen Outcome einher [18, 21]. Ein besseres neurologisches Outcome ist bei Patient:innen zu erwarten, die bewusstlos werden, jedoch keinen Kreislaufstillstand erleiden [18, 22, 23].

Bisherige Studien zeigen, dass die Inzidenz einer CVCI-Situation im Rahmen der perioperativen Atemwegssicherung mit 0,0006 % bis 0,004 % als sehr niedrig einzuschätzen ist [4, 5]. Eine deutlich höhere Inzidenz von CVCI-Situationen wird im Bereich der Präklinik beobachtet (Siehe 2.2, [16, 24-29]).

1.2 Koniotomie

Liegt eine CVCI-Situation vor und ist eine Rückkehr zur Spontanatmung nicht möglich, besteht die Indikation für einen translaryngealen oder einen transtrachealen Zugang. Mittel der Wahl ist besonders bei Erwachsenen und Jugendlichen im Notfall die Koniotomie [3, 30]. Bei Kindern und Kleinkindern ist diese aufgrund anderer anatomischer Verhältnisse weniger erfolgversprechend [3, 31, 32]. Im Verhältnis ist eine Koniotomie im Bereich der Präklinik deutlich häufiger (siehe 2.2) indiziert als bei der innerklinischen Atemwegssicherung [16, 24, 33].

Die Koniotomie, auch Krikothyreotomie genannt, sollte idealerweise bei leicht rekliniertem Kopf durchgeführt werden [34]. Zuerst erfolgt die Palpation des Schildknorpels, sowie des kaudal liegenden Ringknorpels. Hier kann die „laryngeal handshake“-Technik als Hilfe dienen, die korrekte Punktionsstelle zu identifizieren. Bei dieser Technik wird der Kehlkopf mit Daumen und Mittelfinger fixiert und in der Folge mit dem Zeigefinger von kranial nach kaudal entlang des Kehlkopfs palpiert [35, 36]. Ist die Vertiefung zwischen Schild- und Ringknorpel gefunden, folgt ein ca. 2-3 cm langer vertikaler Hautschnitt. Nach weiterer Präparation wird das Ligamentum cricothyroideum chirurgisch durchtrennt oder durchstoßen. Über den geschaffenen Zugangsweg kann ein Tubus oder eine Trachealkanüle eingeführt und in die Trachea vorgeschoben werden [3, 30, 37, 38].

1.2.1 Komplikationen und Risiken

In Analogie zu allen invasiven Eingriffen birgt auch die Koniotomie die Gefahr von Komplikationen und Risiken. So kann bei erschwerten anatomischen Bedingungen (z.B. bei Adipositas) bereits das Auffinden der korrekten Punktionsstelle deutlich erschwert sein [39]. Mögliche Komplikationen können Fehllagen des Tubus (paratracheal, ösophageal) mit dem Risiko der Entstehung von Weichteil- und Mediastinalemphysemen sein. Bei allen Techniken können Verletzungen

benachbarter Organe (Schild- und Ringknorpel, Ösophagus, Schilddrüse) entstehen [40, 41]. Wenngleich im Bereich des Ligamentum cricothyroideum meist nur kleine Gefäße verlaufen, ist das Auftreten schwerwiegender Blutungskomplikationen möglich [40-42]. Spätfolgen wie Infektionen, subglottische Stenosen und Dysphonie können ebenfalls auftreten [41, 43]. Die Koniotomie ist in der Regel nur ein Provisorium, welches innerklinisch, z.B. durch eine chirurgische Tracheotomie, ersetzt wird [2, 44, 45]. Die Spätfolgen der Tracheotomie unterscheiden sich wenig von denen der Koniotomie [40, 45], sie bietet jedoch die Möglichkeit für größere Tubuslumen (6 mm vs. bis 12 mm), was für eine Langzeitbeatmung von Vorteil ist.

1.2.2 Anatomie

Das Ligamentum cricothyroideum verbindet den prominenten Schildknorpel mit dem darunter liegenden Ringknorpel [3, 46]. Die korrekte Lokalisation zur Durchführung der chirurgischen Koniotomie ist als eine kleine Vertiefung unterhalb des Schildknorpels zu tasten. Auf der folgenden Abbildung des Kehlkopfs von anterior ist die anatomische Lage des Ligamentum cricothyroideum und damit der Ort der Koniotomie markiert.

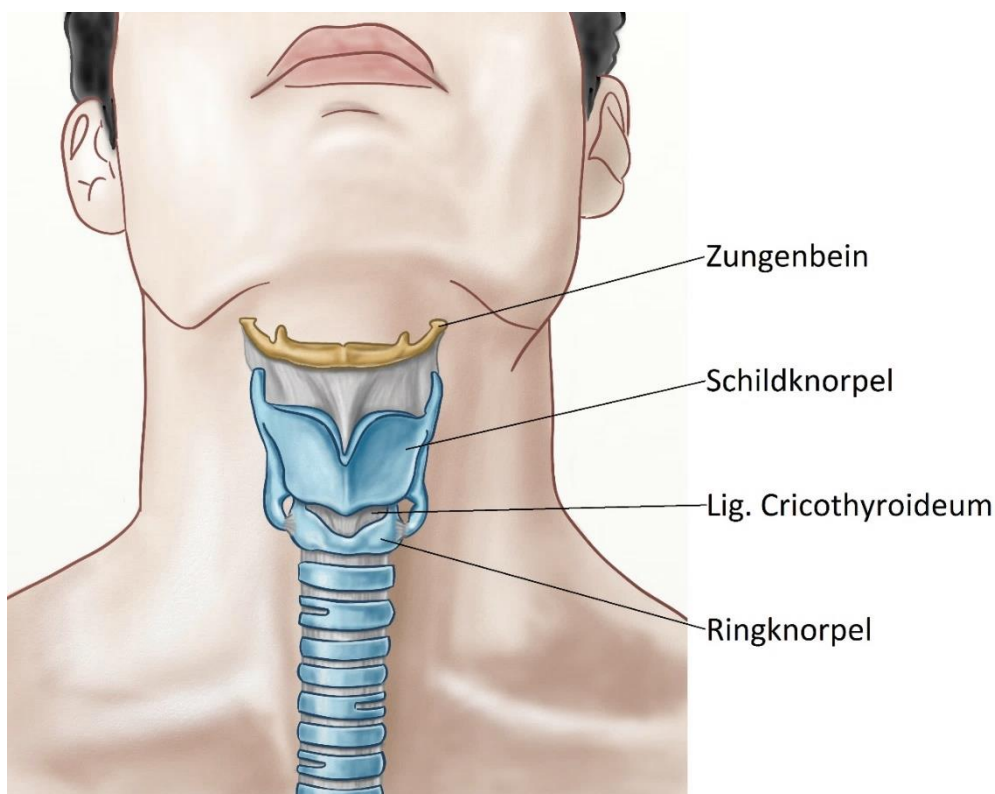


Abbildung 1: Anatomische Darstellung des Kehlkopfs, Lage des Ligamentum cricothyroideum (Quelle: Auftragsarbeit, Dr. Q. Sameer / Fiverr [https://de.fiverr.com/artby_drsam], 21.08.2023], ergänzt durch Beschriftung)

Dieser Bereich ist schwach durchblutet. Außer der variabel vorkommenden Arteria cricothyroidea befinden sich hier keine klinisch relevanten Gefäße oder Nerven [31]. Da sowohl der Schild- als auch der Ringknorpel zum Kehlkopf gezählt werden, trifft der umgangssprachlich genutzte Begriff „Luftröhrenschnitt“ in anatomischer Hinsicht nicht zu.

1.2.3 Koniotomietechniken

Grundsätzlich werden drei Koniotomietechniken unterschieden. Bei der chirurgischen Technik wird mit Hilfe eines Skalpell nach einem zumeist vertikalen Hautschnitt das Ligamentum cricothyroideum horizontal durchtrennt und der Tubus dann mit Hilfe eines Spekulum, eines Trachealhakens oder eines Führungsstabs in die Trachea vorgeschoben [33, 34]. Die Seldinger-Technik sieht eine Punktion des Ligamentum cricothyroideum vor. Über die Punktionsnadel wird, in Analogie zur Technik der Anlage eines zentralvenösen Katheters, ein Führungsdraht eingebracht. Über den liegenden Führungsdraht wird erst mithilfe eines Dilators die Punktionsstelle aufgeweitet und in der Folge dann der Endotrachealtubus vorgeschoben. Für diese Technik wird in vielen Bereichen z.B. das „Melker™ Emergency Cricothyrotomy Catheter Set“ der Firma Cook Medical Inc. (Bloomington, IN, USA) vorgehalten, welches alle benötigten Materialien enthält [3, 34]. Bei der „Nadelkoniotomie“, auch bekannt als Punktionskoniotomie (z.B. „Quicktrach™“ der Fa. VBM Medizintechnik GmbH, Sulz, Deutschland), wird, analog zur Anlage einer Venenverweilkanüle, eine Kanüle über einen Stahlmandrin direkt in die Trachea eingeführt [31, 42, 47].

Bei allen Koniotomietechniken wird der Tubus oder die entsprechende Trachealkanüle, wie auf Abbildung 2 zu erkennen, zwischen Schild- und Ringknorpel eingeführt. Der blockbare Cuff wird im Bereich der oberen Luftröhre platziert.

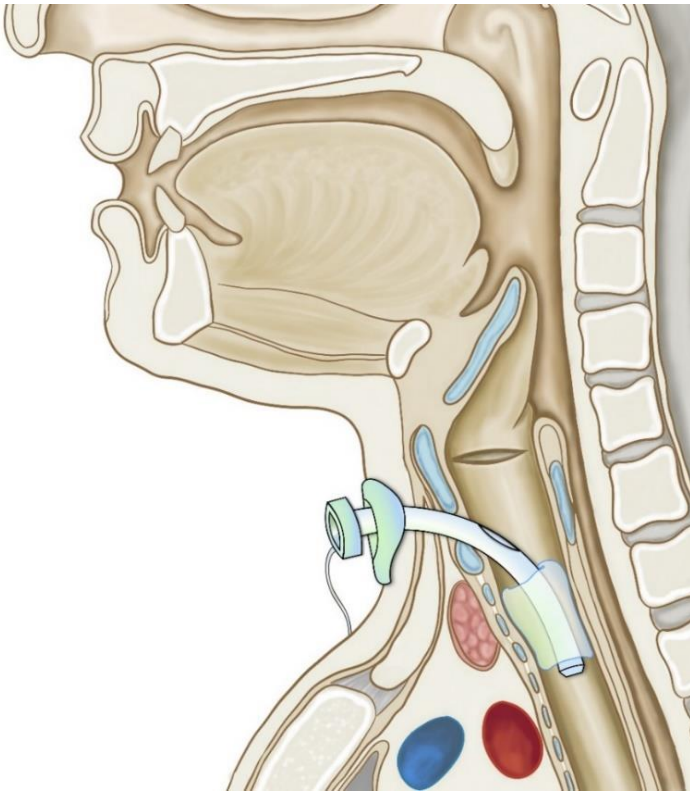


Abbildung 2: Rachen, Kehlkopf und oberer Thorax im Sagittalschnitt, Tubuslage nach Koniotomie (Quelle: Auftragsarbeit, Dr. Q. Sameer / Fiverr [https://de.fiverr.com/artby_drsam, 21.08.2023])

Im deutschsprachigen Raum existieren keine Empfehlungen hinsichtlich der anzuwendenden Koniotomietechnik. Diese sollte nach Abhängigkeit von den zur Verfügung stehenden Materialien und der jeweils bestehenden Routine und Erfahrung mit den verschiedenen Techniken gewählt werden [34].

1.3 Training der Koniotomie

Retrospektiv durchgeführte Datenanalysen konnten zeigen, dass die Inzidenz einer CVCI-Situation innerklinisch selten ist [4, 5, 48, 49]. Hierbei handelt es sich ausschließlich um eine Notfallsituation. Dies hat zur Konsequenz, dass die Koniotomie im Gegensatz zu vielen anderen technischen Fertigkeiten nicht unter Anleitung in realen Situationen erlernt werden kann. Hinzu kommt der Umstand, dass eine Anleitung in einer solchen Ausnahmesituation als äußerst unethisch anzusehen wäre. Ärzt:innen, die sich mit der Sicherung von Atemwegen beschäftigen, sollten die Koniotomie als „Ultima Ratio“ dennoch beherrschen. Wesentliche Punkte hierbei sind einerseits eine rechtzeitige Indikationsstellung und das korrekte Auffinden des Ligamentum cricothyroideum, andererseits die rasche Durchführung der Koniotomie. Aus diesen Gründen haben Übungsmöglichkeiten abseits von Patient:innen beim Training der Koniotomie einen besonders hohen Stellenwert. Diese Möglichkeiten

bieten unterschiedliche Vor- und Nachteile. Das Training an Körperspendern oder der Schweinetrachea weist zwar eine große Realitätsnähe auf, ist jedoch auch mit höheren Kosten, größerem Aufwand sowie teilweise ethischen Bedenken verbunden. Es gibt inzwischen auch zahlreiche Übungsmodelle von unterschiedlichen Herstellern, an denen die verschiedenen Techniken trainiert werden können. Die anatomischen Verhältnisse der Haut und des Kehlkopfs sollen hier mit verschiedenen Materialien nachempfunden werden, was eine kostengünstige Alternative bietet, um verschiedene Techniken üben zu können. Solche Modelle sind meist gut transportabel, überzeugen durch eine gute Verfügbarkeit und können in der Regel mehrfach genutzt werden. Die Realitätsnähe wird jedoch schlechter bewertet als beim Training der Koniotomie an Körperspendern (siehe 2.5, [50]).

1.4 Effekte des Trainings

Diverse Studien lassen vermuten, dass das Training der Koniotomie positive Effekte zeigen kann. Es wird postuliert, dass regelmäßiges Training die benötigte Zeit für eine erfolgreiche Koniotomie reduzieren kann [51, 52]. Ob durch das Training eine kürzere Zeit bis zur Koniotomieindikationsstellung erzielt werden kann, ist bisher umstritten [9, 53, 54]. Inwiefern die Übung am Modell Proband:innen zum Wechsel ihrer favorisierten Technik überzeugen kann, wurde bislang kaum untersucht.

1.5 Ziel der Dissertation

Ziel der Dissertation ist es, mit Hilfe der gewonnenen Daten die Effekte des Trainings der Koniotomie am Übungsmodell näher zu untersuchen. Fragestellungen, die sich daraus ableiten, sind: Gibt es bei Proband:innen, welche schon in der Vergangenheit an einem Training einer der Koniotomietechniken teilgenommen haben, einen positiven Effekt auf die Dauer bis zur erfolgreichen Koniotomie am Übungsmodell? Kann die Dauer bis zur Koniotomie-Indikationsstellung in einer simulierten CVCI-Situation durch das Training positiv beeinflusst werden? Lassen sich Teilnehmende durch das Training am Übungsmodell von einem Wechsel ihrer zuvor bevorzugten Technik überzeugen? Welchen Einfluss hat im Vergleich dazu die Angehörigkeit zu einer bestimmten Berufsgruppe und damit einhergehender Erfahrung im Bereich grundlegender chirurgischer Techniken?

2 Literatur

Es gibt bereits wissenschaftliche Arbeiten, welche sich mit Effekten des Trainings der Koniotomie am Übungsmodell, die auch im Rahmen dieser Dissertation untersucht werden sollen, beschäftigt haben. Oft sind diese jedoch schwer vergleichbar und weisen nur eine kleine Fallzahl auf. Im Folgenden wird der aktuelle Stand der Forschung zu den Effekten einzeln beschrieben, um eine möglichst große Übersichtlichkeit zu gewährleisten.

2.1 Überarbeitete S1-Leitlinie Atemwegsmanagement

Die unter Federführung der DGAI erstellte S1-Leitlinie Atemwegsmanagement 2023 der Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF) wurde kürzlich überarbeitet (21.08.2023, [55]). Die bisher bestehenden Empfehlungen hinsichtlich der Indikationsstellung zur Koniotomie wurden hier bestätigt. Der Algorithmus zum Vorgehen bei unerwartet schwierigem Atemweg (Siehe 8.2, [56]) wurde an wenigen Stellen angepasst. Bei nicht erfolgreicher Maskenbeatmung und auch im weiteren Verlauf sollte eine suffiziente neuromuskuläre Blockade erwogen werden (Empfehlungen 32, 46, [55]). Die Verwendung von EGA ist nicht mehr bevorzugt empfohlen und steht in der aktualisierten Version der Leitlinie auf einer Ebene mit der Verwendung eines Videolaryngoskops oder einem erneuten Versuch der Maskenbeatmung. Im Rahmen einer CVCI-Situation soll bei noch ausreichender Sauerstoffsättigung die Alternative gewählt werden, „welche [...] die besten Erfolgsaussichten hat, unmittelbar verfügbar ist und vom Anwender beherrscht wird.“ (Empfehlung 47, [55]). Außerdem soll während des Versuchs der Atemwegssicherung bei noch ausreichender Sauerstoffsättigung bereits parallel eine Koniotomie vorbereitet werden (Empfehlung 49, [55]).

2.2 Inzidenz

Es gibt zahlreiche Studien, die sich mit der Frage beschäftigt haben, wie oft CVCI-Situationen, in denen eine Koniotomie indiziert ist, auftreten. Die Angaben variieren stark (0,004 % - 14 %, [4, 5, 16, 24-28]). Dem Großteil der Studien ist jedoch zu entnehmen, dass die Inzidenz im Bereich der Präklinik deutlich höher ist als in der innerklinischen Versorgung. Die Voraussetzungen für eine gelungene Atemwegssicherung gestalten sich in der Präklinik insgesamt schwerer, da Patient:innen beispielsweise oft nicht optimal gelagert oder präoxygeniert werden

können und keine Nüchternheit aufweisen. Schon bei Eintreffen des Rettungsdienstes können ausgeprägte Atemwegsverlegungen vorliegen, was ein besonders schnelles Handeln erfordert. Ausnahmesituationen wie Mittelgesichtstraumata oder Anaphylaxie treten im Bereich der Präklinik außerdem häufiger auf. Im Vergleich ist besonders im perioperativen Bereich nur äußerst selten eine Koniotomie nötig. In manchen Studien wurde außerdem beobachtet, dass die Koniotomie in paramedic- (englisch für nicht ärztliche Berufsgruppen im Rettungsdienst) gestützten Rettungssystemen häufiger durchgeführt wird als in notarztgestützten Rettungssystemen [33].

Die umfangreichsten Studien zur Inzidenz von CVCI-Situationen im perioperativen Setting wurden von Kheterpal et al. durchgeführt. Für ihre erste Studie 2006 untersuchten sie die Atemwegssicherung bei 22.660 Patient:innen im angloamerikanischen Raum (Michigan) über den Zeitraum von 2 Jahren (2006, [4]). In dieser Zeit wurde nur eine Koniotomie durchgeführt (0,004 %). 7 Jahre später konnten Kheterpal et al. diese Beobachtung in einer weiteren Studie bestätigen (2013, [5]). Bei der Untersuchung der Atemwegssicherungen von 176.679 Patient:innen im perioperativen Setting in 4 unterschiedlichen Krankenhäusern (Michigan, Colorado, Oregon, Tennessee) war erneut nur eine Koniotomie nötig (0,0006 %).

In der präklinischen Versorgung und in Notaufnahmen wurden deutlich höhere Inzidenzen festgestellt. Bair et al. untersuchten über einen Zeitraum von 5 Jahren die Inzidenz der Koniotomie in einer Notaufnahme im angloamerikanischen Raum mit einer jährlichen Versorgung von 65.000 Patient:innen und einer angeschlossenen Luftrettung (2003, [24]). Sie beobachteten, dass in 1,1 % der Fälle, in denen eine Atemwegssicherung in der Notaufnahme nötig war, koniotomiert werden musste. Wenn der Atemweg schon zuvor durch die Luftrettung gesichert werden musste, lag der Anteil sogar bei 10,9 %. Kwon et al. beobachteten über einen Zeitraum von 11 Jahren in zwei Universitätskliniken im asiatischen Raum (Südkorea) bei 10.187 versuchten Intubationen das Auftreten von 23 Koniotomien (0,23 %) (2019, [16]). 22 dieser Koniotomien (95,7 %) wurden in der Notaufnahme durchgeführt. In einer Untersuchung von Leibovici et al. (1997, [26]) wurden im südasiatischen Raum (Israel) über den Zeitraum von 4 Jahren 29 Koniotomien beobachtet. Das entsprach 3,3 % aller präklinisch durchgeführten Atemwegssicherungen in diesem Zeitraum. In der Studie von Peters et al. ([27], 2015) zeigte sich in der ärztlich besetzten

Luftrettung im europäischen Raum (Niederlande) eine Inzidenz von 30 Koniotomien bei 1871 Patient:innen, deren Atemweg gesichert werden musste (1,6 %). Gerich et al. (1998, [28]) untersuchten die präklinische Atemwegssicherung von 383 Schwerverletzten im europäischen Raum (Deutschland). Insgesamt wurden 8 Koniotomien durchgeführt (2,1 %). Schober et al. analysierten in ihrer Studie 19382 Einsätze der Luftrettung im europäischen Raum (Niederlande) über einen Zeitraum von 7 Jahren und beobachteten 18 durchgeführte Koniotomien (0,1 %) (2019, [29]).

In einer Umfrage von Makowski et al. im angloamerikanischen Raum, an der 296 Assistenzärzt:innen der Notfallmedizin im 3. bis 5. Ausbildungsjahr teilnahmen, gaben nur 22 % an, bereits praktische Erfahrungen der Koniotomie in realen Situationen zu haben (2013, [57]).

2.3 Trainingseffekt auf die Dauer bis zur Koniotomie-Indikationsstellung

Mit der Fragestellung, ob das Training der Koniotomie einen Einfluss auf die Dauer bis zur Koniotomieindikationsstellung hat, hat sich bislang vor allem eine Studie beschäftigt. In der 2014 publizierten Studie von You-Ten et al. [53] wurden im angloamerikanischen Raum (Kanada) 21 Assistenzärzt:innen im 2. Ausbildungsjahr (postgraduate year two) in zwei Gruppen aufgeteilt. Mit beiden Gruppen wurde in einer 60 bis 90 Minuten langen Einheit der Algorithmus zum Management des schwierigen Atemwegs der American Society of Anesthesiologists (ASA) wiederholt, sowie die Anwendung des Melker™-Koniotomie-Sets theoretisch besprochen. Danach wurde eine Gruppe (n = 10) zusätzlich am Übungsmodell, sowie an Körperspendern praktisch angeleitet. Zwei bis drei Wochen später wurde mit beiden Gruppen ein CVCI-Szenario simuliert. You-Ten et al. stellten fest, dass die Gruppe, welche kein praktisches Training durchgeführt hat (n = 11), ab dem Zeitpunkt der erfolglosen Ventilation mit Hilfe einer Larynxmaske signifikant länger brauchte, bis das Melker™-Koniotomie-Set geöffnet wurde (130 vs. 74 Sek., p = 0,014). Insgesamt (inklusive zuvor versuchter Atemwegssicherung) hat die trainierte Gruppe bis zum Öffnen des Sets durchschnittlich 186 Sekunden gebraucht. Die untrainierte Gruppe brauchte 220 Sekunden [53].

Bei anderen Studien, welche sich mit der Zeit bis zur Koniotomieindikationsstellung in CVCI-Szenarien beschäftigt haben, wurde meist das Training eines Algorithmus zum schwierigen Atemweg kombiniert mit dem praktischen Training am Modell untersucht. [9, 54]. In einer Studie von Kaduvalli et al. (2008, [54]) wurde im

europäischen Raum (UK) die Leistung in einem CVCI-Szenario einer Gruppe ohne praktisches Training der Koniotomie und Übung eines Algorithmus zum schwierigen Atemweg (n = 21), sowie jeweils einer Gruppe nach 6-8 Wochen (n = 19) und nach 6-8 Monaten (n = 15) mit praktischem Training der Koniotomie und Übung eines Algorithmus zum schwierigen Atemweg, untersucht. Bei der Gruppe, deren praktisches Training und die Übung des Algorithmus erst 6-8 Wochen zurücklagen, wurde die kürzeste durchschnittliche Zeit der Hypoxämie (Sauerstoffmangel im Blut) festgestellt (132 Sek.). Die Gruppe ohne vorheriges Training hatte zwar eine längere Zeit der Hypoxämie (216 Sek.), der Unterschied war jedoch statistisch nicht signifikant. Die längste Zeit zeigte die Gruppe, bei der das Training bereits 6-8 Monate zurücklag (238 Sek.). Aus diesem Grund kamen Kuduvalli et al. zu dem Schluss, dass das Training der Koniotomie und die Übung eines Algorithmus zum schwierigen Atemweg spätestens alle 6 Monate wiederholt werden sollten [54].

2.4 Trainingseffekt auf die Dauer der Koniotomie

Der größte Anteil der Studien, welche sich mit den Effekten des Trainings der Koniotomie beschäftigt haben, untersuchte den Einfluss auf die Zeit, die für eine erfolgreiche Koniotomie benötigt wird.

