

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

Simulationsbasierte vergleichende Analyse der Anwendung eines etablierten Algorithmus zur
Behandlung des unerwartet schwierigen Atemweges in Notfallsituationen mit und ohne
Reanimation

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

Vorgelegt von

Jascha Stracke
aus Hagen-Hohenlimburg

Mainz, 2022

Wissenschaftlicher Vorstand:

1. Gutachterin:

2. Gutachter:

Tag der Promotion: 20. März 2023

Für meine Familie

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	III
1. Einleitung und Ziel der Dissertation	1
2. Literaturdiskussion	3
2.1 Die schwierige Atemwegssicherung	3
2.1.1 Definition der schwierigen Atemwegssicherung	3
2.1.2 Prädiktoren der schwierigen Atemwegssicherung	5
2.1.3 Erwartete und unerwartete schwierige Atemwegssicherung	7
2.1.3.1 Häufigkeit der unerwartet schwierigen Atemwegssicherung	7
2.1.3.2 Algorithmen zum Management der unerwartet schwierigen Atemwegssicherung	13
2.1.3.3 CICO-Situation	23
2.2 Kreislaufstillstand und kardiopulmonale Reanimation	29
2.2.1 Algorithmus zur kardiopulmonalen Reanimation	30
2.2.2 Atemwegssicherung unter kardiopulmonaler Reanimation	32
2.2.3 Besonderheiten des hypoxisch bedingten Kreislaufstillstandes	33
3. Material und Methoden	35
3.1 Ethikvotum	35
3.2 Stichprobe	35
3.3 Fragebogen	35
3.4 Studiendesign	36
3.5 Versuchsaufbau	37
3.5.1 Räumlichkeiten und Geräte	37
3.5.2 Innerklinischer Atemwegsalgorithmus	39
3.5.3 Verfügbare Atemwegshilfsmittel	39
3.5.4 Szenarien	40
3.5.4.1 Szenario im OP-Saal	40
3.5.4.2 Szenario im CT-Raum	41

4.2.4.2 Anzahl der genutzten Atemwegshilfsmittel vor der Koniotomie.....	65
4.2.4.3 Häufigkeit des Einsatzes verschiedener Atemwegshilfsmittel.....	65
4.2.4.4 Letztes genutztes Atemwegshilfsmittel vor der Koniotomie.....	66
4.2.4.5 Gewählte Methode zur Koniotomie.....	66
4.2.5 Weitere Maßnahmen zur Behandlung der CICO-Situation.....	67
4.2.5.1 Befolgung des Atemwegsalgorithmus.....	67
4.2.5.2 Einsatz einer Relaxierung.....	67
4.2.5.3 Anforderung von Hilfe.....	67
4.2.5.4 Kontrolle der Beatmungsschläuche.....	67
4.2.5.5 Überbrückende Beutel-Masken-Beatmung.....	67
4.2.5.6 Ergänzende Maßnahmen in den Szenarien mit und ohne CPR.....	68
5. Diskussion.....	69
5.1 Methodendiskussion.....	69
5.1.1 Rekrutierung und Probandenauswahl.....	69
5.1.2 Fragebogen.....	70
5.1.3 Studiendesign.....	71
5.1.3.1 Entscheidung für eine Simulationsstudie.....	71
5.1.3.2 Randomisiertes Crossover-Design.....	72
5.1.3.3 Auswahl des Patientensimulators.....	73
5.1.3.4 Theoretische und praktische Einführung vor Untersuchungsbeginn.....	74
5.1.3.5 Aufbau der Szenarien.....	75
5.2 Ergebnisdiskussion.....	78
5.2.1 Erhobene Zeiten zur Koniotomie.....	78
5.2.1.1 Zeit bis zur Ventilation mittels Koniotomie.....	78
5.2.1.2 Zeit bis zur Entscheidung zur Koniotomie.....	82
5.2.1.3 Zeit bis zum Beginn der Koniotomie.....	83
5.2.1.4 Dauer der Durchführung der Koniotomie.....	84
5.2.2 Einfluss von medizinischer Vorerfahrung und Koniotomiemethode.....	85
5.2.2.1 Einfluss der Erfahrung in der Anästhesiologie.....	85
5.2.2.2 Einfluss der Erfahrung mit Koniotomien am realen Patienten.....	87

5.2.2.3 Einfluss der gewählten Methode auf die Durchführungszeit der Koniotomie .	88
5.2.3 Anwendung des Atemwegsalgorithmus.....	90
6. Zusammenfassung	93
7. Literaturverzeichnis.....	94
8. Anhang	104
9. Danksagung.....	118
10. Tabellarischer Lebenslauf	119