In den Studien von Wong et al. (2003, [58]) und Shetty et al. (2013, [51]) wurde untersucht, inwiefern sich die Dauer bis zur erfolgreichen Koniotomie bei mehreren direkt nacheinander durchgeführten Versuchen verbessert. Wong et al. haben dafür im angloamerikanischen Raum (Kanada) 40 Fachärzt:innen und 62 Assistenzärzt:innen für Anästhesiologie 10 aufeinander folgende Koniotomieversuche mithilfe der Seldinger-Technik an einer Übungspuppe (Nasco, Fort Atkinson, WI, USA) durchführen lassen. Zielsetzung war, die Koniotomie erfolgreich innerhalb von 40 Sekunden zu beenden. Dies schafften im ersten Versuch nur 61 %, nach 5 Versuchen konnte diese Quote auf 96 % angehoben werden [58]. 10 Jahre später bestätigte die Studie von Shetty et al. in Australien diese Ergebnisse. 30 Anästhesist:innen haben hier in 5 aufeinander folgenden Versuchen die Koniotomie mit Hilfe der Seldinger-Technik (Melker-Set™, Cook Medical Inc., Bloomington, IN, USA) an einer Übungspuppe (Cook Medical Inc., Bloomington, IN, USA) durchgeführt. Hier wurde die Zeit bis zur erfolgreichen Koniotomie auf 60 Sekunden limitiert. Im ersten Versuch haben 47 % dieses Ziel erreicht, eine Quote von 93 % konnte im fünften Versuch erreicht werden. Im Mittelwert wurde die Zeit im Vergleich zum ersten Versuch um 23 Sekunden

verbessert [51]. Auch die Studie von Buonopane et al. (2014, [52]) im europäischen Raum (Italien) zeigte ähnliche Ergebnisse. Jeweils 10 Fachärzt:innen für Anästhesiologie, Assistenzärzt:innen für Anästhesiologie, Paramedics und Medizinstudierende (gesamt $n = 40$) wurden in die Studie aufgenommen. Alle Proband:innen haben jeweils 5 aufeinanderfolgende Koniotomieversuche mit der Seldinger-Technik (Melker-Set™, Cook Medical Inc., Bloomington, IN, USA) und dem Quicktrach-Set (Fa. VBM Medizintechnik GmbH, Sulz, Deutschland) durchgeführt. Im Mittelwert verbesserte sich die benötigte Zeit nach 5 Versuchen um 21 Sekunden (49 Sek. vs. 28 Sek.). Der Unterschied war statistisch signifikant. Die verschiedenen Berufsgruppen wurden hinsichtlich der benötigten Zeit nicht miteinander verglichen [52].

Weitere Studien untersuchten, wie lange der Effekt des Trainings der Koniotomie auf die benötigte Zeit in späteren Versuchen anhält. In einer Studie von Hubert et al. (2014, [59]) wurde im europäischen Raum (Frankreich) die benötigte Zeit bis zur erfolgreichen Koniotomie von Anästhesist:innen im 3. Ausbildungsjahr jeweils vor dem Training ($n = 27$), sowie 3 Monate ($n = 9$), 6 Monate ($n = 9$) oder 12 Monate ($n = 9$) nach dem Training der Koniotomie gemessen. Es zeigte sich, dass die mediane Koniotomiedauer vor dem Training (117 Sek.) signifikant länger war als nach dem Training (je nach Zeitraum zwischen 52 und 69 Sek., $p < 0,0001$). Beim Vergleich der Zeiten nach 3 Monaten (69 Sek.), nach 6 Monaten (52 Sek.) und nach 12 Monaten (62 Sek.) zeigte sich kein signifikanter Unterschied [59]. Auch in einer im angloamerikanischen Raum (Kanada) durchgeführten Studie von Boet et al. (2011, [60]) zeigte sich nach dem Training der Koniotomie mit Hilfe der Seldinger-Technik (Melker-Set™, Cook Medical Inc., Bloomington, IN, USA) eine signifikant schnellere Zeit direkt nach dem Training, sowie 6 Monate (153 Sek. vs. 102 Sek.) und 12 Monate (148 Sek. vs. 107 Sek.) nach dem Training [60].

2.4.1 Einfluss der Berufsgruppe auf die Dauer der Koniotomie

Es ist zu vermuten, dass Anästhesist:innen am Übungsmodell weniger Zeit für eine erfolgreiche Koniotomie benötigen als weniger erfahrene Rettungsdienstmitarbeitende oder Studierende der Humanmedizin. Ob diese Annahme korrekt ist und wie groß der Unterschied zwischen den Berufsgruppen ist, wurde bisher kaum untersucht. Bisherige Studien haben meist eine homogene Studienpopulation mit ähnlichem Ausbildungsstand. Studien, an denen Proband:innen unterschiedlicher Berufsgruppen teilnahmen, verglichen die

Ergebnisse zwischen diesen Gruppen nicht [52]. Welchen Einfluss die Zugehörigkeit zu einer bestimmten Berufsgruppe und der damit einhergehende unterschiedliche Ausbildungsstand auf die benötigte Zeit bis zur erfolgreichen Koniotomie hat, soll im Rahmen dieser Dissertationsarbeit näher untersucht werden.

2.5 Vergleichbarkeit von Übungsmodellen, Simulatoren und Körperspendern

Das Training der Koniotomie an anatomisch möglichst korrekten Simulatoren, Schweine-Luftröhren oder Körperspendern, ist meist mit höheren Kosten und einem erhöhten Aufwand verbunden. Hinzu kommen diesbezügliche ethische Bedenken. Daher stellt sich die Frage, inwiefern die Leistungen und Übungserfolge mit denen an günstigeren Übungsmodellen vergleichbar sind. Melchior et al. haben 2014 in einer Studie im europäischen Raum (Dänemark) 16 Ärzt:innen eine Koniotomie an einem einfachen Modell und an einem Körperspender durchführen lassen [61]. Die Ergebnisse zeigten eine hohe Interrater-Reliabilität (Pearsons r : 0,81) und eine gute Korrelation der Leistungen im Vergleich ($R = 0,78$). Melchior et al. kamen zu dem Schluss, dass die Leistung an einem weniger realitätsnahen Modell ein guter Prädiktor für die Leistung an realitätsnäheren Modellen ist. In den Studien von Iverson et al. (USA, 2015, [62]) und Hall (USA, 2011, [63]) zeigten sich keine signifikanten Vorteile des Trainings an der Schweinetrachea gegenüber dem Training an einem Simulator bei der folgenden Koniotomie an Körperspendern. Andere Studien sehen Vorteile beim Training an Körperspendern [50, 64]. In einer 2017 durchgeführten Studie von Takayasu et al. sollten im angloamerikanischen Raum (USA) teilnehmende Ärzt:innen ($n = 22$) die Realitätsnähe der Koniotomie am Modell und am Körperspender jeweils mithilfe einer visuellen Analogskala bewerten. Die Koniotomie am Körperspender wurde hier deutlich besser bewertet als die Simulation am Modell ($79,9 \pm 7,0$ vs. $34,7 \pm 13,4$, $p < 0,0001$). Insbesondere die größere Realitätsnähe von Landmarken sowie der unterschiedlichen Gewebe wurde bei der Übung an Körperspendern hervorgehoben [50].

Zusammenfassend ist jedoch festzustellen, dass allen genannten Übungsmöglichkeiten eine umfassende Realitätsnähe zu einer echten Koniotomie-Situation fehlt. Hier sind zum Beispiel schwierige anatomische Verhältnisse, auftretende Blutungen und enorme Stressoren für die Durchführenden zu nennen, welche so nicht nachzubilden sind.

2.6 Trainingseffekt auf den Wechsel der bevorzugten Koniotomietechnik

Es ist zu vermuten, dass das Training unterschiedlicher Koniotomietechniken am Modell Einfluss auf die zukünftige Wahl der präferierten Technik hat. So ist es möglich, dass die zuvor präferierte Technik weiter gefestigt wird oder die Teilnehmenden von einer anderen Technik überzeugt werden. Inwiefern das Training der Koniotomie den Wechsel zwischen den verschiedenen präferierten Techniken wirklich beeinflussen kann, ist bisher kaum bekannt. Fradet et al. haben für ihre Studie (2020 [65]) 44 Proband:innen im Rahmen eines Workshops auf den Tagungen der Quebec Association of Anaesthetists (Kanada) zu Beginn sowie jeweils nach Ansicht eines Lehrvideos und nach praktischem Training am Übungsmodell und an der Schweinetrachea zum Vertrauen und zur Präferenz von drei unterschiedlichen Koniotomietechniken (chirurgische Technik, Skalpell-Bougie-Technik, Perkutane Technik) befragt. Nach dem Training zeigte sich das größte Vertrauen in die Skalpell-Bougie-Technik, zu welcher das Vertrauen zuvor noch am geringsten war (8 % vs. 91 %). Aber auch das Vertrauen in die chirurgische Technik (10 % vs. 77 %) und die perkutane Technik (14 % vs. 74 %) stieg deutlich. In einer CVCI-Situation sank der Anteil der Teilnehmenden, die eine perkutane Technik als präferierte Technik wählten, nach den Videos von 46 % auf 28 % ($p = 0,001$) und nach dem Workshop von 28 % auf 4 % ($p = 0,021$), wobei eine signifikante Verschiebung zugunsten der Skalpell-Bougie-Tube-Technik zu beobachten war ($p < 0,0005$) [65].

Der Einfluss des Trainings auf die Auswahl der präferierten Koniotomietechnik soll im Rahmen dieser Dissertation näher untersucht werden.

3 Material und Methoden

Bei der „ScalpelCric-Studie“ handelt es sich um eine monozentrische, prospektive, randomisierte Studie. Ein Teil der Daten wurde zusätzlich retrospektiv erhoben. Die Studie wurde am 14.11.2018 über ClinicalTrials.gov im US-Register für klinische Studien registriert (Identifikationsnummer: NCT03741049, [66]).

Die Genehmigung der Studie durch die Ethikkommission der Landesärztekammer Rheinland-Pfalz erfolgte am 09.11.2018 (Antragsnummer: 2018-13819).

Vor Studiendurchführung wurde von allen Teilnehmenden die Einwilligung in die Teilnahme an der Studie eingeholt.

3.1 Primärer Endpunkt und sekundäre Endpunkte

Vor der Erhebung der Daten wurde als primärer Endpunkt festgelegt:

- Dauer bis zur erfolgreichen Koniotomie

Als sekundäre Endpunkte wurden festgelegt:

- Einfluss von Training auf Zeit bis zur Koniotomieindikationsstellung
- Einfluss von Training auf die Auswahl der Technik
- Beurteilung der Anwenderfreundlichkeit durch die Proband:innen (1 („sehr einfach“) – 4 („sehr schwer“) durch die Likert-Skala)
- Erfolgsrate im ersten Versuch
- Anzahl der Versuche für eine erfolgreiche Koniotomie
- Ausmaß des trachealen Traumas (in mm)

3.2 Datenerhebung

Die Daten, auf denen die Ergebnisse dieser Dissertation basieren, wurden im Rahmen der „ScalpelCric-Studie“ erhoben. Ein Ziel der Studie war die Evaluation des Einflusses von Training am Übungsmodell und an der Schweinetrachea auf die Zeit bis zur Koniotomieindikationsstellung sowie auf die Auswahl der Technik. Weiterhin wurden die Teilnehmenden retrospektiv nach zurückliegendem Training der Koniotomie und Erfahrungen in realen CVCI-Situationen befragt. Andere Ziele der Studie waren die Evaluation und der Vergleich von drei unterschiedlichen Koniotomietechniken am Übungsmodell sowie von zwei unterschiedlichen Koniotomietechniken an der Schweinetrachea.

3.3 Studienpopulation

Insgesamt konnten vom 12.11.2018 bis zum 16.12.2018 200 Proband:innen in die Studie aufgenommen werden. Die gesamte Fallzahl setzt sich aus vier gleich großen Gruppen aus verschiedenen Berufsgruppen zusammen (Siehe 8.6).

- 50 Fachärzt:innen für Anästhesiologie

Alle teilnehmenden Fachärzt:innen waren zum Zeitpunkt der Studie an der Universitätsmedizin Mainz tätig. Der Mittelwert der Berufsjahre in der Anästhesiologie betrug 11,96 (Median 10 Jahre). Alle 50 trugen die „Zusatzbezeichnung Notfallmedizin“, 32 (64 %) von ihnen waren darüber hinaus regelmäßig in der präklinischen Notfallmedizin tätig.

- 50 Weiterbildungsassistent:innen für Anästhesiologie

Alle teilnehmenden Weiterbildungsassistent:innen waren zum Zeitpunkt der Studie an der Universitätsmedizin Mainz tätig. Der Mittelwert der Berufsjahre in der Anästhesiologie betrug 3,97 (Median 4 Jahre). Die „Zusatzbezeichnung Notfallmedizin“ trugen 29 (58 %) von ihnen, davon war nur eine/r regelmäßig in der präklinischen Notfallmedizin tätig.

- 50 Rettungsdienstmitarbeitende

Die teilnehmenden Rettungsdienstmitarbeitenden waren zum Zeitpunkt der Studie beim DRK Rettungsdienst Rheinhessen-Nahe gGmbH, dem ASB KV Mainz-Bingen, dem Malteser Hilfsdienst e.V. Mainz oder der ADAC Luftrettung gGmbH in Mainz (Christoph 77) tätig. 33 von ihnen waren ausgebildete Notfallsanitäter:innen, 8 ausgebildete Rettungsassistent:innen und 9 Rettungssanitäter:innen. Der Mittelwert der Berufsjahre im Rettungsdienst betrug in dieser Gruppe 11,16 Jahre (Median 7,5 Jahre).

- 50 Studierende der Humanmedizin

Diese waren zum Zeitpunkt der Studiendurchführung Studierende der Humanmedizin an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz. Der Mittelwert der Dauer des Medizinstudiums betrug 4,52 Jahre (Median 5 Jahre). 21 (42 %) der Studierenden haben vor dem Studium Erfahrungen im Rettungsdienst gesammelt.

3.4 Materialien

Im Rahmen der „ScalpelCric-Studie“ wurden verschiedene Materialien genutzt. Nachfolgend werden diese Materialien einzeln aufgelistet und ihre Anwendung näher beschrieben.

3.4.1 Koniotomie-Übungsmodell



Abbildung 3: Crico-Trainer „Adelaide“ inklusive zweischichtiger Haut (links), Kehlkopfnachbildung mit Aussparung im Bereich des Lig. Cricothyroideum (rechts). Quelle: VBM Medizintechnik GmbH, Sulz, Deutschland, Dominik Steng, [https://media.vbm-medical.de/kat/KAT003_DE.pdf, 21.08.2023]

Das Koniotomie-Übungsphantom „Crico-Trainer Adelaide“ der Firma VBM Medizintechnik GmbH (Sulz, Deutschland) besteht aus einer plastischen Nachbildung des Kehlkopfs mit einer Aussparung im Bereich zwischen Schildknorpel und Ringknorpel sowie einer zweischichtigen Nachbildung der Haut. Die beiden Schichten sollen das subkutane Gewebe und die Krikoidmembran simulieren. Die erfolgreiche Platzierung des Endotrachealtubus ist durch eine Belüftung des angeschlossenen Beutels zu erkennen. Eine paratracheale Platzierung des Tubus ist möglich und durch eine fehlende Belüftung zu erkennen.

3.4.2 Laminierte Anleitungen zu den 3 Koniotomietechniken

Den Proband:innen wurde zu jeder der drei durchzuführenden Koniotomie-Techniken eine bebilderte Anleitung in Größe einer DIN-A4-Seite zur Verfügung gestellt. Hier wurde die jeweilige Technik in 4 bzw. 5 Schritten erklärt. Die Beschreibungen der einzelnen Techniken orientieren sich an Erstbeschreibungen [67], sowie Herstellerangaben [68, 69] und Lehrbuchwissen [33, 37, 70]. Die genutzten Anleitungen befinden sich jeweils im Anhang (Siehe 8.4).

3.4.3 Aufbau für die Durchführung der klassisch chirurgischen Koniotomie

Der Aufbau zur Durchführung der klassisch chirurgischen Technik bestand neben dem Koniotomie-Übungstrainer und der laminierten Anleitung aus einem Skalpell (Feather® No 11, Firma: Feather® Safety Razor Co. Ltd, Osaka, Japan), einem Spekulum (Medicon Instrumente 14cm, Tuttlingen, Deutschland), einem Endotrachealtubus (Rüschelit® Super Safety Clear ID 5,0 mm, Teleflex® Medical GmbH, Fellbach, Deutschland), sowie einer 10 ml Spritze zum Blocken des Tubus (Siehe Abbildung 4).

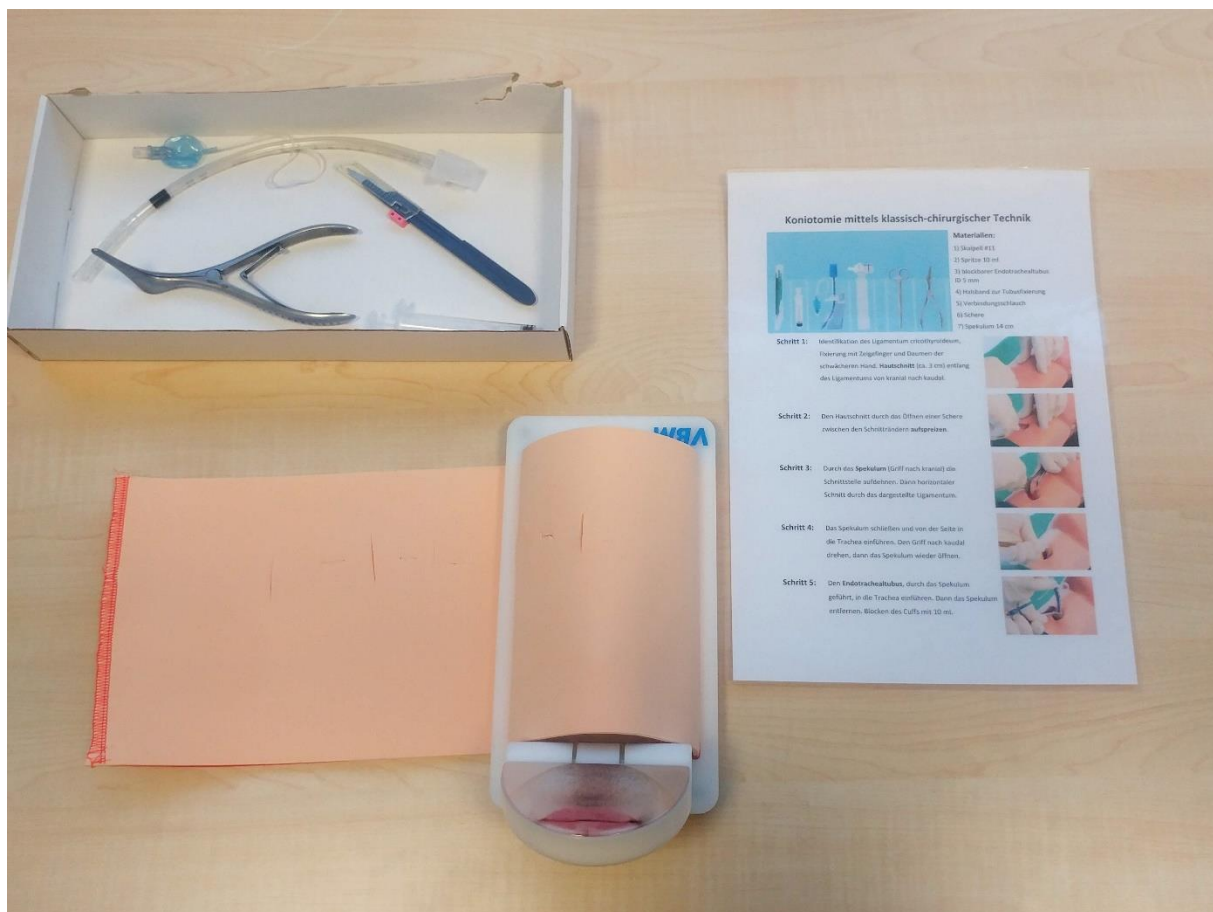


Abbildung 4: Set und Aufbau für chirurgische Koniotomie. Quelle: eigene Aufnahme

Die chirurgische Technik wurde auf der laminierten Anleitung anhand der folgenden 5 Schritte erklärt:

- Schritt 1: Identifikation des Ligamentum cricothyroideum, Fixierung mit Zeigefinger und Daumen der nicht-dominanten Hand. Hautschnitt (ca. 3 cm) entlang des Ligamentums von kranial nach kaudal.
- Schritt 2: Den Hautschnitt durch das Öffnen einer Schere zwischen den Schritträndern aufspreizen.
- Schritt 3: Durch das Spekulum (Griff nach kranial) die Schnittstelle aufdehnen. Dann horizontaler Schnitt durch das dargestellte Ligamentum.

- Schritt 4: Das Spekulum schließen und von der Seite in die Trachea einführen. Den Griff nach kaudal drehen, dann das Spekulum wieder öffnen.
- Schritt 5: Den Endotrachealtubus, durch das Spekulum geführt, in die Trachea einführen. Dann das Spekulum entfernen. Blocken des Cuffs mit 10 ml.

Zusätzlich wurde jeder Schritt durch eine passende Abbildung ergänzt.

3.4.4 Aufbau für die Durchführung der Seldinger-Technik

Bestandteil des Aufbaus zur Durchführung der Koniotomie in Seldinger-Technik war neben dem Koniotomie-Übungstrainer und der laminierten Anleitung das „Melker Emergency Cricothyrotomy Catheter Set“ der Firma Cook (Cook® Medical Inc., Bloomington, USA). Dieses Set enthält einen blockbaren Tubus, einen gebogenen Dilatator, 2 Kanülen (18 G, 5 cm / 7 cm), ein Skalpell (#15), eine Spritze (6 ml), eine Tubusfixierung sowie einen Seldingerdraht (Siehe Abbildung 5).

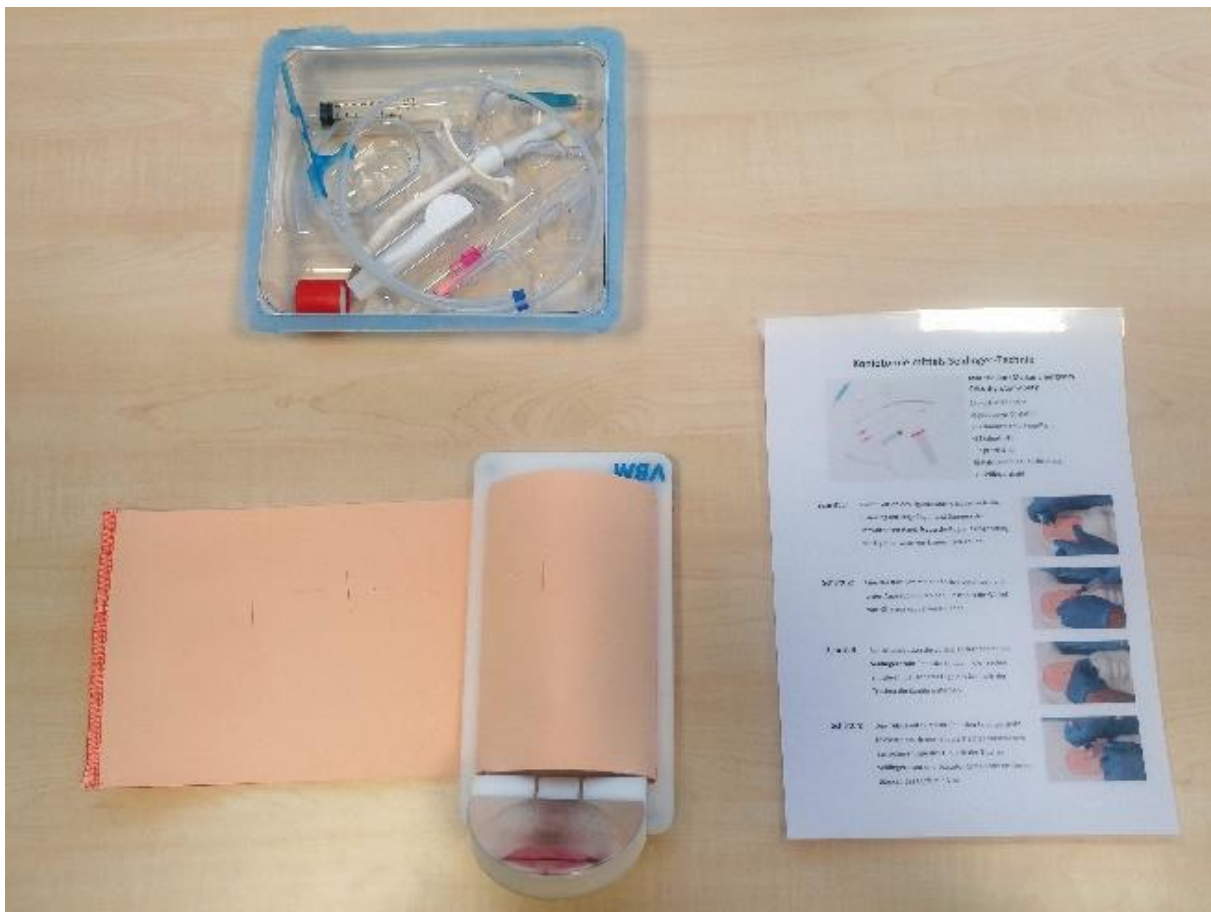


Abbildung 5: Melker Emergency Cricothyrotomy Catheter Set und Aufbau für Koniotomie mit Seldinger-Technik. Quelle: eigene Aufnahme

Die Seldinger-Technik wurde auf der laminierten Anleitung anhand der folgenden 4 Schritte erklärt:

- Schritt 1: Identifikation des Ligamentum cricothyroideum, Fixierung mit Zeigefinger und Daumen der nicht-dominanten Hand. Hautschnitt (ca. 2 cm) entlang des Ligamentums von kranial nach kaudal.
- Schritt 2: Eine der Kanülen mit der Spritze verbinden und unter Aspiration durch den Einschnitt im Winkel von 45° nach kaudal vorschieben.
- Schritt 3: Bei Luftaspiration die Spritze entfernen und den Seldingerdraht über die Kanüle in die Trachea einführen. Bei sicherer Lage des Drahts in der Trachea die Kanüle entfernen.
- Schritt 4: Den Tubus mit Dilatator über den Seldingerdraht (diesen stets sichern!) in die Trachea vorschieben. Bei sicherer Lage des Tubus in der Trachea Seldingerdraht und Dilatator gemeinsam entfernen. Blocken des Cuffs mit 6 ml.

Zusätzlich wurde jeder Schritt durch eine passende Abbildung ergänzt.

3.4.5 Aufbau für die Durchführung der Skalpell-Bougie-Technik

Bestandteil des Aufbaus zur Durchführung der Koniotomie in Skalpell-Bougie-Technik war neben dem Koniotomie-Übungstrainer und der laminierten Anleitung das „ScalpelCric Set“ der Firma VBM (VBM Medizintechnik GmbH, Sulz, Deutschland). Dieses Set enthält ein Skalpell (#10), einen Bougie (14 Fr, 40 cm), der als Führungsschiene für den Tubus dient, einen blockbaren Tubus (6.0 mm), einen Verbindungsschlauch mit Absaugöffnung, eine Spitze (10 ml) sowie ein Band zur Tubusfixierung (Siehe Abbildung 6).

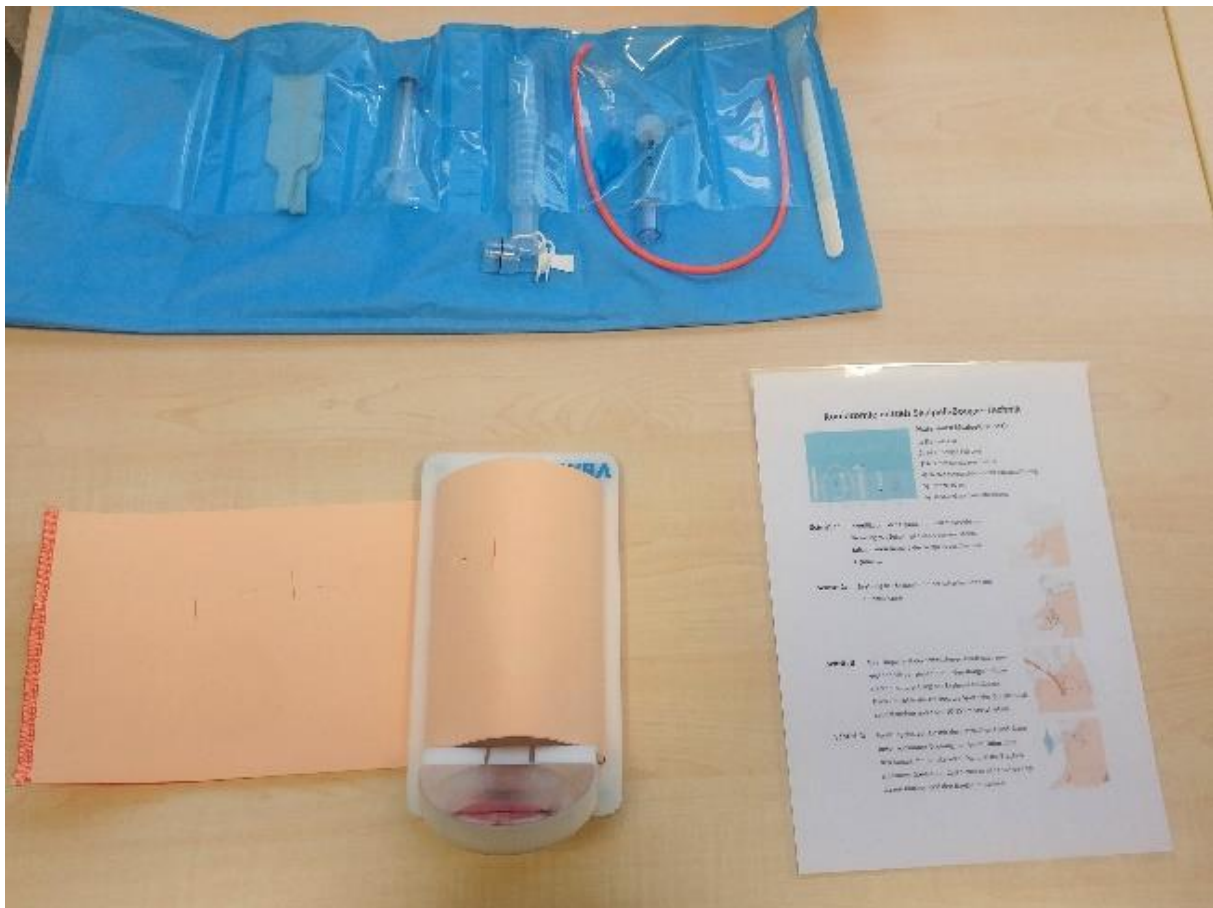


Abbildung 6: ScalpelCric Set und Aufbau für Koniotomie mit Skalpell-Bougie-Technik. Quelle: eigene Aufnahme

Die Skalpell-Bougie-Technik wurde auf der laminierten Anleitung anhand der folgenden 4 Schritte erklärt:

- Schritt 1: Identifikation des Ligamentum cricothyroideum, Fixierung mit Zeigefinger und Daumen lateral. Stichinzision mithilfe des Skalpells vertikal zum Ligament.
- Schritt 2: Drehung des Skalpells mit der scharfen Seite um 90° nach kaudal.
- Schritt 3: Das Skalpell mit der nicht-dominanten Hand quer zum eigenen Körper ziehen. Dann den Bougie mit der dominanten Hand entlang des Skalpells einführen. Nach Eintritt in die Trachea die Spitze des Bougie nach kaudal drehen und etwa 10-15 cm vorschieben.
- Schritt 4: Fixierung des Bougie mit der nicht-dominanten Hand. Dann unter konstanter Drehung den 6 mm Tubus über den Bougie mit der stärkeren Hand in die Trachea einführen. Sobald der Cuff sicher in der Trachea liegt, diesen blocken und den Bougie entfernen.

Zusätzlich wurde jeder Schritt durch eine passende Abbildung ergänzt.

3.4.6 CRF-Bögen

Für die Erfassung der Daten, die im Rahmen der Studie erhoben wurden, wurden mit Unterstützung des Instituts für Biometrie, Epidemiologie und Informatik (IMBEI) der Universitätsmedizin Mainz standardisierte Case Report Form (CRF)-Bögen (Erhebungsbögen) erstellt. Die verwendeten CRF-Bögen sind im Anhang abgebildet (siehe Anhang 8.5).

3.5 Studienaufbau / Studienablauf

Der Ablauf der Studie war standardisiert und somit für allen Proband:innen gleich. Durchgeführt wurde die Studie im Simulationszentrum der Klinik für Anästhesiologie der Universitätsmedizin Mainz (Abbildung 7), in Räumlichkeiten der Klinik für Anästhesiologie der Universitätsmedizin Mainz sowie in der Rettungswache des Malteser Hilfsdienst e.V. Mainz.



Abbildung 7: Studienaufbau in den Räumen des Simulationszentrums der Unimedizin Mainz.
Quelle: eigene Aufnahme

Zu Beginn erfolgte mit Hilfe der CRF-Bögen die Befragung bezüglich der aktuellen Berufszugehörigkeit, der Berufserfahrung, der bisherigen Erfahrungen mit der Koniotomie und der bisher präferierten Technik. Im Anschluss daran wurde eine theoretische Unterweisung in die drei zu untersuchenden Koniotomietechniken durchgeführt. Um eine möglichst standardisierte Vorbereitung zu gewährleisten, wurde ein 4,5 Minuten (1,5 Minuten je Technik) langer Film gezeigt, in dem die drei Techniken an einem Übungsmodell vorgeführt wurden. Hierbei wurde auf

kommerzielle Lehrfilme (Fa. VBM Medizintechnik GmbH, Sulz, Deutschland) zurückgegriffen. Zusätzlich stand für jede Technik eine Anleitung in Größe einer DIN-A4-Seite (siehe 3.4 Materialien) zur Verfügung, mit Hilfe derer die Proband:innen das Gesehene bei Bedarf noch einmal wiederholen konnten. Daraufhin wurde den Teilnehmenden der Aufbau des Übungsmodells erklärt. Nach abschließender Beantwortung offener Fragen und erfolgter Prüfung auf Verständnis konnte mit der ersten Technik begonnen werden, die Abfolge erfolgte in randomisierter Reihenfolge. Als Startpunkt der Zeitnahme wurde die Berührung des ersten Instruments des jeweiligen Sets der drei verschiedenen Techniken definiert. Während der Durchführung der Prozeduren erfolgte keine weitere Anleitung, ebenso wurden keine diesbezüglichen Fragen beantwortet. Die Zeit wurde gestoppt, sobald der Endotrachealtubus platziert wurde. Ein Beatmungsbeutel musste nicht angeschlossen werden. Zwischen den einzelnen Techniken wurde das verursachte Trauma in den unterschiedlichen Schichten mit Hilfe eines Lineals ausgemessen.

Nachdem alle drei Techniken durchgeführt worden sind, wurden die Proband:innen gefragt, welche der drei Techniken sie nach dem Training bevorzugt einsetzen würden. Außerdem sollte mithilfe einer Likert-Skala die Anwenderfreundlichkeit der jeweiligen Technik bewertet werden. Hierbei handelt es sich um eine Bewertungsskala, bei welcher eine Frage mit einer von mehreren vorgegebenen (in der Regel wertenden) Aussagen beantwortet werden soll [71, 72]. In diesem Fall standen die Antworten „sehr einfach“ (1), „einfach“ (2), „schwer“ (3) und „sehr schwer“ (4) zur Verfügung. Ein Flussdiagramm, das den allgemeinen Ablauf der Studie veranschaulicht, befindet sich im Anhang (Siehe 8.6).

3.5.1 CVCI-Szenario

Einige der teilnehmenden Ärzt:innen haben zusätzlich zum allgemeinen Ablauf der Studie an einem simulierten Szenario teilgenommen. Dieses wurde im Rahmen eines Airway-Workshops durchgeführt, welcher jährlich durch das Simulationszentrum der Klinik für Anästhesiologie der Universitätsmedizin Mainz angeboten und betreut wird. Vor dem Szenario wurde folgende Situation dargestellt: Ein 51-jähriger Patient ist nach einem Wespenstich in den weichen Gaumen in die innere Notaufnahme gekommen und weist jetzt eine zunehmend „kloßige Sprache“ auf. Die Teilnehmenden des Szenarios sollen den Patienten als Teil des Medical Emergency-Team (MET) zum Ausschluss einer subglottischen Stenose zur Computertomographie begleiten. Bei Betreten des Simulationsraumes wurde dann

mitgeteilt, dass der Patient soeben das Bewusstsein verloren habe. Durch Inhalation von 3 mg Adrenalin habe sich der Zustand nicht verbessert. Auf Nachfrage wird außerdem berichtet, dass der Patient bis eben noch einen massiven Stridor aufgewiesen habe und jetzt eine Schaukelatmung zu erkennen sei. Alle weiteren Maßnahmen müssen von den Teilnehmenden selbstständig durchgeführt werden. Dabei stehen ihnen alle Hilfsmittel einer Notaufnahme sowie (nur auf Anweisung) ein Instruktor als Hilfskraft zur Verfügung. Die Übungspuppe (Kelly, Laerdal Medical GmbH, Puchheim, Deutschland) ist so präpariert, dass sich das Szenario nur mittels einer Koniotomie lösen lässt.



Abbildung 8: Aufbau des CVCI-Szenarios in den Räumen des Simulationszentrums der Unimedizin Mainz. Quelle: eigene Aufnahme

Die Zeitmessung wurde mit Maßnahmenbeginn gestartet und endete mit der Indikationsstellung zur Koniotomie. Weiterhin wurde erfragt, für welche Koniotomietechnik sich die Teilnehmenden entscheiden.

Für die Studie erfolgte eine Aufteilung in zwei Gruppen:

Eine Gruppe (gesamt $n = 17$, davon 9 Assistenzärzt:innen sowie 8 Fachärzt:innen) führte das beschriebene CVCI-Szenario vor dem Koniotomie-Training am Übungsmodell durch. Die zweite Gruppe (gesamt $n = 23$, davon 15 Assistenzärzt:innen sowie 8 Fachärzt:innen) nahm erst am Koniotomie-Training teil und durchlief im Anschluss daran das CVCI-Szenario. Die Teilnehmenden, welche die Simulation bereits absolviert hatten, wurden zur Verschwiegenheit verpflichtet.

Ein Flussdiagramm, das den Ablauf dieses Teils der Studie veranschaulicht, befindet sich im Anhang (Siehe 8.7).

Die Vitalparameter des simulierten Patienten verhielten sich während des Szenarios nach einem Schema, das sich an einer Studie von Ott et al. (2019, [73]) orientiert. In dieser Studie wurden die Auswirkungen eines zusätzlichen Herz-Kreislaufstillstandes mit nötiger Reanimation im Rahmen einer CVCI-Situation untersucht. Zum Vergleich wurde auch ein Szenario einer CVCI-Situation ohne Herz-Kreislaufstillstand durchgeführt. Im Rahmen dieses Szenarios wurde für den Verlauf der Vitalwerte des Patienten das im Folgenden abgebildete Schema genutzt. Mit fortschreitender Zeit kommt es hier zu einem Sauerstoffsättigungsabfall, sowie zu einem Abfall der Herzfrequenz und des Blutdrucks. Diese Werte steigen kurze Zeit nach einer erfolgreichen Koniotomie wieder auf ein normales Niveau an.

Ablauf	SpO2 (%)	HF (min⁻¹)	RR (mmHg)	etCO2 (mmHg)
Start	70	50	110 / 60	-
1 Min	65	40	100 / 50	-
2 Min	60	30	80 / 40	-
3 Min	55	20	70 / 30	-
4 Min	55	20	70 / 30	-
5 Min	50	20	70 / 30	-
6 Min	0	0	0	-
1 Minute nach erfolgreicher Koniotomie				
	90	120	150 / 90	80

Tabelle 1: Vitalparameter der Übungspuppe während des CVCI-Szenarios, angelehnt an Ott et al. [73]

3.6 Statistische Methoden

Die im Rahmen der Studie gewonnenen Daten wurden während der Datenerhebung in Microsoft-Excel-Tabellen gesammelt und nach der Studie in SPSS Statistics 27 (Statistical Package for Social Sciences. Entwickler IBM, New York, USA) ausgewertet.

Bei den jeweiligen Auswertungen zu den unterschiedlichen Fragestellungen wurden verschiedene statistische Methoden und Darstellungsmöglichkeiten gewählt. Diese werden im Folgenden kurz beschrieben.

- Mittelwert und Median

Diese statistischen Werte werden im Rahmen der Auswertung häufig genutzt, um verschiedene Gruppen miteinander zu vergleichen. Der Mittelwert (oder auch das arithmetische Mittel) ist die Summe der erhobenen Ergebnisse, geteilt durch deren Anzahl. Bei dem Median handelt es sich um den in der Mitte gelegenen Wert, wenn alle Werte der Größe nach geordnet werden. Der Median ist weniger empfindlich gegenüber erhobenen Extremwerten [74].

- Kaplan-Meier-Kurven / Log-Rank-Test

Kaplan-Meier-Kurven, die für Überlebenszeitanalysen entwickelt wurden, sind gut geeignet, das Auftreten bestimmter Ereignisse innerhalb eines Zeitintervalls graphisch darzustellen [75, 76]. Sie wurden zur Darstellung der Ergebnisse zur Untersuchung des *Trainingseffekt auf die Dauer bis zur Koniotomie-Indikationsstellung* (4.2) und des *Trainingseffekt auf die Dauer der Koniotomie* (4.3) gewählt. Die Ereignisse wurden als „Koniotomieindikationsstellung“ (4.2) bzw. „Erfolgreiche Koniotomie“ (4.3) definiert. Um zu untersuchen, mit welcher Wahrscheinlichkeit die beobachtete Differenz der Ergebnisse auch durch Zufall aufgetreten sein könnte, wurde jeweils mit Hilfe des Log-Rank-Tests der p-Wert (probability, deutsch: Wahrscheinlichkeit) berechnet [77]. Unter einem üblichen Signifikanzniveau von 5 % wurde ein p-Wert < 0,05 als statistisch signifikant bewertet.

- Cox-Regressions-Modell

Ein Cox-Regressions-Modell ist geeignet, den gleichzeitigen Einfluss mehrerer verschiedener Variablen auf das Auftreten eines Ereignisses zu untersuchen [75, 78]. Es wurde für die Interpretation der Ergebnisse zur Untersuchung des *Trainingseffekt auf die Dauer bis zur Koniotomie-Indikationsstellung* (4.2) und des

Trainingseffekt auf die Dauer der Koniotomie (4.3) gewählt. In 4.2 wurde das Cox-Regressions-Modell genutzt, um die ungleiche Verteilung von Assistenz- und Fachärztinnen und -ärzten in den 2 Gruppen bei der Auswertung zu berücksichtigen. In 4.3 wurde es genutzt, um die ungleiche Verteilung der Berufsgruppen hinsichtlich bisheriger Trainingserfahrung zu berücksichtigen. Bei einer Berechnung mithilfe des Cox-Regressions-Modells erhält man für die eingeschlossenen Einflussvariablen jeweils einzelne angepasste p-Werte. Es kann also für jede der untersuchten Einflussvariablen eine gesonderte Aussage hinsichtlich der Signifikanz des Einflusses auf die Zielvariable getroffen werden. Somit ist eine differenziertere Interpretation der Ergebnisse möglich.

- Chi-Quadrat-Test nach Pearson

Der Chi-Quadrat-Test nach Pearson wird angewendet, um zu überprüfen, ob die beobachtete Häufigkeitsverteilung einer bestimmten Variablen von der erwarteten Häufigkeitsverteilung abweicht [79]. Der Chi-Quadrat-Test wurde zur Auswertung der Ergebnisse zur Untersuchung des *Trainingseffekt auf den Wechsel der bevorzugten Koniotomietechnik* (4.4) genutzt, um zu prüfen, ob sich das Wechselverhalten der präferierten Technik in den unterschiedlichen Berufsgruppen unterscheidet. Zusätzlich wurden die „Wechselströme“ graphisch dargestellt.

4 Ergebnisse

4.1 Inzidenz der Koniotomie

Die Proband:innen wurden im Rahmen unserer Studie befragt, ob sie bereits eine Koniotomie in einer realen CVCI-Situation durchgeführt haben und wenn ja, wie häufig dies bereits notwendig war. Weiterhin wurde die jeweilig angewendete Technik erfragt und ob die Koniotomie erfolgreich war. Die jeweiligen Anteile der unterschiedlichen Berufsgruppen, die bereits eine solche Erfahrung gesammelt haben, sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Berufsgruppe	Fachärzt:innen	Assistenzärzt:innen	Rettungsdienst-Mitarbeitende	Studierende
Erfahrung mit der Koniotomie	n = 14	n = 6	n = 3	n = 0
Anteil	28 %	12 %	6 %	0 %

Tabelle 2: Koniotomie-Erfahrung in realen Situationen, nach Berufsgruppen

Es wird deutlich, dass die Koniotomie ein äußerst seltener Eingriff ist. 20 % der teilnehmenden Ärzt:innen haben bereits eine Koniotomie in einer realen CVCI-Situation durchgeführt. Insgesamt wurden 44 Koniotomien angegeben. Der Median an durchgeführten Koniotomien lag bei den Ärzt:innen, die eine solche Erfahrung angaben, bei 1 (Mittelwert 1,9). Alle angegebenen Koniotomien wurden als erfolgreich beschrieben. Es wurde in 26 Fällen die chirurgische Technik, in 16 Fällen die Seldinger-Technik und in 2 Fällen die Skalpell-Bougie-Technik genutzt. 11 Teilnehmende haben angegebenen, schon mehr als eine Koniotomie durchgeführt zu haben. Die höchste Angabe lag bei 7 durchgeführten Koniotomien. Einmal wurde angegeben, dass bereits verschiedene Techniken in realen Situationen durchgeführt wurden. In allen anderen Fällen wurde stets die gleiche Technik gewählt. Die 100 Ärzt:innen, die an unserer Studie teilgenommen haben, haben zusammen 797 Berufsjahre in der Anästhesiologie gesammelt (siehe 3.3 Studienpopulation). 39 Koniotomien wurden von Ärzt:innen angegeben. Dies bedeutet, dass die Indikation zur Koniotomie in 20 anästhesiologischen Berufsjahren einmal gestellt wird. Von den 20 Ärzt:innen, die Erfahrungen in realen Situationen angegeben haben, führen 19 (95 %) die Zusatzbezeichnung Notfallmedizin und 10 (50 %) sind regelmäßig in der Notfallrettung tätig. Zum Setting, in dem es zur CVCI-Situation kam, wurden die Proband:innen jedoch nicht näher befragt.

4.2 Trainingseffekt auf die Dauer bis zur Koniotomie-Indikationsstellung

An dem CVCI-Szenario im Rahmen des Airway-Workshops hat folgende Studienpopulation teilgenommen:

	Gesamt	Fachärzt:innen	Assistenzärzt:innen
Training am Übungsmodell vor dem CVCI-Szenario	n = 23	n = 8 (35 %)	n = 15 (65 %)
Training am Übungsmodell nach dem CVCI-Szenario	n = 17	n = 8 (47 %)	n = 9 (53 %)

Tabelle 3: Studienpopulation des CVCI-Szenarios

Teilnehmende, die vor dem Szenario ein Training am Übungsmodell durchgeführt haben, scheinen im Vergleich zu Teilnehmenden, welche ohne Training in das Szenario gegangen sind, bei Betrachtung der dazugehörigen Kaplan-Meier-Kurven (Abbildung 9) eine kürzere Zeitdauer bis zur Indikationsstellung der Koniotomie aufzuweisen (**Mittelwert 180 Sek. vs. 233 Sek.**). Dieser Unterschied ist jedoch bei Vergleich der Kurven mit Hilfe des Log-Rank-Tests unter dem üblichen Signifikanzniveau von 5 % nicht signifikant (Log-Rank-Test, **p = 0,05**).

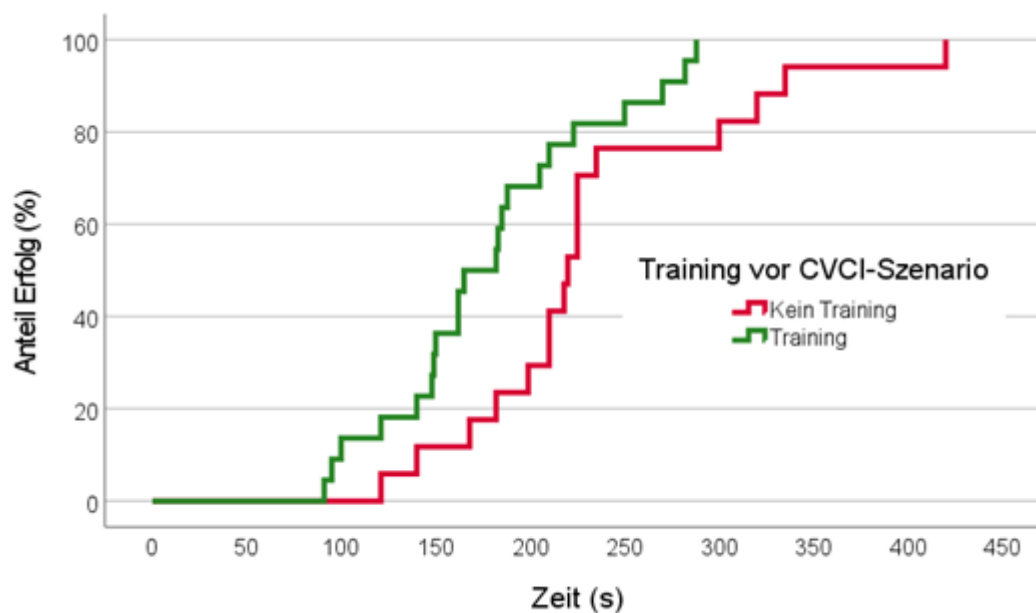


Abbildung 9: Kaplan-Meier-Schätzung bezüglich der Dauer bis zur Koniotomie-Indikationsstellung im Vergleich „Training vor CVCI-Szenario“ (grün) vs. „kein Training vor CVCI-Szenario“ (rot). Event = Zeitpunkt, zu dem die Koniotomieindikation gestellt wird, in Sekunden. ($p = 0,05$). Quelle: Erstellt mit SPSS Statistics 27 (IBM, New York, USA)

Die Berufsgruppe wurde in der Auswertung als positiver Prädiktor für die Zeitdauer bis zur Koniotomie-Indikationsstellung erkannt. Fachärzt:innen zeigen im Vergleich zu Assistenzärzt:innen eine kürzere Dauer bis zur Indikationsstellung (**Mittelwert 174 Sek. vs. 223 Sek.**). Dies ist in den nachfolgend dargestellten Kaplan-Meier-Kurven

(Abbildung 10) erkennbar. Hier zeigt sich ein statistisch signifikanter Unterschied (Log-Rank-Test, $p = 0,004$).