Abkürzungsverzeichnis

AHA	American Heart Association
ALS	Advanced Life Support
ASA	American Society of Anesthesiologists
BMI	Body Mass Index
CI	Cannot Intubate
CICO	Cannot Intubate, Cannot Oxygenate
CICV	Cannot Intubate, Cannot Ventilate
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CPR	kardiopulmonale Reanimation
CT	Computertomographie
DAS	Difficult Airway Society
EGA	extraglottisches Atemweghilfsmittel
EKG	Elektrokardiogramm
ERC	European Resuscitation Council
ET	Endotrachealtubus
et al.	et alii / aliae / alia (lat. für „und andere“)
etCO ₂	endtidal gemessenes Kohlenstoffdioxid
HL	Hodges-Lehmann-Schätzer
HNO	Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde
HWS	Halswirbelsäule
ILCOR	International Liaison Committee on Resuscitation
ILMA	Intubationslarynxmaske
IQR	Interquartile Range (Interquartilsabstand)

KI	Konfidenzintervall
Lig.	Ligamentum
LMA	Larynxmaske
LT	Larynxtubus
mmHg	Millimeter Quecksilbersäule
NIBP	nicht-invasive Blutdruckmessung
PEA	pulslose elektrische Aktivität
PEEP	positiv endexpiratorischer Druck
Q1 bzw. Q3	1. Quartil bzw. 3. Quartil
ROSC	Return of Spontaneous Circulation
RSII	Rapid Sequence Induction and Intubation
s	Sekunden
SOP	Standard Operating Procedure
SpO ₂	pulsoxymetrisch gemessene Sauerstoffsättigung
VL	Videolaryngoskop
ZVK	zentraler Venenkatheter

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Algorithmus zur Behandlung des unerwartet schwierigen Atemwegs der American Society of Anesthesiologists [entnommen aus [10]]	16
Abbildung 2: Algorithmus zur Behandlung der unerwartet schwierigen endotrachealen Intubation der Difficult Airway Society [entnommen aus [3]]	18
Abbildung 3: Algorithmus zur Behandlung des unerwartet schwierigen Atemwegs der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin [entnommen aus [2]]	20
Abbildung 4: Innerklinischer Algorithmus der Klinik für Anästhesiologie der Universitätsmedizin Mainz zum Vorgehen bei fehlgeschlagener Sicherung des Atemwegs [entnommen aus [55]]	22
Abbildung 5: Verteilung der Erfahrung in der Anästhesiologie (in Jahren)	50
Abbildung 6: Favorisiertes Atemwegshilfsmittel	52
Abbildung 7: Zeit bis zur Ventilation mittels Koniotomie	55
Abbildung 8: Zeit bis zur Entscheidung zur Koniotomie	56
Abbildung 9: Zeit bis zum Beginn der Koniotomie	57
Abbildung 10: Dauer der Durchführung der Koniotomie	59
Abbildung 11: Zeit bis zur Ventilation in Abhängigkeit von der Erfahrung in der Anästhesiologie	60
Abbildung 12: Zeit bis zur Ventilation in Abhängigkeit von einer durchgeführten Koniotomie am realen Patienten	61
Abbildung 13: Zeit zur Durchführung der Koniotomie abhängig von der gewählten Methode	63
Abbildung 14: Erstes genutztes Atemwegshilfsmittel in Szenarien mit Reanimation	64
Abbildung 15: Erstes genutztes Atemwegshilfsmittel in Szenarien ohne Reanimation	65

1. Einleitung und Ziel der Dissertation

Ohne Sauerstoff existiert kein menschliches Leben. Schon wenige Minuten nach Unterbrechung der Sauerstoffversorgung besonders vulnerabler Gewebe wie Herz und Gehirn kommt es zu irreversiblen Schädigungen dieser Organe mit potenziell letalen Folgen. Die Wiederherstellung und Aufrechterhaltung der Sauerstoffaufnahme, sowie -distribution im Körper sind originäre Aufgaben der Anästhesiologie und der ihr zugeordneten Bereiche der Notfall- und Intensivmedizin. Zur Erfüllung dieser Aufgaben stellt die Sicherung der Atemwege und Beatmung eine unabdingbare Kernkompetenz dar, unabhängig davon, ob es sich um eine geplante Atemwegssicherung im Rahmen einer elektiven Operation oder um eine Notfallversorgung handelt. So werden täglich allein in Deutschlands Kliniken mehr als 40.000 Narkosen und Anästhesieleistungen erbracht [1], so dass von mehreren tausend Atemwegssicherungen pro Tag ausgegangen werden kann. Hierbei kann es zu unerwarteten Problemen kommen, die die geplante Vorgehensweise zur Sicherung der Atemwege und die Sauerstoffversorgung des Patienten erschweren oder sogar komplett unmöglich machen können. Die Maximalform dieser Komplikation stellt eine „Cannot Intubate, cannot oxygenate“-Situation (CICO)¹ dar, die inadäquat behandelt innerhalb kürzester Zeit zu bleibenden Schäden bis hin zum Tode führen kann. Zur Behandlung dieser Situation stehen zahlreiche Leitlinien und Algorithmen verschiedener internationaler Fachgesellschaften zur Verfügung, deren letzter Schritt in der Regel eine Koniotomie – anatomisch etwas unscharf umgangssprachlich als „Luftröhrenschnitt“ bezeichnet – zur Sicherung der Atemwege und der Sauerstoffversorgung darstellt [2, 3]. Glücklicherweise tritt diese schwerwiegende Komplikation selten auf. So wird beispielsweise in der deutschen Leitlinie zum Atemwegsmanagement eine Wahrscheinlichkeit von 1:13.000 bis 1:25.000 genannt [2], die jedoch abhängig von untersuchter Patientenpopulation, Behandlungsumfeld und weiteren Faktoren in anderen Publikationen deutlich abweicht. Da die Konfrontationsgefahr mit dieser Komplikation in der täglichen Praxis gering ist, aber gleichzeitig im Falle des Auftretens schnelles, adäquates und zielgerichtetes Handeln unerlässlich ist, sollten regelmäßige Trainings zur Behandlung der schwierigen Atemwegssicherung bis hin zur CICO-Situation stattfinden [4, 5]. Neben der Schulung der manuell-technischen Fertigkeiten spielen hierbei auch die nicht-technischen Fertigkeiten eine große Rolle, da durch eine verzögerte Behandlung des Patienten aufgrund von fehlendem Erkennen der Situation oder Problemen bei der Entscheidungsfindung das Ergebnis negativ beeinflusst werden kann [5].

¹ In älteren Publikationen wird anstelle des Terminus „CICO“ die Abkürzung „CICV“ („Cannot Intubate, cannot ventilate“) verwendet. In der vorliegenden Arbeit wird vornehmlich der Begriff „CICO“ verwendet, bei zitierten Publikationen jedoch die dort verwendete Abkürzung „CICV“ synonym übernommen, da trotz eines klinischen Unterschiedes der erfassten Problematik beide Termini auf die gleiche notwendige Lösungsstrategie abzielen.

Neben der gestörten Sauerstoffaufnahme in den Körper kann auch eine Störung des Sauerstofftransportes zu den Zellen zum Untergang von Gewebe bis hin zum Versterben des Patienten führen. Die massivste Ausprägung dieser Transportstörung stellt der Kreislaufstillstand dar, der innerhalb weniger Sekunden zur Bewusstlosigkeit und unbehandelt nach wenigen Minuten zu irreversiblen Schäden des Gehirns führt [6]. Die Behandlung dieses „reversiblen klinischen Todes“ erfolgt durch die kardiopulmonale Reanimation (CPR) mittels Thoraxkompressionen und Beatmung [6]. Hierzu werden in regelmäßigen Abständen aktualisierte Leitlinien mit integrierten Handlungsalgorithmen internationaler Fachgesellschaften veröffentlicht [7, 8]. In Deutschland finden zumeist die Leitlinien des European Resuscitation Council (ERC) und der American Heart Association (AHA) Anwendung. Im Rahmen der Behandlung des Kreislaufstillstands nach diesen Algorithmen werden potenziell reversible Ursachen abgefragt, zu denen unter anderem die Hypoxie, also der Sauerstoffmangel im Körper, zählt. Um diesen zu beheben, sind die Gabe von Sauerstoff sowie die Atemwegssicherung und Beatmung notwendig. Hierbei kann es in seltenen Fällen, wie eingangs beschrieben, zu schwerwiegenden Problemen bis hin zur Notwendigkeit einer Koniotomie kommen.