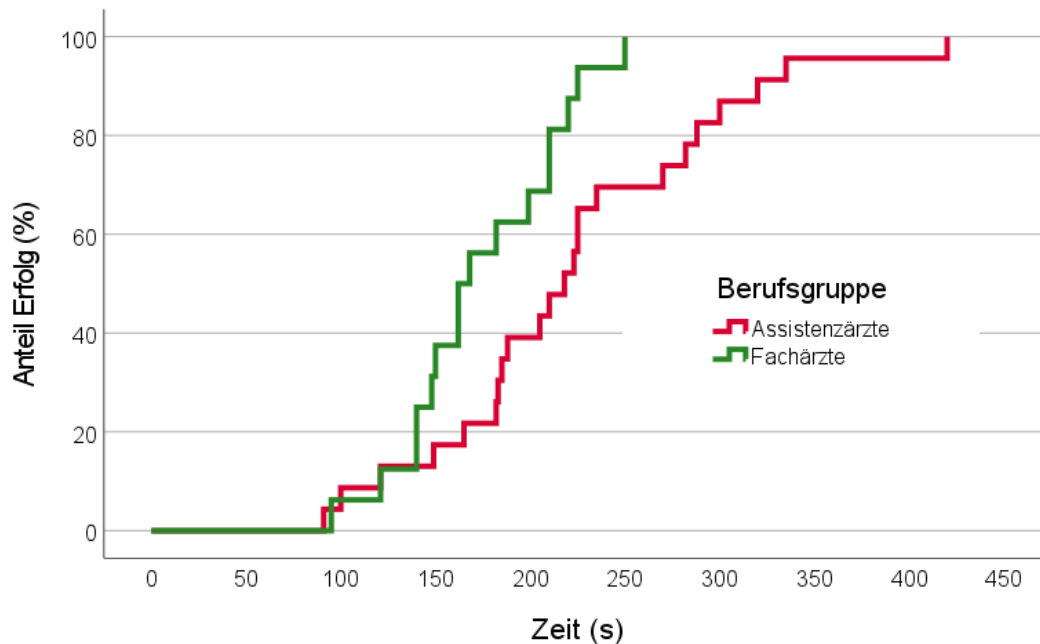


Abbildung 10: Kaplan-Meier-Schätzung bezüglich der Dauer bis zur Koniotomie-Indikationsstellung im Vergleich Fachärzt:innen (grün) vs. Assistenzärzt:innen (rot). Event = Zeitpunkt, zu dem die Koniotomieindikation gestellt wird, in Sekunden. ($p = 0,004$). Quelle: Erstellt mit SPSS Statistics 27 (IBM, New York, USA)

Um zu prüfen, ob der erhöhte Anteil an Fachärzt:innen in der Gruppe, welche erst das Simulationsszenario durchlaufen hat (Tabelle 3), einen Einfluss auf die Ergebnisse hatte, wurde ein „Cox-Regressions-Modell“ durchgeführt, in das die Einflussvariablen „Fachärzt:innen“ und „Training vor Szenario“ und die Zielvariable „Zeit bis zur Koniotomie-Indikationsstellung“ eingingen.

	Hazard Ratio	Signifikanz (p)
Fachärzt:innen	4,276	0,011
Training vor Szenario	2,774	0,040

Tabelle 4: Ergebnisse des Cox-Regressions-Modells mit den Variablen "Fachärzt:innen" und "Training vor Szenario" zur Zielvariable "Zeit bis zur Koniotomie-Indikationsstellung"

Hierbei zeigt sich (Tabelle 4), dass in diesem Modell sowohl die Berufsgruppe als auch das Training signifikante Prädiktoren auf die Zeit bis zur Koniotomie-Indikationsstellung sind. Die Variable „Fachärzt:innen“ weist hierbei einen größeren Einfluss auf die Zeit (Hazard Ratio 4,276 vs. 2,774) als die Variable „Training vor Szenario“ auf.

4.3 Trainingseffekt auf die Dauer der Koniotomie

Vor der Studie hat folgende Anzahl an Teilnehmenden der verschiedenen Berufsgruppen bereits an einem Training der unterschiedlichen Techniken teilgenommen.

	Gesamt	Fachärzt:innen	Assistenzärzt:innen	MA Rettungsdienst	Studierende
Chirurgische Technik	n = 96	n = 42	n = 34	n = 16	n = 4
Seldinger Technik	n = 77	n = 38	n = 30	n = 4	n = 5
Skalpelli-Bougie-Technik	n = 15	n = 10	n = 3	n = 2	n = 0

Tabelle 5: Übersicht der Studienteilnehmenden, die schon vor der Studie an einem Training teilgenommen haben

Es konnte bei allen drei Techniken ein positiver Effekt eines zurückliegenden Trainings auf die Zeit bis zur Koniotomie in unserer Studie festgestellt werden.

4.3.1 Seldinger-Technik

Besonders deutlich war dieser Effekt bei der Seldinger Technik zu erkennen (**Mittelwert 89 Sek. vs. 58 Sek.**; Log-Rank-Test: $p = 0,000000000000003$), dargestellt in den nachfolgenden Kaplan-Meier-Kurven.

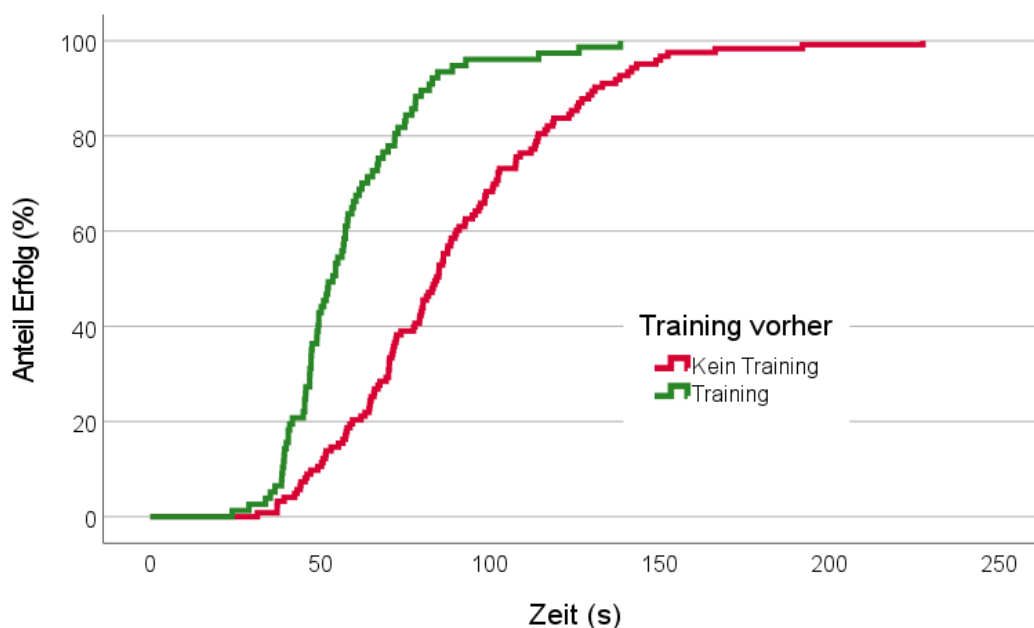


Abbildung 11: Kaplan-Meier-Kurven bezüglich der Dauer bis zur erfolgreichen Koniotomie mit Hilfe der Seldinger Technik im Vergleich „Training vor der Studie“ (grün) vs. „kein Training vor der Studie“ (rot). Event = Zeitpunkt, zu dem der Tubus erfolgreich in der Trachea platziert wurde. ($p = 0,000000000000003$). Quelle: Erstellt mit SPSS Statistics 27 (IBM, New York, USA)

Zusätzlich zur Frage, ob die Studienteilnehmenden in der Vergangenheit bereits an einem Training zu den jeweiligen Techniken teilgenommen haben, wurde außerdem erfragt, wie lange dieses Training zurückliegt. Dabei haben sich für die Seldinger-Technik folgende Anteile ergeben.

Dauer seit dem letzten Training	0-3 Monate	3-6 Monate	6-12 Monate	>12 Monate	Noch kein Training
Absolut	n = 4	n = 8	n = 12	n = 53	n = 123
Anteil	2 %	4 %	6 %	26,5 %	61,5 %

Tabelle 6: Anteile der Studienteilnehmenden, aufgeteilt nach Dauer seit letztem Training der Seldinger Technik

Im Folgenden sind die unterschiedlichen Kaplan-Maier-Kurven je nach Zeitpunkt des zurückliegenden Trainings dargestellt.

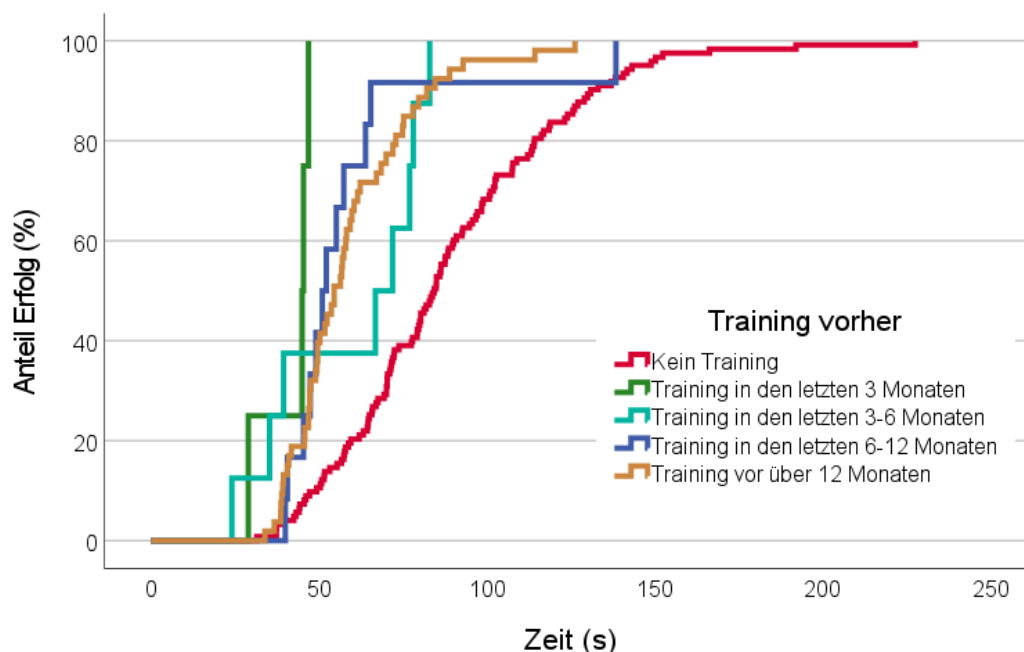


Abbildung 12: Kaplan-Meier-Kurven bezüglich der Dauer bis zur erfolgreichen Koniotomie mit Hilfe der Seldinger Technik unter Berücksichtigung der Zeitpunkte des Trainings.

Event = Zeitpunkt, zu dem der Tubus erfolgreich in der Trachea platziert wurde. . Quelle: Erstellt mit SPSS Statistics 27 (IBM, New York, USA)

Es erfolgte weiterhin eine statistische Auswertung mit Hilfe des Log-Rank-Tests hinsichtlich signifikanter Unterschiede zwischen den Gruppen mit unterschiedlicher Dauer seit dem letzten Training der Seldinger-Technik (Tabelle 7). Hier zeigte sich, dass alle 4 Gruppen mit Training der Gruppe ohne Training unter dem üblichen Signifikanzniveau von 5 % signifikant überlegen waren. Bei den Proband:innen, bei denen das Training erst bis zu 3 Monate zurücklag, zeigte sich außerdem eine signifikante Überlegenheit gegenüber denen, deren Training 6 - 12 Monate (Log-Rank-Test, $p = 0,009$) oder über 12 Monate (Log-Rank-Test, $p = 0,0005$) zurücklag

(siehe Tabelle 7). Ansonsten zeigten sich zwischen den Gruppen keine signifikanten Unterschiede.

Training vor Koniotomie	Kein Training	Training in den letzten			Training vor über 12 Monaten
		3 Monaten	3 - 6 Monaten	6 - 12 Monaten	
	Signifikanz (p)	Signifikanz (p)	Signifikanz (p)	Signifikanz (p)	Signifikanz (p)
Kein Training		< 0,00001*	0,001	0,0004	< 0,00001**
< 3 Monate	< 0,00001*		0,128	0,009	0,0005
3 - 6 Monate	0,001	0,128		0,435	0,735
6 - 12 Monate	0,0004	0,009	0,435		0,899
über 12 Monate	< 0,00001**	0,0005	0,735	0,899	

Tabelle 7: Ergebnisse des Log-Rank-Tests bezüglich der Unterschiede in der Dauer bis zur erfolgreichen Koniotomie mit der Seldinger-Technik zwischen den Gruppen mit unterschiedlicher Dauer seit dem letzten Training. *p = 0,000000000005; **p = 0,000000000004

4.3.2 Chirurgische Technik

Die Auswertung zeigt auch bei der chirurgischen Technik einen signifikanten Effekt (**Mittelwert 42 Sek. vs. 30 Sek.**; Log-Rank-Test: p = 0.0000005) eines zurückliegenden Trainings auf die Dauer bis zur erfolgreichen Koniotomie in unserer Studie. Auch hier ist dies gut an den im Folgenden dargestellten Kaplan-Meier-Kurven zu erkennen.

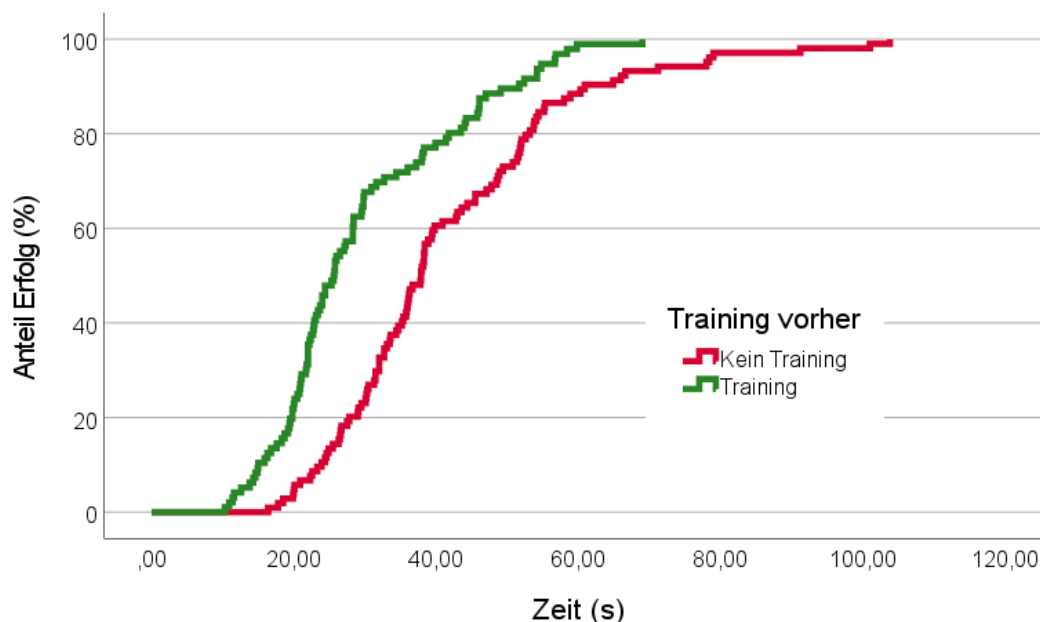


Abbildung 13: Kaplan-Meier-Kurven bezüglich der Dauer bis zur erfolgreichen Koniotomie mit Hilfe der Chirurgischen Technik im Vergleich „Training vor der Studie“ (grün) vs. „kein Training vor der Studie“ (rot). Event = Zeitpunkt, zu dem der Tubus erfolgreich in der Trachea platziert wurde. (p = 0.0000005) . Quelle: Erstellt mit SPSS Statistics 27 (IBM, New York, USA)

Im Folgenden ist anteilig dargestellt, wie lange das letzte Training der chirurgischen Koniotomietechnik bei den Studienteilnehmenden zurücklag (Tabelle 8).

Dauer seit dem letzten Training	0 - 3 Monate	3 - 6 Monate	6 - 12 Monate	> 12 Monate	Noch kein Training
Absolut	n = 9	n = 7	n = 18	n = 62	n = 104
Anteil	4,5 %	3,5 %	9 %	31 %	52 %

Tabelle 8: Anteile der Studienteilnehmenden, aufgeteilt nach Dauer seit letztem Training der chirurgischen Technik

Im Folgenden sind die verschiedenen Kaplan-Maier-Kurven je nach Zeitpunkt des zurückliegenden Trainings dargestellt.

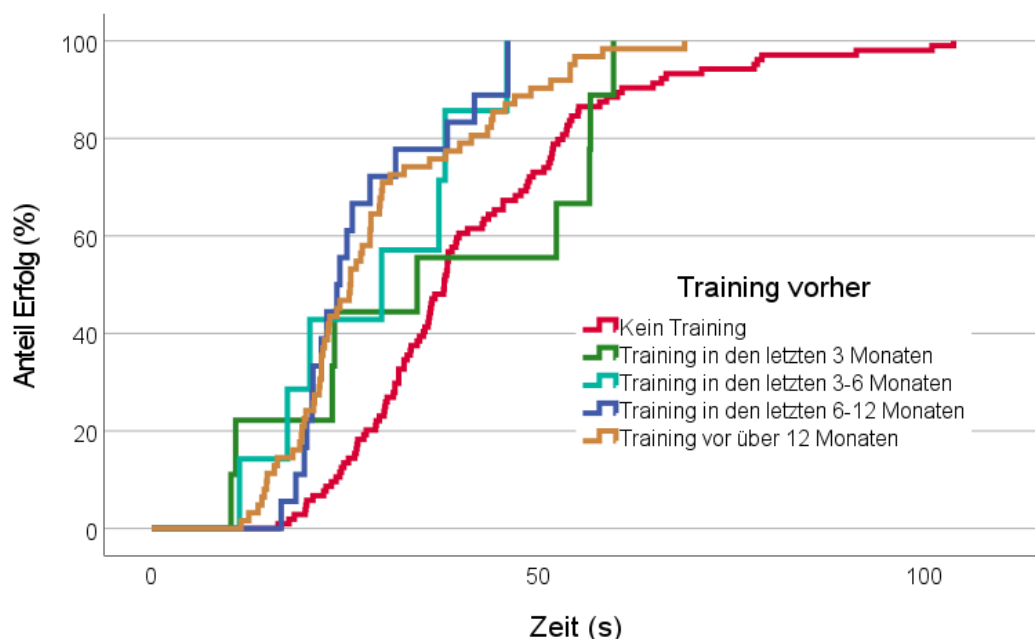


Abbildung 14: Kaplan-Meier-Kurven bezüglich der Dauer bis zur erfolgreichen Koniotomie mit Hilfe der chirurgischen Technik unter Berücksichtigung der Zeitpunkte des Trainings. Event = Zeitpunkt, zu dem der Tubus erfolgreich in der Trachea platziert wurde. Quelle: Erstellt mit SPSS Statistics 27 (IBM, New York, USA)

Es erfolgte eine statistische Auswertung mit Hilfe des Log-Rank-Tests hinsichtlich signifikanter Unterschiede zwischen den Gruppen mit unterschiedlicher Dauer seit dem letzten Training der chirurgischen Koniotomietechnik (Tabelle 9). Bei den Studienteilnehmenden deren Training erst bis zu 3 Monate zurücklag, konnte hier keine signifikante Überlegenheit im Vergleich zu Proband:innen ohne Training festgestellt werden (Log-Rank-Test, $p = 0,8$). Alle anderen Gruppen mit Training (3 - 6 Monate, 6 - 12 Monate, über 12 Monate zurückliegend) waren der Gruppe ohne Training statistisch signifikant überlegen. Die einzelnen Ergebnisse des Log-Rank-Tests sind in Tabelle 9 dargestellt.

Training vor Koniotomie	Kein Training	Training in den letzten			Training vor über 12 Monaten
		3 Monaten	3 - 6 Monaten	6 - 12 Monaten	
	Signifikanz (p)	Signifikanz (p)	Signifikanz (p)	Signifikanz (p)	Signifikanz (p)
Kein Training		0,8	0,02	0,000006	0,000002
< 3 Monate	0,8		0,195	0,05	0,1126
3 - 6 Monate	0,02	0,195		0,926	0,836
6 - 12 Monate	0,000006	0,05	0,926		0,396
über 12 Monate	0,000002	0,113	0,836	0,396	

Tabelle 9: Ergebnisse des Log-Rank-Tests bezüglich der Unterschiede in der Dauer bis zur erfolgreichen Koniotomie mit der chirurgischen Koniotomietechnik zwischen den Gruppen mit unterschiedlicher Dauer seit dem letzten Training.

4.3.3 Skalpelli-Bougie-Technik

Auch bei der Skalpelli-Bougie-Technik zeigte sich ein positiver Effekt des Trainings auf die Dauer bis zur erfolgreichen Koniotomie. Dieser ist statistisch signifikant (**Mittelwert 44 Sek. vs. 35 Sek.**; Log-Rank-Test: $p = 0,03$) und wird mit Hilfe der Kaplan-Meier-Kurven im Folgenden dargestellt.

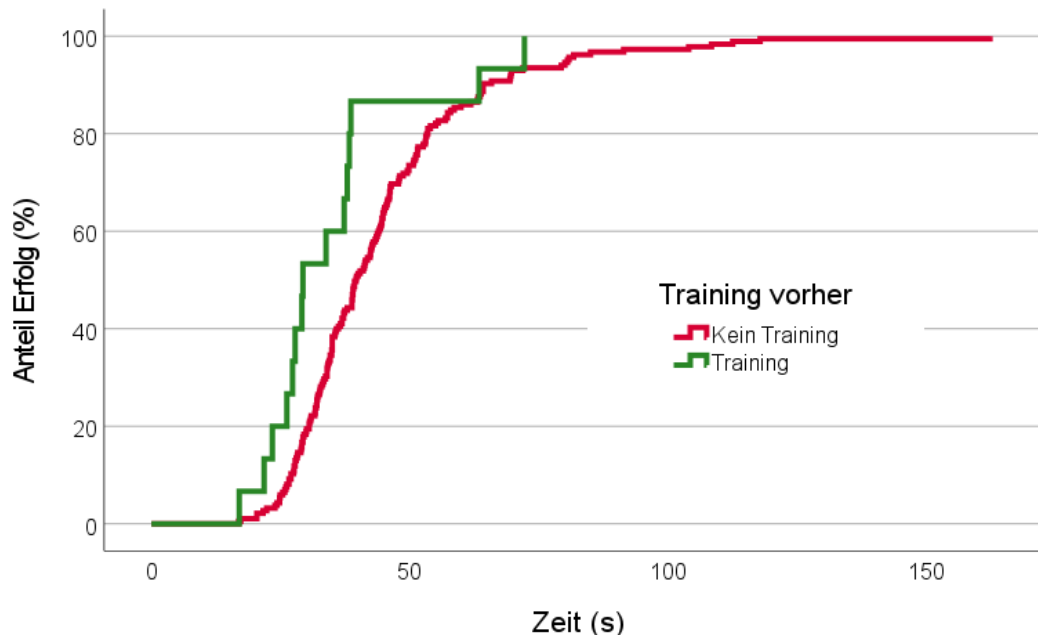


Abbildung 15: Kaplan-Meier-Kurven bezüglich der Dauer bis zur erfolgreichen Koniotomie mit Hilfe der Skalpelli-Bougie-Technik im Vergleich „Training vor der Studie“ (grün) vs. „kein Training vor der Studie“ (rot). Event = Zeitpunkt, zu dem der Tubus erfolgreich in der Trachea platziert wurde. ($p = 0,03$). Quelle: Erstellt mit SPSS Statistics 27 (IBM, New York, USA)

Nachfolgend ist dargestellt, wie lange das letzte Training der Skalpell-Bougie-Technik bei den Studienteilnehmenden zurückliegt (Tabelle 10).

Dauer seit dem letzten Training	0-3 Monate	3-6 Monate	6-12 Monate	>12 Monate	Noch kein Training
Absolut	n = 0	n = 1	n = 2	n = 12	n = 185
Anteil	0 %	0,5 %	1 %	6 %	92,5 %

Tabelle 10: Anteile der Studienteilnehmenden, aufgeteilt nach Dauer seit letztem Training der Skalpell-Bougie-Technik

Aufgrund der geringen Fallzahlen in den unterschiedlichen Gruppen mit zurückliegendem Training wurde hier auf eine weitere statistische Auswertung verzichtet.