Aus der Kombination dieser beiden Notfallsituationen ergibt sich die Fragestellung der vorliegenden Arbeit. Inwiefern wird der zeitliche Ablauf der Behandlung einer CICO-Situation durch erfahrenes Personal beeinflusst, wenn der Patient gleichzeitig reanimationspflichtig ist und somit zwei unterschiedliche Algorithmen parallel befolgt werden müssen?

Um einerseits ein randomisiertes und kontrolliertes Studiendesign zu ermöglichen und andererseits die Patientensicherheit nicht zu gefährden, wurde die Untersuchung an einem Patientensimulator durchgeführt. Jeder Proband durchlief zwei Simulationsszenarien, in denen sich der Patient mit einer CICO-Situation präsentierte und die Notwendigkeit zur Koniotomie bestand. In einem Szenario lag parallel ein Kreislaufstillstand mit der Indikation zur CPR vor, im anderen Szenario handelte es sich um einen Patienten mit kompromittiertem, aber noch vorhandenem Kreislauf. Die primäre Fragestellung untersuchte die insgesamt benötigte Zeit bis zur ersten Ventilation nach Koniotomie zwischen den Fällen mit und ohne parallele CPR. Als sekundäre Fragestellungen wurde diese Gesamtzeit in Unterabschnitte unterteilt, die jeweils einzeln im Hinblick auf Unterschiede zwischen den Gruppen mit und ohne CPR betrachtet wurden. Ergänzend wurden in der Subgruppe der zuerst durch die Probanden absolvierten Simulationsszenarien noch drei weitere Fragen behandelt. Einerseits wurde untersucht, ob die Erfahrung des Anästhesisten oder eine bereits am realen Patienten durchgeführte Koniotomie Einfluss auf die Zeiten bis zur erfolgreichen Ventilation nach Koniotomie hatten, andererseits wurde untersucht, ob das gewählte Verfahren der Koniotomie die Durchführungszeit der Maßnahme selbst beeinflusst.

2. Literaturdiskussion

2.1 Die schwierige Atemwegssicherung

Die Notwendigkeit, die Atemwege eines Patienten zu sichern, kann sich aus unterschiedlichsten Gründen ergeben. Im Rahmen von elektiven Operationen, die in Allgemeinanästhesie durchgeführt werden, wird bei fehlenden Kontraindikationen nach der Narkoseinduktion zuerst eine Beutel-Masken-Beatmung durchgeführt. Die definitive Atemwegssicherung erfolgt in der Regel durch eine endotracheale Intubation, alternativ kann abhängig von Patientencharakteristika und weiteren Faktoren stattdessen die primäre Atemwegssicherung mit Hilfe einer extraglottischen Atemwegshilfe (EGA) vorgenommen werden. In Notfallsituationen, in denen u.a. das Aspirationsrisiko häufig erhöht ist, wird zugunsten einer schnelleren Sicherung der Atemwege auf die initiale Beutel-Masken-Beatmung verzichtet und eine sogenannte Rapid Sequence Induction and Intubation (RSII) mit zügiger endotrachealer Intubation vorgenommen.

Bei jeglichen geplanten und notfallmäßigen Interventionen an den Atemwegen und Versuchen der Beatmung kann es zu Schwierigkeiten kommen, die in den folgenden Unterkapiteln genauer beschrieben werden.

2.1.1 Definition der schwierigen Atemwegssicherung

Ein schwieriger Atemweg stellt eine potenziell lebensbedrohliche Situation dar und ist eine der relevantesten Komplikationen in der Anästhesiologie und Notfallmedizin. Bezüglich einer Definition des schwierigen Atemwegs bzw. der schwierigen Atemwegssicherung herrscht in der internationalen Literatur allerdings kein Konsens. Im Folgenden werden daher die Herangehensweisen der deutschen, britischen und amerikanischen Leitlinien zum schwierigen Atemwegsmanagement hinsichtlich einer Definition gegenübergestellt, da diese für den deutschsprachigen Raum die größte Relevanz haben. Die kanadische Leitlinie zum Management des schwierigen Atemwegs ist sehr detailliert und relevant, so dass auch diese dargestellt wird. Und um ein vollständigeres Bild der Situation weltweit zu ermöglichen, wird kurz auf weitere Leitlinien aus Europa und Asien eingegangen.