4.3.4 Einflussfaktor Berufsgruppe

Es ist davon auszugehen, dass die Zugehörigkeit zu einer Berufsgruppe einen prägnanten Einfluss auf die oben gezeigten Ergebnisse haben kann, da die meisten Studienteilnehmenden, die vor der Studie bereits an einem praktischen Training der Koniotomie teilgenommen haben, zu den Berufsgruppen „Fachärzte“ und „Assistenzärzte“ gehören. Die im Folgenden dargestellten Kaplan-Maier-Kurven zeigen die addierten Zeiten aller drei Koniotomietechniken im Vergleich der vier unterschiedlichen Berufsgruppen.

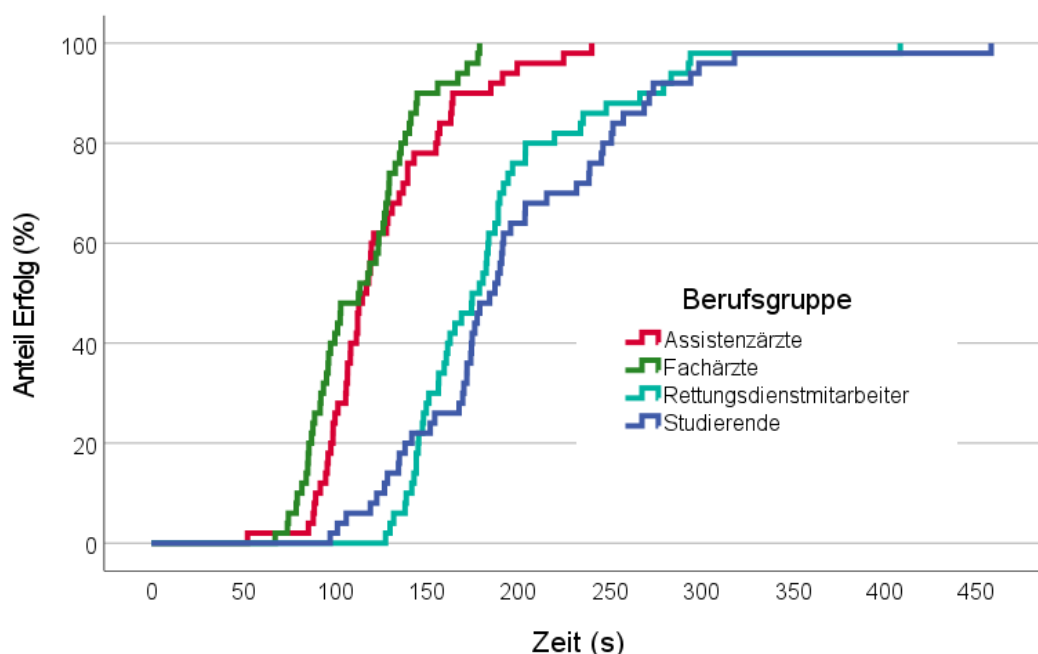


Abbildung 16: Kaplan-Meier-Kurven bezüglich der Summe der Dauer aller drei Techniken im Vergleich der verschiedenen Berufsgruppen. Quelle: Erstellt mit SPSS Statistics 27 (IBM, New York, USA)

Die Berufsgruppen „Fachärzt:innen“ und „Assistenzärzt:innen“ sind hier den beiden Berufsgruppen „Rettungsdienstmitarbeitende“ und „Studierende“ deutlich überlegen. Welchen Einfluss das Training vor der Studie auf die Zeit bis zur Koniotomie unter Berücksichtigung der Berufsgruppen hat, wurde mit Hilfe eines „Cox-Regressions-Modells“ überprüft, in das die Variablen „Training vor der Studie“, „Fachärzt:innen“, sowie „Rettungsmitarbeitende und Studierende“ und die Zielvariable „Zeit bis zur erfolgreichen Koniotomie“ (in allen 3 Techniken) eingingen. Die Ergebnisse werden in folgender Tabelle dargestellt.

	Hazard Ratio	Signifikanz
Training vor der Studie	1,349	0,01980
Fachärzt:innen	1,273	0,18198
MA Rettungsdienst + Studierende	0,387	0.0000000047

Tabelle 11: Ergebnisse des Cox-Regressions-Modells mit den Variablen " Fachärzt:innen ", "Training vor der Studie" und "MA Rettungsdienst + Studenten" zur Zielvariable "Zeit bis zur erfolgreichen Koniotomie"

Hier wird ersichtlich, dass in diesem Modell sowohl die Berufsgruppen „Rettungsmitarbeitende und Studierende“ als auch das „Training vor der Studie“ signifikante Prädiktoren für die Zeit bis zur erfolgreichen Koniotomie sind. Die Variable „Training vor der Studie“ weist hierbei einen positiven Einfluss auf die Zeit (Verkürzung) auf. Die Variable „Rettungsdienstmitarbeitende und Studierende“ zeigt einen deutlich negativen Einfluss auf die benötigte Zeit (Verlängerung).

4.4 Trainingseffekt auf den Wechsel der bevorzugten Koniotomietechnik

Ein Teil der Studienteilnehmenden kannte vor der Studie noch keine Koniotomietechnik (n = 41). Hierbei handelt es sich hauptsächlich um Studierende und Rettungsdienstmitarbeitende mit wenig Berufserfahrung, die im Rahmen der Studie erstmals Erfahrungen mit der Durchführung einer Koniotomie gesammelt haben. Ein anderer Teil hat sich vor der Studie für eine Technik entschieden, die bei der Studie nicht zur Auswahl stand (n = 25). Hierbei handelt es sich größtenteils um Rettungsdienstmitarbeitende, welche sich häufig für eine Punktionskoniotomie (Bsp. „Quicktrach“, Fa. VBM Medizintechnik GmbH, Sulz, Deutschland) entschieden. Die restlichen Teilnehmenden (n = 134) haben vor der Studie entweder die chirurgische Technik (n = 103, 77 %), die Seldinger-Technik (n = 24, 18 %) oder die Skalpell-Bougie-Technik (n = 7, 5 %) als ihre bevorzugte Technik angegeben (Siehe 8.6). Bei der Auswertung war auffällig, dass von diesen 134 Proband:innen mehr als die Hälfte (n = 70, 52 %) nach der Studie eine andere bevorzugte Technik wählte. Besonders die neue Skalpell-Bougie-Technik konnte viele von einem Wechsel überzeugen (n = 56/134, 42 %; gesamt n = 94/200, 47 %). Die Wechselströme der verschiedenen präferierten Techniken werden im Folgenden (Abbildung 17) graphisch dargestellt.

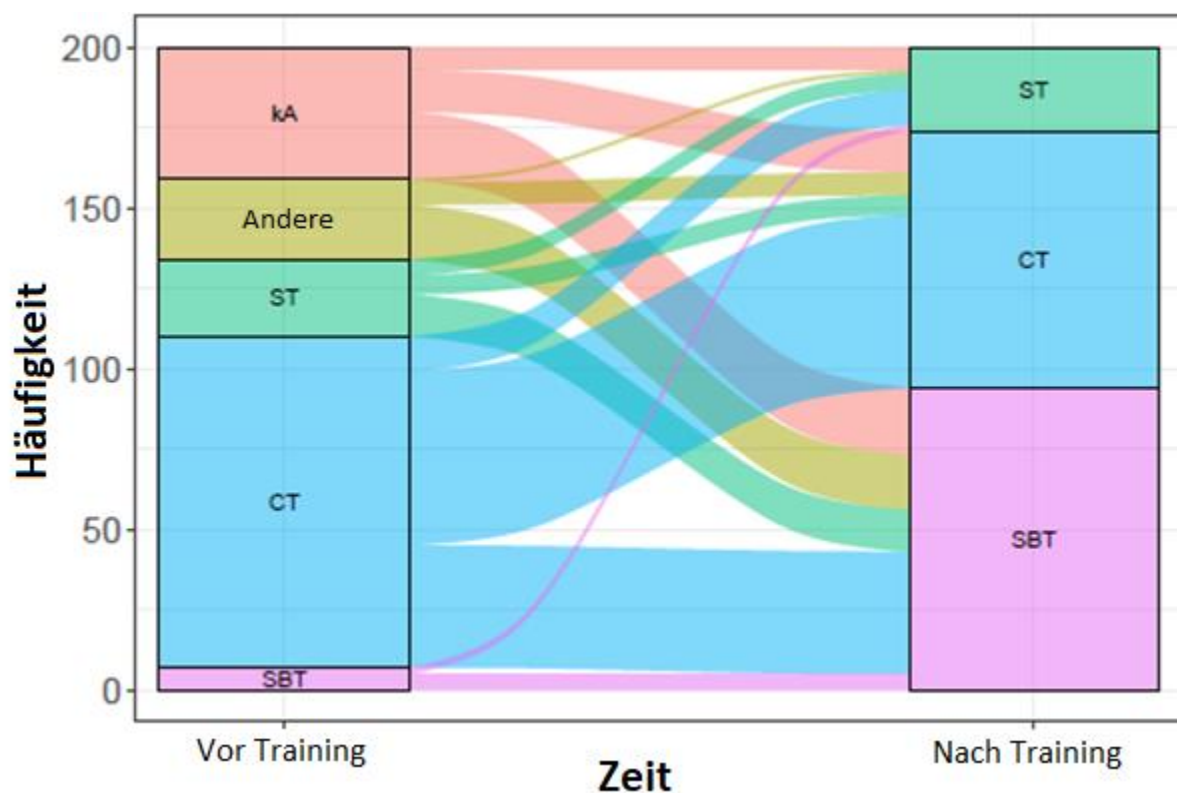


Abbildung 17: Wechselströme der angegebenen bevorzugten Techniken der 200 Studienteilnehmenden im Vergleich vor (links) vs. nach (rechts) dem Training. kA = kannte vor der Studie keine Technik (rot), Andere = andere Technik (gelb), ST = Seldinger-Technik (grün), CT = Chirurgische Technik (blau), SBT = Skalpell-Bougie-Technik (lila). Quelle: Erstellt mit SPSS Statistics 27 (IBM, New York, USA)

Besonders der große Zuwachs der Angabe der Skalpell-Bougie-Technik als präferierte Technik ist deutlich erkennbar.

Das Wechselverhalten und die Angaben der jeweils präferierten Techniken unterscheiden sich bei den 4 verschiedenen Berufsgruppen teils deutlich. Die folgende Abbildung zeigt die Wechselströme der 50 Fachärzt:innen, als Vertreter der Proband:innen mit der größten Erfahrung.

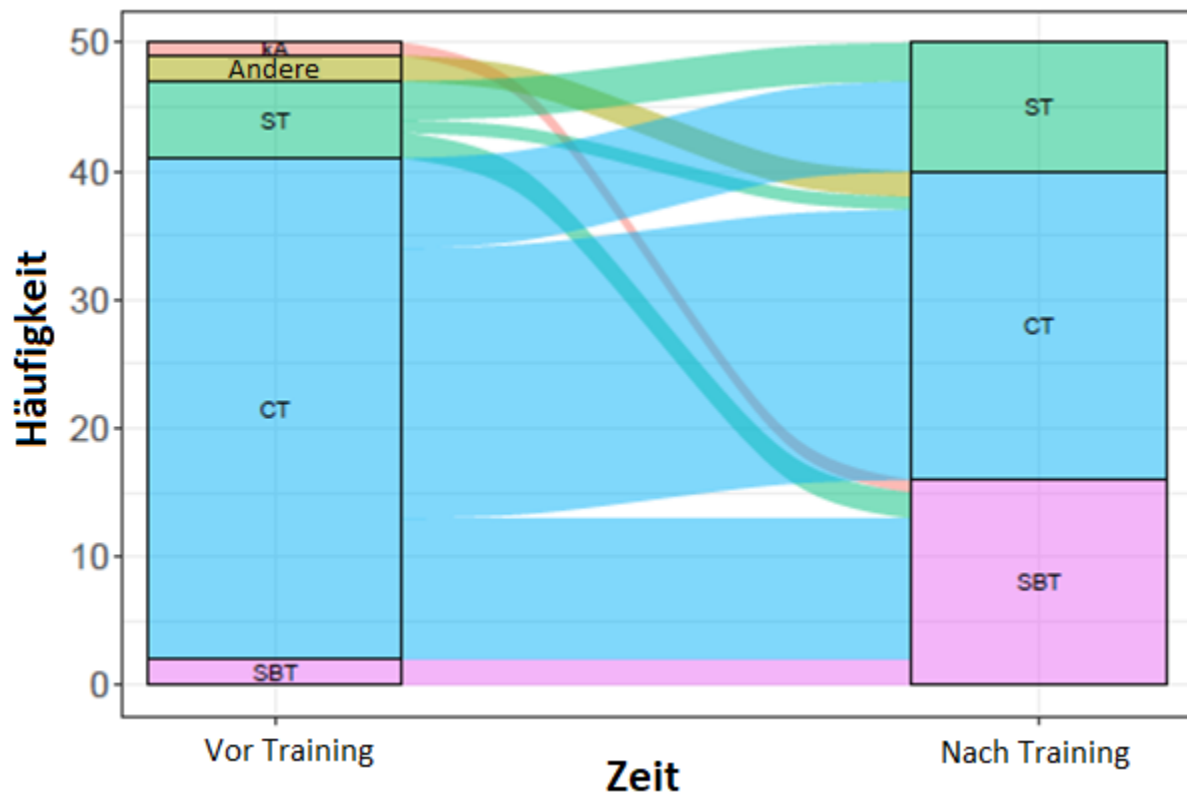


Abbildung 18: Wechselströme der angegebenen bevorzugten Techniken der 50 Fachärzt:innen im Vergleich vor (links) vs. nach (rechts) dem Training. KA = kannte vor der Studie keine Technik (rot), other = andere Technik (gelb), ST = Seldinger-Technik (grün), CT = Chirurgische Technik (blau), SBT = Skalpell-Bougie-Technik (lila). Quelle: Erstellt mit SPSS Statistics 27 (IBM, New York, USA)

Auffallend ist, dass von den Fachärzt:innen vor dem Training die chirurgische Technik (CT, blau) besonders häufig als präferierte Technik angegeben wurde. Der Anteil der Angabe der chirurgischen Technik als bevorzugte Technik hat sich nach dem Training deutlich verkleinert. Insbesondere die Skalpell-Bougie-Technik (SBT, violett), aber auch die Seldinger-Technik (ST, grün) wurden häufiger gewählt als vor dem Training. Dennoch wird die klassisch chirurgische Technik auch nach dem Training noch am häufigsten als präferierte Technik angegeben. Beide Fachärzt:innen, die vor dem Training die Skalpell-Bougie-Technik präferierten, haben diese Technik auch nach dem Training angegeben.

Bei den Medizinstudierenden und den Rettungsdienstmitarbeitenden, als Vertreter der unerfahreneren Proband:innen, zeigt sich vor dem Training ein deutlich anderes Verteilungsmuster (Abbildung 19). Erwartungsgemäß ist der Anteil derjenigen, die vor der Studie noch keine Koniotomietechnik kannten, bei diesen beiden Berufsgruppen höher als bei den Fachärzt:innen. Außerdem zeigt sich eine häufige Angabe „anderer“ (gelb) Koniotomietechniken. Hierbei handelt es sich meist um die Punktionskoniotomie (z.B. Quicktrach), die im Bereich der Präklinik verbreitet und daher vielen Rettungsdienstmitarbeitenden bekannt ist.

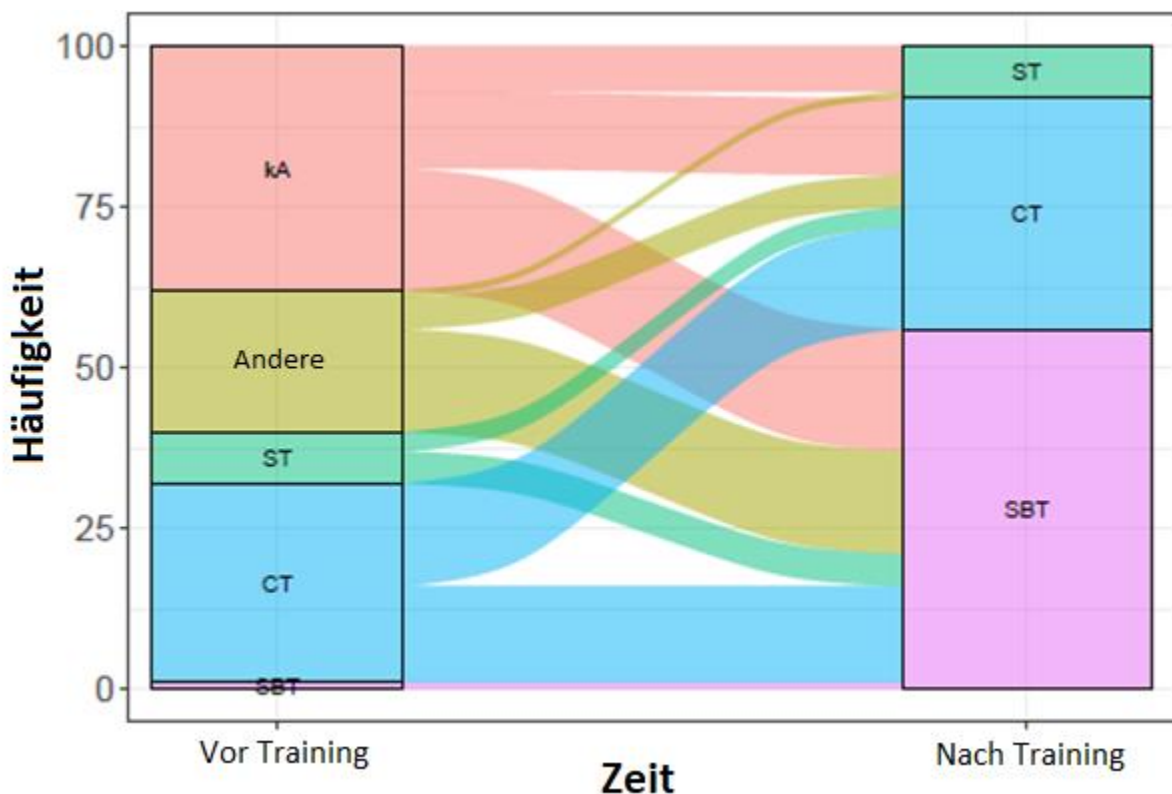


Abbildung 19: Wechselströme der angegebenen bevorzugten Techniken der 100 Studierenden und Rettungsdienstmitarbeitenden im Vergleich vor (links) vs. nach (rechts) dem Training. kA = kannte vor der Studie keine Technik (rot), other = andere Technik (gelb), ST = Seldinger-Technik (grün), CT = Chirurgische Technik (blau), SBT = Skalpell-Bougie-Technik (lila). Quelle: Erstellt mit SPSS Statistics 27 (IBM, New York, USA)

Nach dem Training wird von den Studierenden der Humanmedizin und den Rettungsdienstmitarbeitenden am häufigsten die Skalpell-Bougie-Technik als präferierte Technik angegeben. Die Seldinger-Technik wird deutlich seltener angegeben als bei den Fachärzt:innen.

Weiterhin scheint es, dass innerhalb der Gruppe der Studierenden und Rettungsdienstmitarbeitenden häufiger Wechsel der präferierten Technik (vor vs. nach der Studie) stattgefunden haben.

Die Anteile derer, die in den verschiedenen Berufsgruppen ihre Technik gewechselt haben, sind in der folgenden Tabelle angegeben.

	Präferierte Technik gewechselt	Präferierte Technik nicht gewechselt	Gesamt
Studierende + MA Rettungsdienst	23 (58 %)	17 (42 %)	40
Assistenzärzt:innen	26 (55 %)	21 (45 %)	47
Fachärzt:innen	21 (45 %)	26 (55 %)	47
Gesamt	70	64	134

Tabelle 12: Übersicht über die Anteile der Studienteilnehmenden, welche ihre präferierte Technik gewechselt haben

Um zu überprüfen, ob sich die unterschiedlichen Berufsgruppen hinsichtlich ihres Wechselverhaltens unterscheiden, wurde ein Chi-Quadrat-Tests durchgeführt. In diesem Test zeigt sich kein signifikanter Unterschied in der Verteilung zwischen den Berufsgruppen ($p = 0,4$).

Die 134 Teilnehmenden, welche schon vor dem Training eine der drei durchgeführten Techniken präferierten, haben für die Koniotomie mit dieser Technik im Mittelwert 40 Sekunden benötigt. Mit der Technik, die nach dem Training als präferierte Technik angegeben wurde, benötigten die Teilnehmenden im Mittelwert 38 Sekunden. Der Unterschied ist statistisch nicht signifikant ($p = 0,2$).

4.4.1 Anwenderfreundlichkeit der verschiedenen Techniken

Nach dem Training der beschriebenen Techniken wurden die Studienteilnehmenden zu jeder Technik mit Hilfe einer Likert-Skala bezüglich der Anwenderfreundlichkeit befragt. Dabei standen die Antworten „sehr einfach“ (1), „einfach“ (2), „schwer“ (3) und „sehr schwer“ (4) zur Verfügung. Die folgende Tabelle zeigt, wie die einzelnen Techniken in der Anwenderfreundlichkeit bewertet wurden.

	Sehr einfach (1)	Einfach (2)	Schwer (3)	Sehr schwer (4)	Mittelwert
CT	n = 66 (33 %)	n = 87 (43,5 %)	n = 45 (22,5 %)	n = 2 (1 %)	1,92
ST	n = 26 (13 %)	n = 70 (35 %)	n = 81 (40,5 %)	n = 23 (11,5 %)	2,51
SBT	n = 67 (33,5 %)	n = 107 (53,5 %)	n = 24 (12 %)	n = 2 (1 %)	1,81

Tabelle 13: Ergebnisse der Likert-Skala bezüglich der Anwenderfreundlichkeit der verschiedenen Techniken. CT: Chirurgische Technik, ST: Seldinger-Technik, SBT: Skalpell-Bougie-Technik

Der Tabelle ist zu entnehmen, dass die Seldinger-Technik am wenigsten positiv bewertet wurde. Weniger als die Hälfte der Teilnehmenden (48 %) haben diese Technik als „einfach“ oder „sehr einfach“ empfunden. Am anwenderfreundlichsten wurde die neue Skalpell-Bougie-Technik bewertet (87 % mindestens „einfach“). Auch die chirurgische Technik wurde größtenteils gut bewertet (76,5 % mindestens „einfach“). Trotz der negativen Bewertung der Anwenderfreundlichkeit der Seldinger-Technik war nur ein kleiner Rückgang bei den präferierten Techniken nach dem Training zu erkennen. Werden nur die Teilnehmenden betrachtet, die vor dem Training schon eine der drei Techniken gewählt haben, die nach dem Training noch zur Auswahl standen (n = 134), hat sich der Anteil, der die Seldinger-Technik (perkutane Technik) präferierte, von 18 % auf 13 % verkleinert.

Die 134 Teilnehmenden, welche schon vor dem Training eine der drei durchgeführten Techniken präferierten, haben die Anwenderfreundlichkeit dieser Technik im Mittelwert mit 1,81 nach der Likert-Skala (siehe oben) bewertet. Die Anwenderfreundlichkeit der Technik, die nach dem Training als präferierte Technik angegeben wurde, wurde von den Teilnehmenden im Mittelwert mit 1,41 bewertet. Der Unterschied (0,40) ist statistisch signifikant ($p < 0,0001$).

5 Diskussion

Wie der Literatur- und der Ergebnisteil wird auch die Diskussion der Ergebnisse mit dem bisherigen Stand der Forschung in die einzelnen zu untersuchenden Effekte der Koniotomie am Übungsmodell unterteilt, um eine möglichst große Übersichtlichkeit zu erreichen. Ein Gesamtbild wird dann in der folgenden Zusammenfassung dargestellt.

5.1 Inzidenz der Koniotomie

Die Ergebnisse unserer Befragung bezüglich bisheriger Erfahrungen mit der Koniotomie zeigen, dass erst ein geringer Anteil der Ärzt:innen, die an unserer Studie teilgenommen haben, bereits Erfahrungen mit der Koniotomie in realen Situationen gesammelt hat. Nur 20 % der Ärzt:innen (28 % der Fachärzt:innen, 12 % der Assistenzärzt:innen) haben dies angegeben. Zusätzlich wurde von 6 % der Rettungsdienstmitarbeitenden bereits eine Koniotomie durchgeführt. Insgesamt wurden von allen Studienteilnehmenden zusammen 44 Koniotomien angegeben.

5.1.1 Einordnung in die bisherigen Studienergebnisse

Unsere Ergebnisse sind vergleichbar mit den Beobachtungen von Makowski et al. [57], die in ihrer Befragung von 296 Assistenzärzt:innen der Notfallmedizin im 3. bis 5. Ausbildungsjahr feststellten, dass nur 22 % von ihnen bereits Erfahrungen der Koniotomie in realen Situationen gesammelt haben. Auch in unserer Studie tragen 19 der 20 Ärzt:innen, die bereits eine Koniotomie durchgeführt haben, die Zusatzbezeichnung Notfallmedizin. Es ist bekannt (6, 7, 22-24), dass es in der präklinischen Versorgung deutlich häufiger zu CVCI-Situationen kommt als perioperativ (siehe 2.2).

5.1.2 Bewertung der Ergebnisse, Empfehlung

Unsere Ergebnisse und jene anderer Studien zeigen deutlich, dass nur ein geringer Teil der Ärzt:innen auf Erfahrungen aus realen Situationen zurückgreifen kann. Das bedeutet, dass der Übung an Modellen, Simulatoren und Körperspendern beim Training der Koniotomie ein besonders hoher Stellenwert zukommt, um für den Notfall gut vorbereitet zu sein. Besonders Notfallmediziner:innen sollten möglichst regelmäßig geschult werden, da die Inzidenz von CVCI-Situationen in der Präklinik höher ist und weitere Hilfe nur schwer hinzugezogen werden kann.

5.2 Trainingseffekt auf die Dauer bis zur Koniotomie-Indikationsstellung

Wie bisherige Studien zeigen konnten (siehe 2.3), scheinen sowohl die Übung eines Algorithmus zum schwierigen Atemweg als auch das praktische Training am Übungsmodell die Zeit bis zur Koniotomieindikationsstellung in einem folgenden CVCI-Szenario zu verkürzen. Der Anteil des praktischen Trainings an diesem Effekt sollte in der von uns durchgeführten Studie näher untersucht werden.

Der interne Algorithmus zum schwierigen Atemweg der Universitätsmedizin Mainz (siehe 1.1, Anhang 8.3, [14]) wurde im Rahmen eines Airway-Workshops mit allen teilnehmenden Ärzt:innen (n = 40) vor dem CVCI-Szenario wiederholt. Im Anschluss hat ein Teil der Ärzt:innen (Gruppe 1, n = 23) noch vor der Simulation des CVCI-Szenarios an einem praktischen Training der Koniotomie an einem Übungsmodell teilgenommen. Der andere Teil (Gruppe 2, n = 17) führte dieses Training erst nach dem Szenario durch (siehe 4).

Die Ergebnisse zeigen, dass die Gruppe, die vor dem Szenario das praktische Training der Koniotomie durchgeführt hatte im Mittelwert schneller zu der Entscheidung kam, dass eine Koniotomie indiziert sei (180 Sek. vs. 233 Sek.). Dieser Unterschied ist statistisch signifikant ($p = 0,04$), wenn mithilfe eines Cox-Regressions-Modells berücksichtigt wird, dass der Anteil der Fachärzt:innen in Gruppe 1 (35 %) kleiner war als in Gruppe 2 (47 %). Gruppenübergreifend zeigte sich, dass die teilnehmenden Fachärzt:innen die Koniotomieindikation signifikant ($p = 0,004$) schneller erkannten als die teilnehmenden Assistenzärzt:innen (174 Sek. vs. 223 Sek.).

5.2.1 Einordnung in die bisherigen Studienergebnisse

Die von uns ermittelten Ergebnisse decken sich zu großen Teilen mit den Ergebnissen der von You-Ten et al. 2014 publizierten Studie (siehe 2.3, [53]). In dieser Studie lag die Dauer bis zur Koniotomieindikationsstellung nah an den Ergebnissen unserer Studie. Die Gruppe, welche vor dem Szenario an einem praktischen Training teilgenommen hat, traf diese Entscheidung signifikant schneller als die andere Gruppe (186 Sek. vs. 220 Sek.). Das CVCI-Szenario wurde nicht wie in unserer Studie noch am gleichen Tag, sondern erst nach 2-3 Wochen durchgeführt. Die Fallzahl in unserer Studie war nahezu doppelt so groß (n = 40 vs. n = 21). Sowohl unsere Ergebnisse als auch die Studie von You-Ten et al. zeigen,

dass das praktische Training der Koniotomie am Modell die Dauer bis zur Koniotomieindikationsstellung in einem CVCI-Szenario verkürzen kann.

Andere Studien [9, 54] untersuchten nur den kombinierten Einfluss von praktischem Training und Übung eines Algorithmus zum schwierigen Atemweg. Auch bei der Studie von Kuduvalli et al. (2008, [54]) zeigte sich eine verkürzte Dauer bis zur Koniotomieindikationsdauer nach 6 - 8 Wochen. Dieser Effekt war 6 - 8 Monate nach Übung des Algorithmus und praktischem Training jedoch nicht mehr zu erkennen.

5.2.2 Klinische Relevanz

Die in unserer Studie erkannte Differenz der Mittelwerte von 53 Sekunden der Zeit bis zur Koniotomieindikationsstellung zwischen den beiden Gruppen mit Training (180 Sek.) vs. ohne Training (233 Sek.) der Koniotomie vor dem CVCI-Szenario kann in einer realen Situation einen großen Unterschied hinsichtlich des Outcomes des Patienten zur Folge haben. Schon bei Eintreffen des Rettungsdienstes befinden sich Patient:innen oft in einer hypoxischen Situation. Unser Szenario startet mit einer Sauerstoffsättigung des Blutes von 70 %, welche im Verlauf weiter abfällt (siehe 3.5.1). Bereits 1 - 3 Minuten ohne suffiziente Atmung können zu Bewusstlosigkeit führen und nach 5 - 10 Minuten kann ein Kreislaufstillstand eintreten (Siehe 1.1.1, [18-20]). Daher sollte eine CVCI-Situation möglichst schnell als solche erkannt, die damit verbundene Indikation zur Koniotomie gestellt und diese dann auch unverzüglich durchgeführt werden.

5.2.3 Bewertung

Unsere Ergebnisse zeigen, dass es sinnvoll ist, praktisches Training der Koniotomie durchzuführen, um die Dauer bis zum Erkennen einer Koniotomieindikation zu verkürzen. Die Koniotomie als Ultima Ratio ist im Klinikalltag nur selten präsent und besonders unerfahrene Ärzt:innen haben eine große Hemmschwelle bezüglich dieser durchaus invasiven Maßnahme. Zu vermuten ist, dass für den beobachteten Effekt des praktischen Trainings der Koniotomie ein verstärktes Bewusstsein für die Stellung der Koniotomie im Algorithmus zum schwierigen Atemweg oder eine reduzierte Hemmschwelle in Bezug auf diese Maßnahme ursächlich sein könnte.

5.2.4 Limitationen und Verbesserungsmöglichkeiten

Da in unserer Studie das CVCI-Szenario und das praktische Training der Koniotomie am selben Tag stattfanden, ist eine Aussage darüber, wie lange der beobachtete Effekt anhält, durch unsere Ergebnisse nicht möglich.

Sowohl die Größe ($n = 23$ vs. $n = 17$) der Gruppen als auch der Anteil der Fachärzt:innen (35 % vs. 47 %) innerhalb der beiden Gruppen waren nicht ausgeglichen. Der unterschiedlich große Anteil an Fachärzt:innen innerhalb der beiden Gruppen wurde bei der statistischen Auswertung durch ein Cox-Regressions-Modell ausgeglichen.

5.3 Trainingseffekt auf die Dauer der Koniotomie

Wie bisherige Studien zeigen konnten (siehe 2.4), scheinen sowohl die Übung eines Algorithmus zum schwierigen Atemweg als auch das praktische Training am Übungsmodell die Zeit bis erfolgreichen Koniotomie in nachfolgenden Koniotomieversuchen zu verkürzen. Dieser Effekt sollte im Rahmen der von uns durchgeführten Studie näher untersucht werden.

Zu diesem Zweck wurden die Studienteilnehmenden (n = 200) vor der Koniotomie am Übungsmodell befragt, ob sie bereits an einem Training zu der entsprechenden Technik teilgenommen haben und wie lange dieses Training zurücklag.

Die Ergebnisse zeigen für alle drei durchgeführten Koniotomietechniken eine signifikante Überlegenheit der Teilnehmenden, die in der Vergangenheit an einem Training zu der jeweiligen Technik teilgenommen haben, gegenüber denen, die diese Technik noch nie trainiert haben. Am deutlichsten war dieser Effekt bei der Seldinger-Technik zu erkennen (Mittelwert 89 Sek. vs. 58 Sek., $p = 0,000000000000003$). Dies ist ggf. damit erklärbar, dass die Seldinger-Technik besonders für Anfänger die komplexeste der drei Techniken ist. Ärzt:innen profitieren vermutlich davon, dass die Seldinger-Technik auch bei der Anlage von arteriellen Gefäßzugängen oder zentralen Venenkathetern angewendet wird. Auch bei der chirurgischen Technik zeigte sich eine signifikante Überlegenheit der Teilnehmenden mit zurückliegendem Training (Mittelwert 42 Sek. vs. 30 Sek., $p = 0,0000005$). Der kleinste Unterschied war bei der neuen Skalpell-Bougie-Technik zu erkennen (Mittelwert 44 Sek. vs. 35 Sek., $p = 0,03$). Dies könnte durch die niedrige Fallzahl der Teilnehmenden, die bis jetzt an einem Training dieser Technik teilgenommen haben (n = 15), begründet sein.

Zusätzlich zu der Frage, ob bereits ein Training zu den jeweiligen Techniken durchgeführt wurde, wurde außerdem erfragt, wie lange dieses Training zurücklag. Bei der Seldinger-Technik zeigte sich eine statistisch signifikante Überlegenheit der Gruppe (n = 4), deren Training erst bis zu 3 Monate zurücklag, gegenüber den beiden Gruppen, deren Training 6-12 oder über 12 Monate zurücklag. Bei der chirurgischen Technik konnte eine solche Überlegenheit eines erst kurz zurückliegenden Trainings nicht erkannt werden. Der Unterschied der Teilnehmenden, deren Training erst bis zu 3 Monate zurücklag (n = 9), zeigte sogar gegenüber denen ohne zurückliegendes Training keine Überlegenheit. Eine mögliche Erklärung könnte hier die kleine Fallzahl sein.

5.3.1 Einordnung in die bisherigen Studienergebnisse

In bisher durchgeführten Studien (siehe 2.4) konnte gezeigt werden, dass ein Koniotomietraining am Übungsmodell die benötigte Zeit bis zur erfolgreichen Koniotomie verkürzen kann. In den Studien von Wong et al. (2003, [58]), Shetty et al. (2013, [51]) und Buonopane et al. (2014, [52]) war ein positiver Effekt (Verkürzung) des wiederholten Trainings der Seldinger-Technik an Übungspuppen auf die Zeit, die in folgenden Versuchen benötigt wurde, zu erkennen. Auch in unserer Studie zeigte sich besonders bei der Seldinger-Technik und der chirurgischen Technik ein positiver Effekt eines zurückliegenden Trainings auf die Zeit bis zur erfolgreichen Koniotomie am Übungsmodell. Die Koniotomieversuche erfolgten im Rahmen unserer Studie jedoch nicht direkt nacheinander, sondern es wurde retrospektiv der Zeitpunkt des letzten Trainings der Koniotomie am Übungsmodell erfragt. Dieses lag oft mehrere Monate bis zu über 12 Monate zurück.

Andere Studien [54, 59] haben sich bereits mit der Frage beschäftigt, wie lange dieser Effekt anhält und in welchem Abstand das Training wiederholt werden sollte.

In der Studie von Hubert et al. (2014, [59]) zeigte sich vor dem Training der Seldinger-Technik eine signifikant längere Zeit bis zur erfolgreichen Koniotomie, als 3, 6 oder 12 Monate nach dem Training. Ein signifikanter Unterschied innerhalb der 3 Gruppen konnte nicht dargestellt werden. Kuduvali et al. (2008, [54]) kamen zu der Empfehlung, den Algorithmus zum schwierigen Atemweg und auch das Training der Koniotomie spätestens alle 6 Monate zu wiederholen. In unserer Studie war bei den Teilnehmenden mit zurückliegendem Training der Seldinger-Technik eine signifikante Überlegenheit gegenüber denen ohne bisheriges Training zu erkennen (siehe 4.3.1). Die Teilnehmenden, deren Training erst bis zu 3 Monate zurücklag, waren außerdem denen signifikant überlegen, deren Training 6 - 12, oder über 12 Monate zurücklag. Die geringe Fallzahl (n = 4) mindert hier jedoch die Aussagekraft.

5.3.2 Klinische Relevanz

Die in unserer Studie ermittelte Differenz der Mittelwerte der beiden Gruppen mit zurückliegendem vs. ohne zurückliegendes Training betrug bei der Seldinger-Technik 31 Sekunden. Dieser Zeitrahmen kann analog zur Entscheidungsfindung der Indikationsstellung zur Koniotomie (siehe 5.2) in einer realen Situation einen Unterschied hinsichtlich des Outcomes von Patient:innen machen. Die absoluten Unterschiede waren bei der chirurgischen Technik (12 Sekunden) und der Skalpelli-Bougie-Technik (9 Sekunden) deutlich kleiner. Es ist jedoch bei einer Koniotomie am

Menschen aufgrund der höheren Komplexität und den hiermit verbundenen Stressoren generell von einem erhöhten Zeitbedarf auszugehen, wodurch auch die zeitliche Differenz zwischen den Gruppen steigen könnte.

5.3.3 Bewertung, Limitationen und Verbesserungsmöglichkeiten

Unsere Ergebnisse zeigen, dass es sinnvoll und wichtig ist, ein praktisches Training der Koniotomie am Übungsmodell durchzuführen, um die Dauer für eine erfolgreiche Koniotomie in der Zukunft zu verkürzen. In unserer Studie war dieser positive Effekt bei der Seldinger-Technik und der chirurgischen Technik auch über 12 Monate nach einem zurückliegenden Training noch zu erkennen.

Bisherige Studien hatten meist ein prospektives Studiendesign, in dem unerfahrene Studienteilnehmende ein erstmaliges Training durchgeführt haben und dann der Effekt in der Zukunft untersucht wurde. Im Rahmen unserer Studie haben wir zusätzlich retrospektive Daten genutzt. Dies hat den Vorteil, dass wir so eine große Fallzahl an Teilnehmenden hinsichtlich des Effektes von zurückliegendem Training untersuchen konnten. Im Gegenzug ist nicht eindeutig festzustellen, welchen Umfang das Training hatte, wie viele unterschiedliche Trainings bereits durchgeführt wurden oder an welchem Übungsmodell das Training durchgeführt wurde. Dies erschwert den Vergleich innerhalb der Studie und mit anderen Studienergebnissen.

5.4 Einfluss der Berufsgruppe auf die Dauer der Koniotomie

Unsere Ergebnisse (siehe 4.3.4) zeigen, dass sowohl Fachärzt:innen als auch Assistenzärzt:innen für Anästhesiologie den weniger erfahrenen Berufsgruppen der Studierenden der Humanmedizin und den Rettungsdienstmitarbeitenden bei der Zeit bis zu erfolgreichen Koniotomie am Übungsmodell deutlich überlegen sind. Besonders groß waren die Unterschiede bei der Koniotomie mithilfe der Seldinger-Technik.

5.4.1 Mögliche Erklärungen

Diese Beobachtung ist durch verschiedene Umstände zu erklären. Der Anteil der Studienteilnehmenden, die in der Vergangenheit schon einmal an einem Training der Koniotomie teilgenommen haben, ist bei den Ärzt:innen deutlich größer im Vergleich zu den beiden weiteren Berufsgruppen (siehe Tabelle 5). Eine weitere mögliche Erklärung ist, dass Anästhesist:innen in ihrer täglichen Arbeit und ihrer Ausbildung regelmäßig mit invasiven Maßnahmen zu tun haben, die denen der Koniotomietechniken ähnlich sind. So wird die Seldinger-Technik beispielsweise auch im Rahmen der Anlage von arteriellen Gefäßzugängen oder zentralen Venenkathetern angewendet. Des Weiteren ist von einem höheren Wissensstand bezüglich der anatomischen Kenntnisse im Bereich der Atemwege und des Kehlkopfs auszugehen.

5.4.2 Einfluss auf die Ergebnisse

Es ist zu vermuten, dass die unterschiedlichen Berufsgruppen einen Einfluss auf die zugrundeliegenden Ergebnisse für 5.3 haben. Diese Annahme wurde mit Hilfe eines Cox-Regressions-Modells überprüft. Ein zurückliegendes Training wurde hier auch unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Berufsgruppen Technik-übergreifend als statistisch signifikanter positiver Prädiktor für die Zeit bis zur erfolgreichen Koniotomie am Übungsmodell erkannt (siehe 4.3.4).

5.5 Trainingseffekt auf den Wechsel der bevorzugten Koniotomietechnik

Inwiefern das Training der Koniotomie am Übungsmodell einen Wechsel der präferierten Koniotomietechnik beeinflussen kann, war bisher kaum bekannt. Wir konnten mit unserer Studie zeigen, dass über die Hälfte (52 %) der Teilnehmenden, welche vor der Studie eine der drei in unserer Studie durchgeführten Techniken präferierten (n = 134, siehe 8.6), nach dem Training eine andere Technik wählte (siehe 4.4). Besonders die neue Skalpell-Bougie-Technik konnte durch das Training viele Teilnehmende überzeugen (n = 56 / 134, 47 %). Die Annahme, dass die weniger erfahrenen Studierenden und Rettungsdienstmitarbeitenden schneller von einem Wechsel ihrer präferierten Technik überzeugt werden als erfahrene Teilnehmende (Fachärzt:innen) konnte statistisch nicht bestätigt werden (siehe 4.4). Die Teilnehmenden konnten die Koniotomie mit der Technik, die sie nach dem Training präferierten im Vergleich mit der Technik, die vor dem Training als Präferenz angegeben wurde im Mittelwert etwas schneller durchführen (38 Sek. vs. 40 Sek.). Dieser Unterschied ist jedoch statistisch nicht signifikant ($p = 0,2$, siehe 4.4). Ein größerer Unterschied konnte hinsichtlich der Beurteilung der Anwenderfreundlichkeit der Techniken erkannt werden. Die Teilnehmenden bewerteten die Anwenderfreundlichkeit der Technik, welche nach dem Training als Präferenz angegeben wurde, besser als die Anwenderfreundlichkeit der Technik, welche vor dem Training präferiert wurde (1,41 vs. 1,81 nach der Likert-Skala, siehe 4.4.1). Der Unterschied ist statistisch signifikant ($p < 0,0001$).

5.5.1 Einordnung in die bisherigen Studienergebnisse

In der 2020 publizierte Studie von Fradet et al. (2020, [65]) wurden 44 Assistenzärzt:innen für Anästhesiologie zur Familiarisation und zur Präferenz drei unterschiedlicher Koniotomietechniken vor und nach einem praktischen Training der Koniotomie befragt. Es zeigte sich, dass die Vertrautheit in alle drei Techniken deutlich anstieg. Am besten hat in diesem Fall die neue Skalpell-Bougie-Technik abgeschnitten (91 % mindestens „confident“). Diese Technik wurde auch von den Teilnehmenden in unserer Studie als die Technik mit der größten Anwenderfreundlichkeit beschrieben (87 % „einfach“ oder „sehr einfach“). Fradet et al. haben außerdem einen starken Wechsel der präferierten Technik von der perkutanen Technik zu einer der anderen beiden Techniken erkannt (Abfall von 46 % auf 4 %). In unserer Studie war dieser Effekt geringer ausgeprägt. Berücksichtigt man solitär die Teilnehmenden, die vor dem Training schon eine Entscheidung

hinsichtlich einer favorisierten Technik getroffen haben, welche nach dem Training noch zur Auswahl stand (n = 134), hat sich der Anteil derer, welche die Seldinger-Technik (perkutane Technik) präferierten von 18 % auf 13 % verkleinert.

Die Ergebnisse von Fradet et al. und unsere Ergebnisse zeigen deutlich, dass ein großer Anteil der Proband:innen nach dem praktischen Training der Koniotomie seine initial favorisierte Technik wechselt. Besonders die Skalpell-Bougie-Technik konnte viele Teilnehmende von einem Wechsel überzeugen.

5.5.2 Klinische Relevanz

Da eine CVCI-Situation immer einen Notfall darstellt, sollte Sicherheit dahingehend bestehen, welche Koniotomietechnik in dieser zeitkritischen Situation gewählt wird. Die behandelnden Ärzt:innen sollten unabdingbar mit dem benötigten Equipment vertraut sein. Die Kenntnis hinsichtlich der Techniken sollte mit den vorhandenen Sets und Materialien am jeweiligen Arbeitsort idealerweise deckungsgleich sein.

5.5.3 Bewertung

Unsere Ergebnisse zeigen deutlich, dass das praktische Training unterschiedlicher Koniotomietechniken am Übungsmodell zum Wechsel der präferierten Technik beiträgt. Besonders neue Techniken können im Rahmen eines solchen Trainings den Teilnehmenden gut vermittelt und eine diesbezügliche Vertrautheit erzeugt werden. Vor allem die Anwenderfreundlichkeit der Techniken scheint ein großer Faktor hinsichtlich des Wechsels der präferierten Technik zu sein. Die Teilnehmenden profitieren außerdem von einem Training unterschiedlicher Techniken, da im Zweifel bei Scheitern einer Technik auch auf eine andere ausgewichen werden kann.

5.5.4 Limitationen und Verbesserungsmöglichkeiten

Die Studienteilnehmenden konnten vor dem Training frei ihre präferierte Technik angeben, nach dem Training jedoch nur noch aus den drei im Rahmen der Studie durchgeführten Techniken wählen. Für Teilnehmende, die vor der Studie eine andere Technik wählten (z.B. Punktionskoniotomie / „Quicktrach“, Fa. VBM Medizintechnik GmbH, Sulz, Deutschland), oder Teilnehmende, denen vor der Studie keine Koniotomietechnik bekannt war, konnte somit kein Wechsel der präferierten Technik ermittelt werden. Aus diesem Grund konnten für Teile der Auswertung nur die Teilnehmenden berücksichtigt werden, die sich auch vor dem Training schon für eine dieser drei Techniken entschieden haben (n = 134, siehe 4.4, 8.6).

Bei den Ergebnissen können wir uns lediglich auf die persönlichen Angaben der Teilnehmenden beziehen. Es ist also nicht klar, ob in einer realen Situation wirklich die Technik genutzt werden würde, die im Rahmen unserer Studie als präferiert angegeben wurde.

6 Zusammenfassung

Die Koniotomie steht als „Ultima Ratio“ am Ende des Algorithmus zum schwierigen Atemweg. Aufgrund der niedrigen Inzidenz von „cannot ventilate, cannot intubate“ (CVCI)- Situationen hat das Training der Koniotomie abseits von Patient:innen einen besonders hohen Stellenwert.

Im Rahmen der „ScalpelCric-Studie“ wurden die Effekte des Trainings am Übungsmodell näher untersucht. Dazu haben 200 Studienteilnehmende jeweils drei verschiedene Koniotomietechniken durchgeführt und 40 Ärzt:innen zusätzlich an der Simulation eines CVCI-Szenarios teilgenommen. Darüber hinaus wurden die bisherigen Erfahrungen mit der Koniotomie sowie präferierte Techniken abgefragt.

Unter Berücksichtigung einer ungleichen Verteilung von Fachärzt:innen in den beiden Gruppen zeigte sich ein signifikanter und klinisch relevanter (180 Sek. vs. 233 Sek.) Einfluss (Verkürzung) eines praktischen Trainings der Koniotomie auf die Dauer bis zur Koniotomie-Indikationsstellung in einem folgenden CVCI-Szenario.

Sowohl bei der Seldinger-Technik (89 Sek. vs. 58 Sek.) als auch bei der chirurgischen Technik (42 Sek. vs. 30 Sek.) und der Skalpell-Bougie-Technik (44 Sek. vs. 35 Sek.) zeigte sich ein signifikanter Einfluss (Verkürzung) eines zurückliegenden Trainings auf die Dauer der erfolgreich durchgeführten Koniotomie. Ärzt:innen für Anästhesiologie waren Studierenden der Humanmedizin und Rettungsdienstmitarbeitenden überlegen.

Bezüglich der präferierten Techniken war nach dem Training bei allen Berufsgruppen eine deutliche Wechselbereitschaft zu erkennen. Über die Hälfte (52 %) der Teilnehmenden, welche vor dem Training eine der drei Techniken wählten, die im Rahmen unserer Studie durchgeführt wurden, führten nach dem Training einen Wechsel der präferierten Technik durch.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass das praktische Training der Koniotomie positive Effekte auf die Dauer der Koniotomie und die Dauer bis zur Koniotomieindikationsstellung in einem CVCI-Szenario gezeigt hat. Darüber hinaus trägt es zur Wahl der präferierten Technik bei und kann neue Koniotomietechniken vermitteln. Aus diesen Gründen ist ein regelmäßiges praktisches Training der Koniotomie (z.B. alle 12 Monate) für alle Anästhesist:innen und insbesondere für im Bereich der Präklinik arbeitende Ärzt:innen zu empfehlen.

7 Literaturverzeichnis

1. DGAI. "Kommission Atemwegsmanagement" der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin: S1-Leitlinie: Atemwegsmanagement. 2015.
2. Timmermann A, B.W.Böttiger, Byhahn C, Döriges V, Eich C, Gräsner J-T, et al. AWMF Leitlinie "Prähospitales Atemwegsmanagement". 2019.
3. Striebel HW-. Grundlagen, Formen der Allgemeinanästhesie, Lokal- und Regionalanästhesie, Besonderheiten, Narkoseprobleme. 4., vollständig überarbeitete Auflage ed. Georg Thieme Verlag KG, editor: Georg Thieme Verlag; 2019.
4. Kheterpal S, Han R, Tremper Kevin K, Shanks A, Tait Alan R, O'Reilly M, et al. Incidence and Predictors of Difficult and Impossible Mask Ventilation. *Anesthesiology*. 2006;105(5):885-91.
5. Kheterpal S, Healy D, Aziz MF, Shanks AM, Freundlich RE, Linton F, et al. Incidence, predictors, and outcome of difficult mask ventilation combined with difficult laryngoscopy: a report from the multicenter perioperative outcomes group. *Anesthesiology*. 2013;119(6):1360-9.
6. Langeron O, Masso E, Huraux C, Guggiari M, Bianchi A, Coriat P, et al. Prediction of Difficult Mask Ventilation. *Anesthesiology*. 2000;92(5):1229-36.
7. Lavery GG, McCloskey BV. The difficult airway in adult critical care. *Critical Care Medicine*. 2008;36(7):2163-73.
8. Adnet F, Racine SX, Borron SW, Clemessy JL, Fournier JL, Lapostolle F, et al. A survey of tracheal intubation difficulty in the operating room: a prospective observational study. *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*. 2001;45(3):327-32.
9. Ott T, Truschinski K, Kriege M, Naß M, Herrmann S, Ott V, et al. Algorithmus zur Sicherung des unerwartet schwierigen Atemwegs. *Der Anaesthesist*. 2018;67(1):18-26.
10. Edelman DA, Perkins EJ, Brewster DJ. Difficult airway management algorithms: a directed review. *Anaesthesia*. 2019;74(9):1175-85.
11. Xu Z, Ma W, Hester DL, Jiang Y. Anticipated and unanticipated difficult airway management. *Current Opinion in Anesthesiology*. 2018;31(1):96-103.
12. Piepho T, Cavus E, Noppens R, Byhahn C, Döriges V, Zwissler B, et al. S1 guidelines on airway management. *Der Anaesthesist*. 2015;64(1):27-40.
13. Rombey T, Schieren M, Pieper D. Video- versus direkte Laryngoskopie bei innerklinischen Notfallintubationen von Erwachsenen. *Dtsch Arztebl International*. 2018;115(26):437-44.
14. Ott T, Truschinski K, Kriege M, Naß M, Herrmann S, Ott V, et al. Algorithmus zur Sicherung des unerwartet schwierigen Atemwegs: Eine Anwenderanalyse am Simulator. *Der Anaesthesist*. 2017;67.

15. Lacerte M, Hays Shapshak A, Mesfin FB. Hypoxic Brain Injury. StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing Copyright © 2023, StatPearls Publishing LLC.; 2023.
16. Kwon YS, Lee CA, Park S, Ha SO, Sim YS, Baek MS. Incidence and outcomes of cricothyrotomy in the "cannot intubate, cannot oxygenate" situation. *Medicine (Baltimore)*. 2019;98(42):e17713.
17. Pearce W, Barr J, Ziai K, Goyal N. "Cannot Intubate, Cannot Oxygenate" (CICO) rescue by emergency Front of Neck Airway (eFONA). *Operative Techniques in Otolaryngology-Head and Neck Surgery*. 2020;31(2):96-104.
18. Lott C, Truhlář A, Alfonzo A, Barelli A, González-Salvado V, Hinkelbein J, et al. Kreislaufstillstand unter besonderen Umständen. *Notfall + Rettungsmedizin*. 2021;24(4):447-523.
19. Farmery AD, Roe PG. A model to describe the rate of oxyhaemoglobin desaturation during apnoea. *Br J Anaesth*. 1996;76(2):284-91.
20. Safar P, Paradis NA, Weil MH. Asphyxial cardiac arrest. In: Chamberlain DA, Halperin HR, Kern KB, Paradis NA, Wenzel V, editors. *Cardiac Arrest: The Science and Practice of Resuscitation Medicine*. 2 ed. Cambridge: Cambridge University Press; 2007. p. 969-93.
21. Tetsuhisa K, Kosuke K, Tomohiko S, Taku I, Chika N, Kentaro K, et al. Epidemiology and outcome of adult out-of-hospital cardiac arrest of non-cardiac origin in Osaka: a population-based study. *BMJ Open*. 2014;4(12):e006462.
22. Kim MJ, Yoon YS, Park JM, Cho J, Lim H, Kang H, et al. Neurologic outcome of comatose survivors after hanging: a retrospective multicenter study. *The American Journal of Emergency Medicine*. 2016;34(8):1467-72.
23. Penney DJ, Stewart AH, Parr MJ. Prognostic outcome indicators following hanging injuries. *Resuscitation*. 2002;54(1):27-9.
24. Bair AE, Panacek EA, Wisner DH, Bales R, Sakles JC. Cricothyrotomy: a 5-year experience at one institution. *J Emerg Med*. 2003;24(2):151-6.
25. McIntosh SE, Swanson ER, Barton ED. Cricothyrotomy in Air Medical Transport. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*. 2008;64(6).
26. Leibovici D, Fredman B, Gofrit ON, Shemer J, Blumenfeld A, Shapira SC. Prehospital cricothyroidotomy by physicians. *The American Journal of Emergency Medicine*. 1997;15(1):91-3.
27. Peters J, Bruijstens L, van der Ploeg J, Tan E, Hoogerwerf N, Edwards M. Indications and results of emergency surgical airways performed by a physician-staffed helicopter emergency service. *Injury*. 2015;46(5):787-90.
28. Gerich TG, Schmidt U, Hubrich V, Lobenhoffer HP, Tscherne H. Prehospital Airway Management in the Acutely Injured Patient: The Role of Surgical Cricothyrotomy Revisited. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*. 1998;45(2).

29. Schober P, Biesheuvel T, de Leeuw MA, Loer SA, Schwarte LA. Prehospital cricothyrotomies in a helicopter emergency medical service: analysis of 19,382 dispatches. *BMC Emerg Med.* 2019;19(1):12.
30. Laux G. Intubation bei schwierigem Atemweg. In: Rossaint R, Werner C, Zwißler B, editors. *Die Anästhesiologie: Allgemeine und spezielle Anästhesiologie, Schmerztherapie und Intensivmedizin.* Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2018. p. 1-11.
31. T. Hess MS, P. Knacke, F. Reifferscheid, T.Kerner. Präklinische Atemwegssicherung – Die Not-Koniotomie. *Lege artis.* 2014;4:318-23.
32. Sabato SC, Long E. An institutional approach to the management of the ‘Can't Intubate, Can't Oxygenate’ emergency in children. *Pediatric Anesthesia.* 2016;26(8):784-93.
33. Helm M, Hossfeld B, Jost C, Schwartz A, Lampl L, Bernhard M. Chirurgische Atemwegssicherung in der präklinischen Notfallmedizin. *Notfall + Rettungsmedizin.* 2011;14(1):29-36.
34. Aurbek N, Bardutzky J, Bein B, Biermann E, Blomeyer R, Böttiger BW, et al. *Notfallmedizin.* Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2013.
35. Drew T, McCaul CL. Laryngeal handshake technique in locating the cricothyroid membrane: a non-randomised comparative study. *British Journal of Anaesthesia.* 2018;121(5):1173-8.
36. Moore A, Aden JK, 3rd, Curtis R, Umar MA. A Comparison of the Laryngeal Handshake Method Versus the Traditional Index Finger Palpation Method in Identifying the Cricothyroid Membrane, When Performed by Combat Medic Trainees. *J Spec Oper Med.* 2019;19(3):71-5.
37. Hess T, Stuhr M, Knacke P-G, Reifferscheid F, Kerner T. Invasive Notfalltechniken – Die Koniotomie. *Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther.* 2014;49(04):230-6.
38. *Notfalltechniken Schritt für Schritt.* In: Bernhard M, Gräsner J-T, editors. Stuttgart 2016.
39. Kroll T, Sharma S, Wuerdemann N, Mietens A, Ahrens K, Klussmann J. Koniotomie. *Laryngo-Rhino-Otologie.* 2017;96:757-8.
40. DeVore EK, Redmann A, Howell R, Khosla S. Best practices for emergency surgical airway: A systematic review. *Laryngoscope Investigative Otolaryngology.* 2019;4(6):602-8.
41. Moser G, Kress P, Zauner C, Thurnher D. Chirurgisch-interventionelle Aspekte. In: Schneider-Stickler B, Kress P, editors. *Tracheotomie und Tracheostomaversorgung: Indikationen, Techniken & Rehabilitation.* Vienna: Springer Vienna; 2018. p. 39-92.
42. Mohr S, Göring M, Knapp J. Notfallkoniotomie – chirurgisch oder doch Punktion? *Notfall + Rettungsmedizin.* 2019;22(2):111-23.

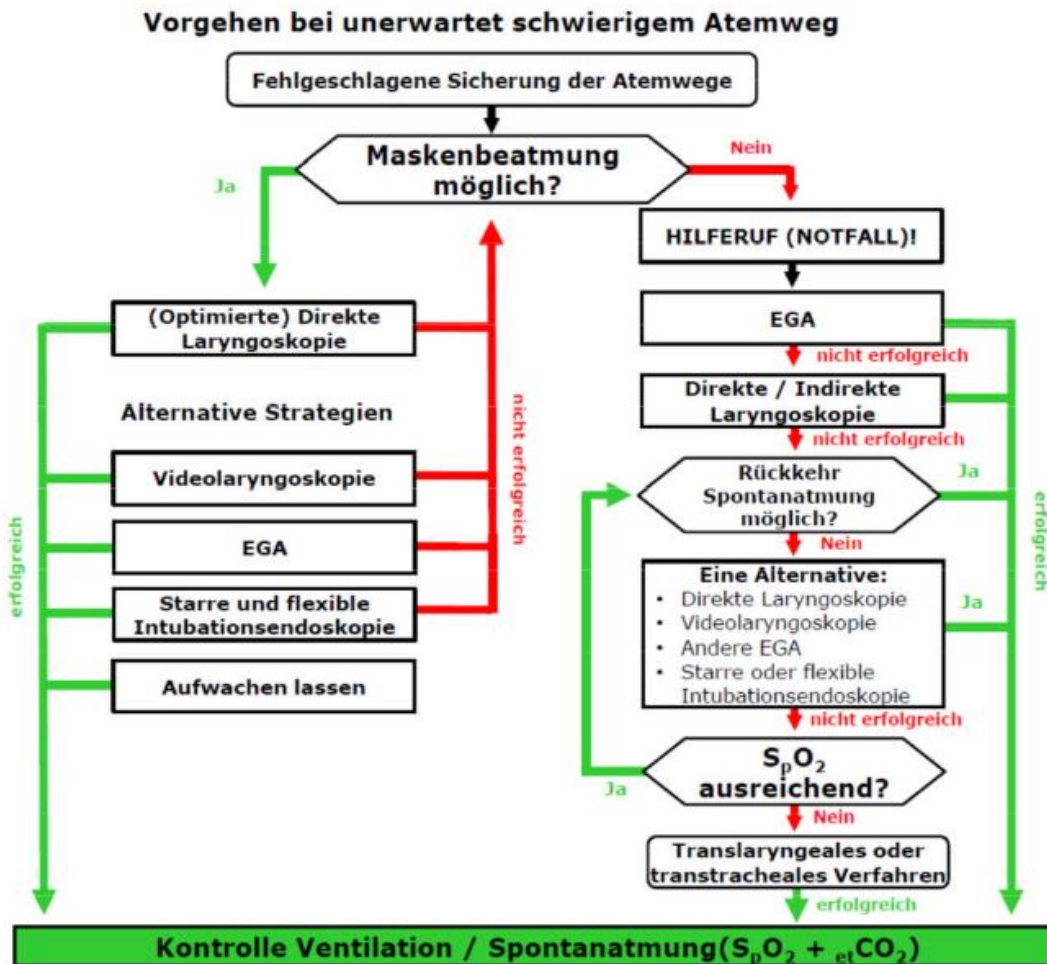
43. Macêdo MB, Guimarães RB, Ribeiro SM, Sousa KM. Emergency cricothyrotomy: temporary measure or definitive airway? A systematic review. *Rev Col Bras Cir.* 2016;43(6):493-9.
44. Byhahn C, Meininger D. Atemwegmanagement – Invasives Atemwegmanagement. *Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther.* 2006;9:576-84.
45. Talving P, DuBose J, Inaba K, Demetriades D. Conversion of emergent cricothyrotomy to tracheotomy in trauma patients. *Arch Surg.* 2010;145(1):87-91.
46. Henzler D. Anästhesiologische Beurteilung des Patienten: Respiratorisches System. In: Rossaint R, Werner C, Zwißler B, editors. *Die Anästhesiologie: Allgemeine und spezielle Anästhesiologie, Schmerztherapie und Intensivmedizin.* Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2018. p. 1-39.
47. A. Timmermann CB, V. Wenzel, C. Eich, T. Piepho, M. Bernhard, V. Dörges. Handlungsempfehlung für das präklinische Atemwegsmanagement für Notärzte und Rettungsdienstpersonal. *Anästh Intensivmed* 2012;53:294-308.
48. Cook TM, Woodall N, Frerk C. Major complications of airway management in the UK: results of the Fourth National Audit Project of the Royal College of Anaesthetists and the Difficult Airway Society. Part 1: anaesthesia. *Br J Anaesth.* 2011;106(5):617-31.
49. Tachibana N, Niiyama Y, Yamakage M. Incidence of cannot intubate-cannot ventilate (CICV): results of a 3-year retrospective multicenter clinical study in a network of university hospitals. *J Anesth.* 2015;29(3):326-30.
50. Takayesu JK, Peak D, Stearns D. Cadaver-based training is superior to simulation training for cricothyrotomy and tube thoracostomy. *Internal and Emergency Medicine.* 2017;12(1):99-102.
51. Shetty K, Nayyar V, Stachowski E, Byth K. Training for cricothyroidotomy. *Anaesth Intensive Care.* 2013;41(5):623-30.
52. Buonopane CE, Pasta V, Sottile D, Del Vecchio L, Maturo A, Merola R, et al. Cricothyrotomy performed with the Melker set or the QuickTrach kit: procedure times, learning curves and operators' preference. *G Chir.* 2014;35(7-8):165-70.
53. You-Ten KE, Bould MD, Friedman Z, Riem N, Sydor D, Boet S. Cricothyrotomy training increases adherence to the ASA difficult airway algorithm in a simulated crisis: a randomized controlled trial. *Can J Anaesth.* 2015;62(5):485-94.
54. Kuduvalli PM, Jervis A, Tighe SQM, Robin NM. Unanticipated difficult airway management in anaesthetised patients: a prospective study of the effect of mannequin training on management strategies and skill retention. *Anaesthesia.* 2008;63(4):364-9.
55. T.Piepho MK, C. Byhahn, E. Cavus, V. Dörges, H. Ilper, F. Kehl, T.Loop, K. Raymondos, S. Sujatta, A. Timmermann, B. Zwißler, R. Noppens. S1 Leitlinie Atemwegsmanagement. 2023.

56. T.Piepho MK, C. Byhahn, E. Cavus, V. Döriges, H. Ilper, F. Kehl, T.Loop, K. Raymondos, S. Sujatta, A. Timmermann, B. Zwißler, R. Noppens. Algorithmus Vorgehen bei unerwartet schwierigem Atemweg aus der S1-Leitlinie Atemwegsmanagement. 2023.
57. Makowski AL. A survey of graduating emergency medicine residents' experience with cricothyrotomy. *West J Emerg Med.* 2013;14(6):654-61.
58. Wong David TMD, Prabhu Atul JFRCA, Coloma MMD, Imasogie NFRCA, Chung Frances FFRCCP. What Is the Minimum Training Required for Successful Cricothyroidotomy?: A Study in Mannequins. *Anesthesiology: The Journal of the American Society of Anesthesiologists.* 2003;98(2):349-53.
59. Hubert V, Duwat A, Deransy R, Mahjoub Y, Dupont H. Effect of Simulation Training on Compliance with Difficult Airway Management Algorithms, Technical Ability, and Skills Retention for Emergency Cricothyrotomy. *Anesthesiology: The Journal of the American Society of Anesthesiologists.* 2014;120(4):999-1008.
60. Boet S, Borges BC, Naik VN, Siu LW, Riem N, Chandra D, et al. Complex procedural skills are retained for a minimum of 1 yr after a single high-fidelity simulation training session. *Br J Anaesth.* 2011;107(4):533-9.
61. Melchior J, Todsén T, Nilsson P, Wennervaldt K, Charabi B, Böttger M, et al. Preparing for Emergency: A Valid, Reliable Assessment Tool for Emergency Cricothyroidotomy Skills. *Otolaryngology–Head and Neck Surgery.* 2014;152(2):260-5.
62. Iverson K, Riojas R, Sharon D, Hall AB. Objective comparison of animal training versus artificial simulation for initial cricothyroidotomy training. *Am Surg.* 2015;81(5):515-8.
63. Hall AB. Randomized objective comparison of live tissue training versus simulators for emergency procedures. *Am Surg.* 2011;77(5):561-5.
64. Breitmeier D, Schulz Y, Wilke N, Albrecht K, Haeseler G, Panning B, et al. Koniotomieübungen an der Leiche - Erfahrungen in der Ausbildung mit Medizinstudenten, Anästhesisten und Notärzten. *Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther.* 2004;39(02):94-100.
65. Fradet L, Iorio-Morin C, Tissot-Therrien M, Fortier P-H, Colas M-J. Training anaesthetists in cricothyrotomy techniques using video demonstrations and a hands-on practice session: a shift towards preferred surgical approaches. *British Journal of Anaesthesia.* 2020;125(1):e160-e2.
66. Medicine NLo. Study Record | ClinicalTrials.gov, [Internet]. Zitiert am: 07.08.2023. URL: <https://clinicaltrials.gov/study/NCT03741049>. 2023.
67. Melker JS, Gabrielli A. Melker Cricothyrotomy Kit: An Alternative to the Surgical Technique. *Annals of Otolaryngology, Rhinology & Laryngology.* 2005;114(7):525-8.
68. VBM Medizintechnik GmbH (Sulz D. ScalpelCric | VBM Medizintechnik GmbH [Internet]. Zitiert am: 01.05.2023. URL: <https://www.vbm-medical.de/produkte/airway-management/koniotomie/scalpelcric/2023>.

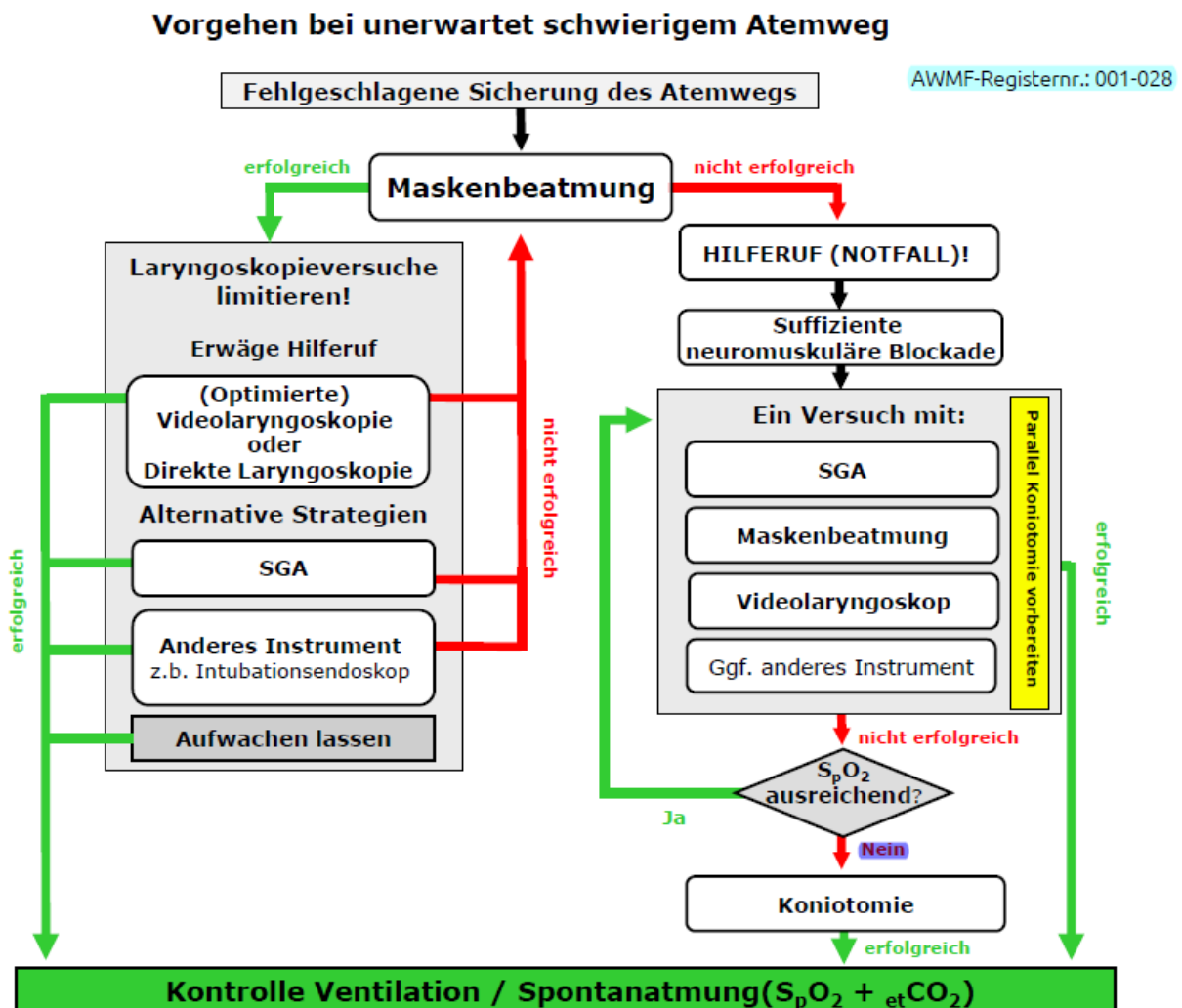
69. Cook Medical Inc. (Bloomington I, USA). Melker Emergency Cricothyrotomy Catheter Set (Seldinger) Cook Medical [Internet]. Zitiert am: 01.05.2023. URL: https://www.cookmedical.com/products/cc_tccs_webds/2023.
70. Dornberger I. 10.8 Melker-Notfall-Krikothyrotomie. 2013 2018/12/05. In: Schwieriges Atemwegsmanagement bei Erwachsenen und Kindern [Internet]. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG.
71. Likert R. A technique for the measurement of attitudes / by Rensis Likert. New York: [s.n.]; 1985.
72. Sullivan GM, Artino AR, Jr. Analyzing and interpreting data from likert-type scales. *J Grad Med Educ.* 2013;5(4):541-2.
73. Ott T, Stracke J, Sellin S, Kriege M, Toenges G, Lott C, et al. Impact of cardiopulmonary resuscitation on a cannot intubate, cannot oxygenate condition: a randomised crossover simulation research study of the interaction between two algorithms. *BMJ Open.* 2019;9(11):e030430.
74. Khorana A, Pareek A, Ollivier M, Madjarova SJ, Kunze KN, Nwachukwu BU, et al. Choosing the appropriate measure of central tendency: mean, median, or mode? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2022.
75. Zwiener I, Blettner M, Hommel G. Überlebenszeitanalyse. *Dtsch Arztebl International.* 2011;108(10):163-9.
76. Goel MK, Khanna P, Kishore J. Understanding survival analysis: Kaplan-Meier estimate. *Int J Ayurveda Res.* 2010;1(4):274-8.
77. Bland JM, Altman DG. The logrank test. *Bmj.* 2004;328(7447):1073.
78. Abd ElHafeez S, D'Arrigo G, Leonardis D, Fusaro M, Tripepi G, Roumeliotis S. Methods to Analyze Time-to-Event Data: The Cox Regression Analysis. *Oxid Med Cell Longev.* 2021;2021:1302811.
79. Shen C, Panda S, Vogelstein JT. The Chi-Square Test of Distance Correlation. *J Comput Graph Stat.* 2022;31(1):254-62.

8 Anhang

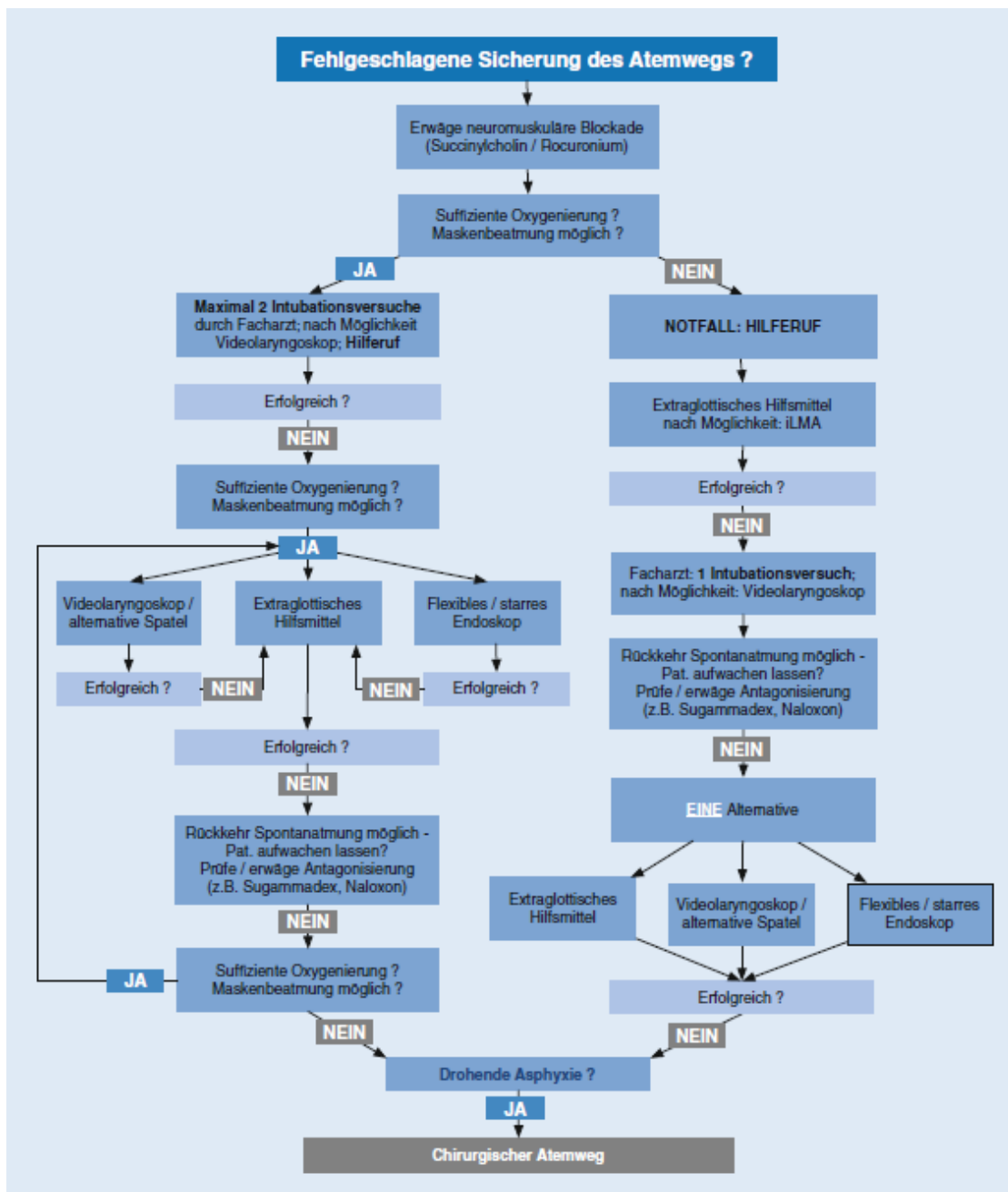
8.1 Algorithmus zum unerwartet schwierigen Atemweg aus der S1-Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin (2015) [1, 12].



8.2 Algorithmus zum unerwartet schwierigen Atemweg aus der S1-Leitlinie der AWMF (2023) [55, 56]



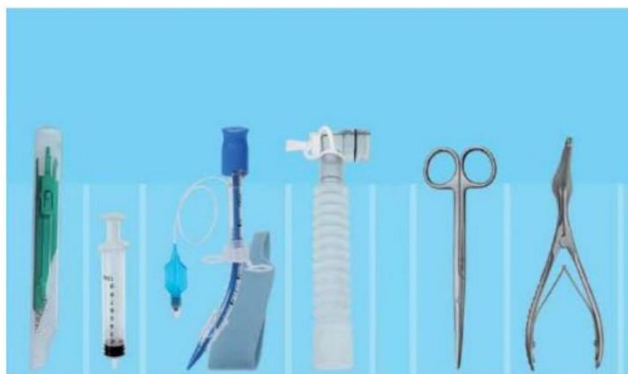
8.3 Atemwegsalgorithmus des unerwartet schwierigen Atemwegs der Klinik für Anästhesiologie der Universitätsmedizin Mainz nach Piepho und Noppens [14].



8.4 Anleitungen zu den Koniotomietechniken

8.4.1 Anleitung zur chirurgischen Koniotomie

Koniotomie mittels klassisch-chirurgischer Technik



Materialien:

- 1) Skalpell #11
- 2) Spritze 10 ml
- 3) blockbarer Endotrachealtubus ID 5 mm
- 4) Halsband zur Tubusfixierung
- 5) Verbindungsschlauch
- 6) Schere
- 7) Spekulum 14 cm

Schritt 1: Identifikation des Ligamentum cricothyroideum, Fixierung mit Zeigefinger und Daumen der schwächeren Hand. **Hautschnitt** (ca. 3 cm) entlang des Ligamentums von kranial nach kaudal.



Schritt 2: Den Hautschnitt durch das Öffnen einer Schere zwischen den Schnitträndern **aufspreizen**.



Schritt 3: Durch das **Spekulum** (Griff nach kranial) die Schnittstelle aufdehnen. Dann horizontaler Schnitt durch das dargestellte Ligamentum.



Schritt 4: Das Spekulum schließen und von der Seite in die Trachea einführen. Den Griff nach kaudal drehen, dann das Spekulum wieder öffnen.



Schritt 5: Den **Endotrachealtubus**, durch das Spekulum geführt, in die Trachea einführen. Dann das Spekulum entfernen. Blocken des Cuffs mit 10 ml.



8.4.2 Anleitung zur Koniotomie mit Seldinger-Technik

Koniotomie mittels Seldinger-Technik



Materialien (Melker Emergency Cricothyrotomy Set):

- 1) blockbarer Tubus
- 2) gebogener Dilatator
- 3) 2 Kanülen 18G, 5 cm/7 cm
- 4) Skalpell #15
- 5) Spritze 6 ml
- 6) Halsband zur Tubusfixierung
- 7) Seldingerdraht

Schritt 1: Identifikation des Ligamentum cricothyroideum, Fixierung mit Zeigefinger und Daumen der schwächeren Hand. **Hautschnitt** (ca. 2 cm) entlang des Ligamentums von kranial nach kaudal.



Schritt 2: Eine der **Kanülen** mit der Spritze verbinden und unter Aspiration durch den Einschnitt im Winkel von 45° nach kaudal vorschieben.



Schritt 3: Bei Luftaspiration die Spritze entfernen und den **Seldingerdraht** über die Kanüle in die Trachea einführen. Bei sicherer Lage des Drahts in der Trachea die Kanüle entfernen.



Schritt 4: Den **Tubus** mit Dilatator über den Seldingerdraht (diesen stets sichern!) in die Trachea vorschieben. Bei sicherer Lage des Tubus in der Trachea Seldingerdraht und Dilatator gemeinsam entfernen. Blocken des Cuffs mit 6 ml.



Quelle Bilder: Dr. Therese Canares, Dr. Jonathan Valente (Rhode Island Hospital, Brown University)

8.4.3 Anleitung zur Koniotomie mit Skalpell-Bougie-Technik

Koniotomie mittels Skalpell-Bougie-Technik



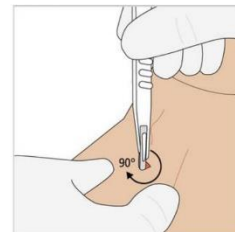
Materialien (SkalpelCric-Set):

- 1) Skalpell #10
- 2) 14 Fr Bougie (40 cm)
- 3) 6.0 mm blockbarer Tubus
- 4) Verbindungsschlauch mit Absaugöffnung
- 5) Spritze 10 ml
- 6) Halsband zur Tubusfixierung

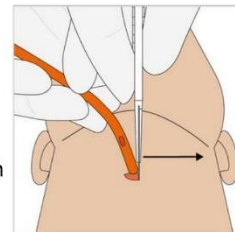
Schritt 1: Identifikation des Ligamentum cricothyroideum, Fixierung mit Zeigefinger und Daumen lateral. **Stichinzision** mithilfe des Skalpells vertikal zum Ligament.



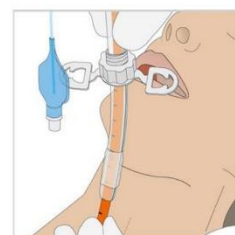
Schritt 2: **Drehung** des Skalpells mit der scharfen Seite um 90° nach kaudal.



Schritt 3: Das Skalpell mit der schwächeren Hand quer zum eigenen Körper ziehen. Dann den **Bougie** mit der starken Hand entlang des Skalpells einführen. Nach Eintritt in die Trachea die Spitze des Bougie nach kaudal drehen und etwa 10-15 cm vorschieben.



Schritt 4: Fixierung des Bougies mit der schwachen Hand. Den 6mm **Tubus** über den Bougie mit der stärkeren Hand in die Trachea einführen (ggf. Drehung hilfreich). Sobald der Cuff sicher in der Trachea liegt, diesen blocken und den Bougie entfernen.



Quelle Bilder: Fa. VBM Medizintechnik GmbH (Sulz, Deutschland)

8.5 CRF-Bögen der ScalpelCric-Studie

Klinik für Anästhesiologie
Verantwortliche Studienleitung:
Dr. med. Nicole Didion



ScalpelCric – Studie
CRF
Dokumentationsbogen

Anwendercharakteristika:

Name des Teilnehmers: _____

Datum: _____

Fallnummer: (Vergabe durch Studienleitung)

Beruf: Rettungssanitäter/Rettungsassistent/Notfallsanitäter:
RS RA NotSan
Assistenzarzt Anästhesie
Zusatzbezeichnung NFM
Facharzt Anästhesie
(Zusatzbezeichnung NFM und regelmäßig in NFM):
Facharzt Anästhesie (Zusatzbezeichnung NFM):
Medizinstudent:
(bei Mehrfachnennung bitte aktuelle Tätigkeit in 2. Spalte eintragen)

Berufserfahrung (Jahre): _____

Welche Koniotomie-Technik würden Sie im Notfall einsetzen:

(Freitext): _____

Kennen Sie die folgenden Techniken: Scalpel Bougie Technik
 Chirurgische Technik
 Seldinger Technik

Training am Koniotomiemodel: Scalpel Bougie Technik
 innerhalb der letzten 3 Monate 3-6 Monate 6-12 Monate > 1 Jahre
 Chirurgische Technik
 innerhalb der letzten 3 Monate 3-6 Monate 6-12 Monate > 1 Jahre
 Seldinger Technik
 innerhalb der letzten 3 Monate 3-6 Monate 6-12 Monate > 1 Jahre

Koniotomie - Erfahrung am Patient: Ja Nein

Scalpel Bougie Technik: Anzahl: _____ Erfolg: Ja Nein
 Chirurgische Technik: Anzahl: _____ Erfolg: Ja Nein
 Seldinger Technik: Anzahl: _____ Erfolg: Ja Nein

Einfluss von Training am Übungsphantom und an der Schweinetrachea auf Zeit zur
 Koniotomieindikationsstellung: Ja Nein

Zeit bis zur Entscheidung im Simulations-Szenario eine Koniotomie durchzuführen:
 _____ Sekunden

Einfluss von Training am Übungsphantom und an der Schweinetrachea auf Auswahl
 der Technik: Ja Nein

- Scalpel Bougie Technik
- Chirurgische Technik
- Seldinger Technik

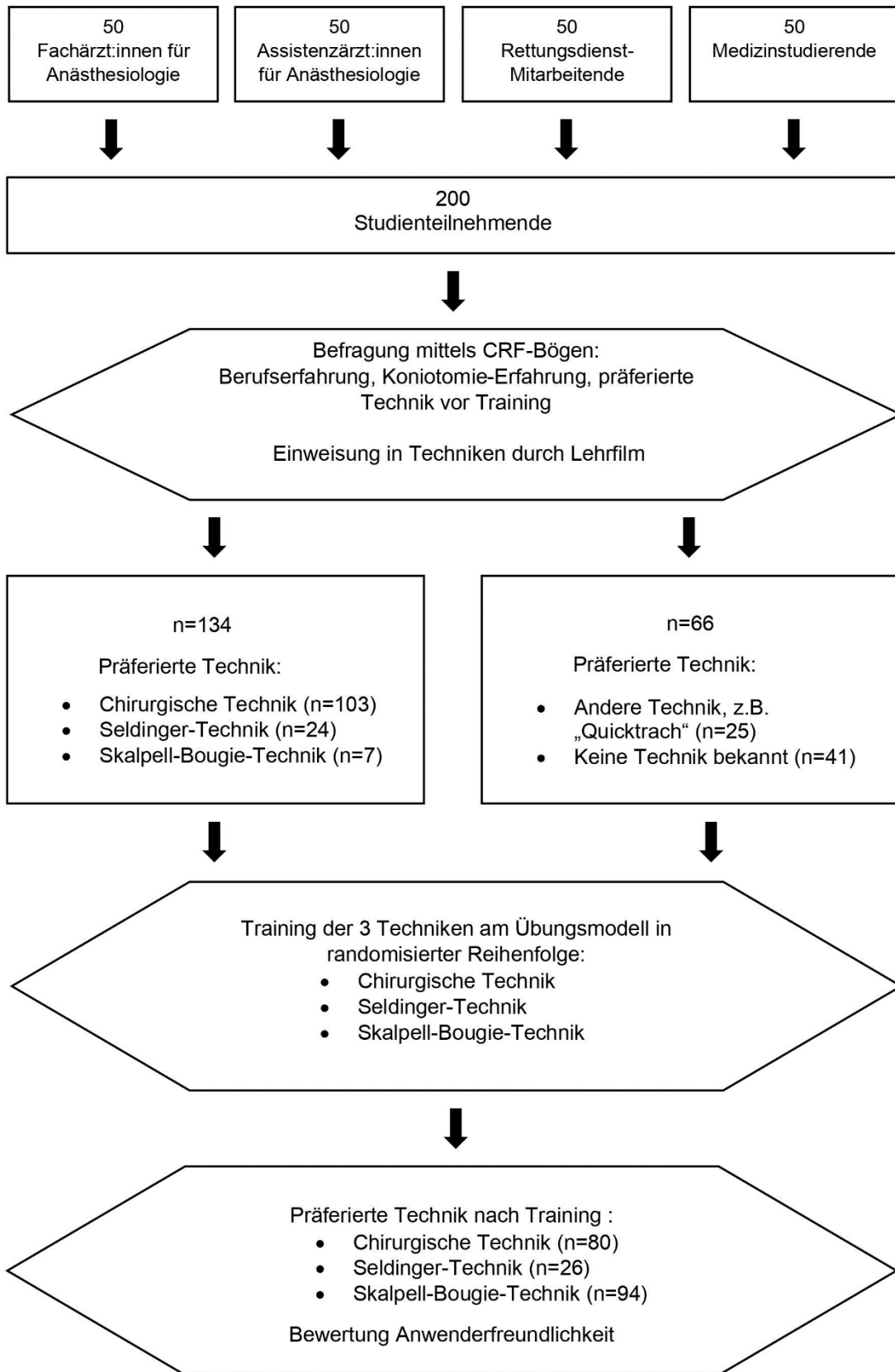
Zeiten und sekundäre Endpunkte - Übungsphantom - :

	ScalpelCric	Chirurgisch	Seldinger
Reihenfolge nach Randomisierung:			
Zeit bis Bougie in Trachea (in Sekunden) (gemessen von Berühren der Gerätschaften bis zur visuellen Kontrolle durch aScope)			
Zeit bis zur erfolgreichen Koniotomie (in Sekunden): (gemessen von Berühren der Gerätschaften bis zur visuellen Kontrolle durch aScope)			
Erfolg im 1. Versuch: Ja			
Nein			
Anzahl der Versuche:			
Versuch: 1) 2) 3) (Fehlerbeschreibung)			
Versuchsabbruch (nach 300s)	ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>
Anwenderfreundlichkeit 1= sehr einfach 2= einfach 3= schwierig 4= sehr schwierig	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>
Welche Technik würden Sie bevorzugt einsetzen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Korrekte Punktionsstelle? (Lig. cricothyroideum)	ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>
Tracheales Trauma (in mm):	horizontal: ___ mm vertikal: ___ mm	horizontal: ___ mm vertikal: ___ mm	horizontal: ___ mm vertikal: ___ mm

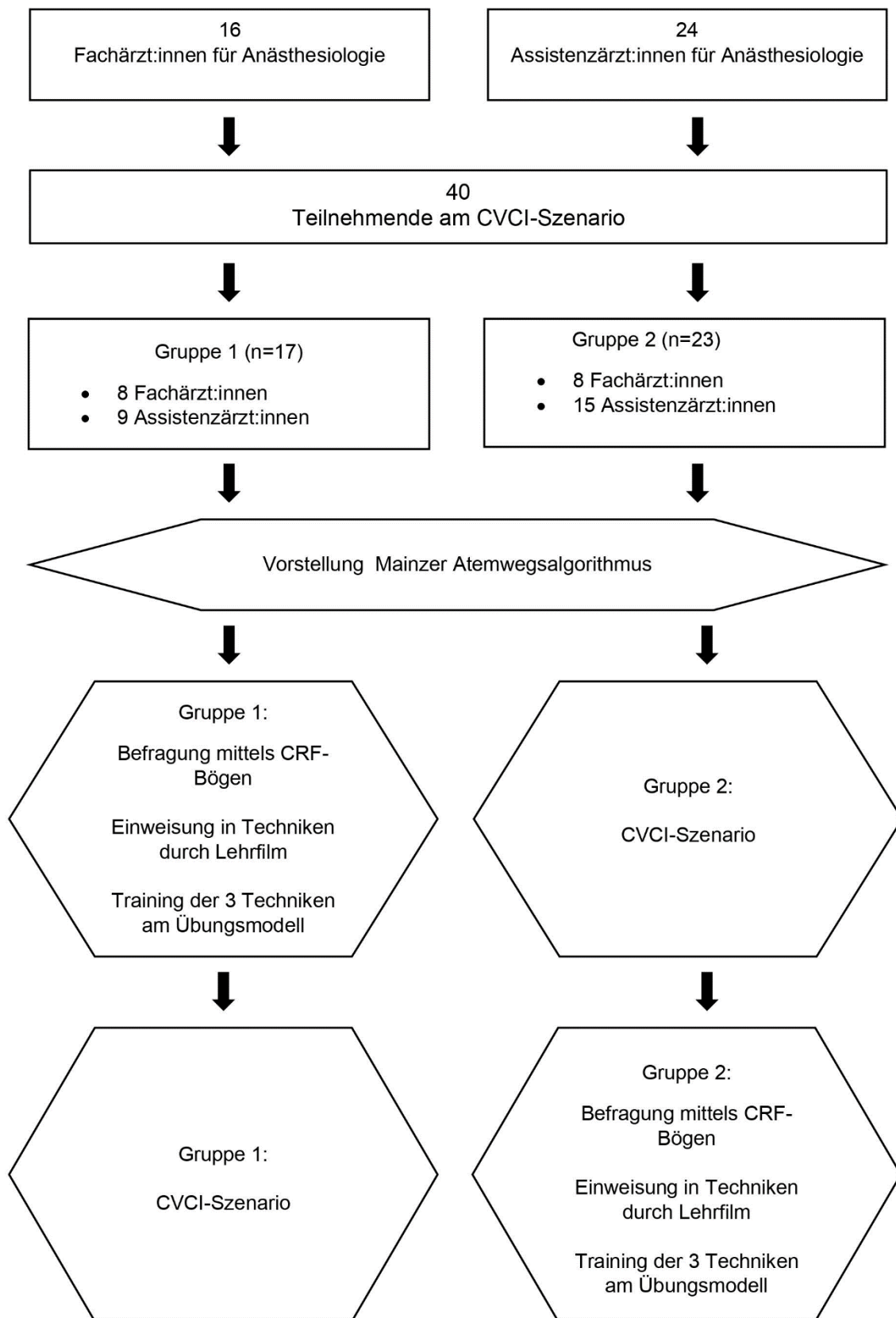
Zeiten und sekundäre Endpunkte - Schweinetrachea - :

	ScalpelCric	Chirurgisch
Reihenfolge nach Randomisierung:		
Zeit bis Bougie in Trachea (in Sekunden) (gemessen von Berühren der Gerätschaften bis zur visuellen Kontrolle durch aScope)		
Zeit bis zur erfolgreichen Koniotomie (in Sekunden): (gemessen von Berühren der Gerätschaften bis zur visuellen Kontrolle durch aScope)		
Erfolg im 1. Versuch:		
Ja		
Nein		
Anzahl der Versuche:		
Versuch: 1) 2) 3) (Fehlerbeschreibung)		
Versuchsabbruch (nach 300s)	ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>
Anwenderfreundlichkeit: 1= sehr einfach 2= einfach 3= schwierig 4= sehr schwierig	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>
Welche Technik würden Sie bevorzugt einsetzen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Korrekte Punktionsstelle? (Lig. cricothyroideum)	ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>

8.6 Flussdiagramm: Allgemeiner Studienablauf (mit präferierten Techniken)



8.7 Flussdiagramm: Ablauf CVCI-Szenario



9 Danksagung

Mit der Arbeit an der Studie, die Grundlage dieser Dissertation ist, habe ich bereits Ende 2018 begonnen und seitdem die Hilfe und Unterstützung vieler Personen erhalten, bei denen ich mich an dieser Stelle bedanken möchte.

Herrn Prof. Dr. med. Serge Thal danke ich sehr für die Möglichkeit, meine Promotion unter seiner Betreuung beginnen zu dürfen. Für die Übernahme der Betreuung meiner Promotion, die tolle Unterstützung sowie das Vorantreiben der Fertigstellung meiner Dissertation bin ich Frau Priv.-Doz. Dr. med. Eva-Verena Griemert sehr dankbar. Mein besonderer Dank gilt außerdem Frau Dr. med. Nicole Didion, unter deren Leitung die Studie durchgeführt wurde und auf deren volle Unterstützung ich mich im Rahmen der Studie sowie beim Verfassen meiner Dissertation stets verlassen konnte. Des Weiteren bedanke ich mich bei Herrn Priv.-Doz. Dr. med. Tobias Huber für die zügige Erstellung des Zweitgutachtens und bei Frau Prof. Dr. med. Engelhard für die Begleitung des wissenschaftlichen Kolloquiums.

Im Rahmen des Airway-Workshops („Los Wochos“) haben uns viele Kolleg:innen der Klinik für Anästhesiologie bei der Durchführung der Studie unterstützt. Allen Beteiligten möchte ich an dieser Stelle für ihre Hilfe danken. Besonders hervorheben möchte ich Frau Dr. med. Nina Pirlich, die den Kontakt zur Vermittlung des Dissertationsthemas hergestellt hat und auf deren Hilfe wir im Rahmen der Studiendurchführung immer zählen konnten. Zusätzlich danke ich Herrn Dr. med. Thomas Ott und Herrn Dr. med. Tim Demare, deren Unterstützung eine große Hilfe war. Gleichzeitig gilt mein Dank natürlich auch den vielen Proband:innen, die sich bereiterklärt haben, freiwillig an unserer Studie teilzunehmen.

Herrn Prof. Dr. Daniel Wollschläger vom IMBEI möchte ich für seine Beratung und Hilfe bei der statistischen Auswertung der gewonnenen Daten herzlich danken.

Meiner wundervollen Freundin Nina Held, die für mich in den letzten Jahren immer ein großer Rückhalt war, bin ich für Ihre vielen Ratschläge und Korrekturen sowie die Hilfe bei der Vorbereitung auf das wissenschaftliche Kolloquium sehr dankbar.

Ganz besonders danke ich schließlich meinen Eltern Regina und Gerhard Pohlmann. Auf Ihre Unterstützung in allen meinen Lebensbereichen, die mir meinen bisherigen Weg geebnet hat, konnte ich mich seit jeher immer verlassen. Ihre motivierende und fördernde aber stets auch verständnisvolle Art war für mich im Rahmen meines Studiums und auch bei der Erstellung dieser Dissertation immer eine wichtige Stütze.

Tabellarischer Lebenslauf

Name und Vorname: Fabian Pohlmann
Geburtsdatum: 06.06.1992
Geburtsort: Essen
Staatsangehörigkeit: Deutsch
Familienstand: Ledig

Schulischer Werdegang

1998-2002 Graf-Spee-Schule, Essen
2002-2011 Grashof Gymnasium, Essen
Allgemeine Hochschulreife am 02.07.2011

Ausbildung

2012-2014 Ausbildung zum Rettungsassistenten
Erlaubnis zur Führung der Berufsbezeichnung
„Rettungsassistent“ erhalten am 27.07.2014

Universitärer Werdegang

2014 Beginn des Studiums der Humanmedizin an der Johannes
Gutenberg-Universität Mainz am 01.10.2014
2016 Erster Abschnitt der Ärztlichen Prüfung am 31.08.2016
2020 Zweiter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung am 17.04.2020
2020-2021 Praktisches Jahr vom 18.05.2020 bis zum 18.04.2021
Anästhesie: Krankenhaus St. Marienwörth, Bad Kreuznach
Innere Medizin: St. Josefs-Hospital, Wiesbaden
Chirurgie: Krankenhaus St. Marienwörth, Bad Kreuznach
2021 Dritter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung am 11.05.2021
2021 Approbation erhalten am 13.07.2021

Beruflicher Werdegang

2016-2020 Studentische Aushilfe im St. Josefs-Hospital, Wiesbaden
OP Orthopädie, Projekt „learn and earn“
Seit 09/2021 Wissenschaftlicher Mitarbeiter / Assistenzarzt in der Klinik
für Anästhesiologie der Universitätsmedizin Mainz
(Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Christian Werner)