In der „S1 Leitlinie Atemwegsmanagement“ von 2015 definieren Piepho et al. den schwierigen Atemweg als Zusammenfassung von Problemen, die während der Atemwegssicherung auftreten können. Unterteilt werden diese in die beiden Techniken „Maskenbeatmung“ und „Intubation mithilfe der direkten Laryngoskopie“. Die Maskenbeatmung kann aufgrund eines oder mehrerer Probleme wie massive Leckage, Undichtigkeit oder Widerstand während der Beatmung insuffizient oder sogar unmöglich sein. Zusätzlich werden auch Schwierigkeiten bei der Verwendung von extraglottischen Atemwegshilfsmitteln (EGA) zu diesem Themenkomplex

gezählt. Zu Problemen bei der „Intubation mithilfe der direkten Laryngoskopie“ wird eine schwierige Laryngoskopie (Unmöglichkeit die Glottis mithilfe der direkten Laryngoskopie zu visualisieren), sowie eine schwierige endotracheale Intubation gezählt, sofern mehrere Intubationsversuche notwendig sind [2].

Die britische Difficult Airway Society (DAS) des Royal College of Anaesthetists verzichtet hingegen sowohl in ihren Leitlinien von 2004 als auch in der aktualisierten Fassung von 2015 auf eine klare Definition der schwierigen Atemwegssicherung und nennt als Anwendungsgebiet für ihre Leitlinie „Schwierigkeiten bei der endotrachealen Intubation, wenn der Larynx mittels konventioneller direkter Laryngoskopie nicht eingesehen werden kann“. Ergänzend wird die trotz adäquater Visualisierung des Larynx vorkommende Unmöglichkeit der Tubusplatzierung erwähnt [3, 9].

Die American Society of Anesthesiologists (ASA) Task Force on Management of the Difficult Airway stellt in ihrer aktualisierten Leitlinie von 2013 ebenfalls fest, dass „eine standardisierte Definition des schwierigen Atemwegs in der verfügbaren Literatur nicht identifiziert werden kann“. Für ihre Leitlinie definieren sie den schwierigen Atemweg als „Situation, in der ein durchschnittlich trainierter Anästhesist Schwierigkeiten bei der Maskenbeatmung des oberen Atemwegs, Schwierigkeiten bei der endotrachealen Intubation oder bei beidem“ erfährt [10].

Auch in den aktuellen japanischen Leitlinien zum Atemwegsmanagement wird auf eine Definition des schwierigen Atemwegs verzichtet [11], während in aktuellen Leitlinien aus Indien und Frankreich nur auf eine schwierige Intubation fokussiert wird [12, 13].

Die Canadian Airway Focus Group propagiert eine umfassendere Definition und beschreibt den schwierigen Atemweg als eine Situation, in der „ein erfahrener Anwender Schwierigkeiten mit einer oder allen der folgenden Maßnahmen antizipiert oder vorfindet: Maskenbeatmung, direkte oder indirekte Laryngoskopie, endotracheale Intubation, Nutzung eines EGA oder chirurgischer Atemweg“ [14].

Zusammenfassend lässt sich konstatieren, dass alle aktuellen Leitlinien zur schwierigen Atemwegssicherung, sofern sie eine Definition des Terminus liefern, hierunter Schwierigkeiten bei der direkten Laryngoskopie und der endotrachealen Intubation verstehen. Teilweise wird diese Definition um Schwierigkeiten bei der Maskenbeatmung oder der Nutzung weiterer Atemwegshilfsmittel erweitert.

Unabhängig von der Variabilität der Definitionen ist unbestritten, dass „Atemwegsmanagement während einer Anästhesie mit schwerwiegenden Komplikationen verbunden ist“ [15] und eine schwierige Atemwegssicherung das Risiko für unerwünschte Ereignisse wie „Tod, Hirnschädigung, Herz-Kreislaufstillstand, unnötiger Tracheotomie, Atemwegsverletzungen und Zahnschäden“ erhöht [10].

2.1.2 Prädiktoren der schwierigen Atemwegssicherung

Um die Gefahr von schwerwiegenden Atemwegskomplikationen zu verringern und eine potenziell schwierige Atemwegssicherung zu antizipieren, wurden über die vergangenen Jahrzehnte verschiedene Untersuchungsmethoden erprobt und etabliert. Hierzu zählen verbreitete und einfach durchzuführende Methoden wie die Mallampati-Klassifikation, bei der die Sichtbarkeit von Uvula und Gaumensegeln bei weit geöffnetem Mund und herausgestreckter Zunge in drei Grade unterteilt wird und als Hinweis auf potentielle Intubationsschwierigkeiten dient [16]. Die heute genutzte Klassifikation enthält vier Grade der Sichtbarkeit und beruht auf einer Modifikation durch Samsoun et al. [17].

Ein Beispiel für eine weniger verbreitete und nur für die Subgruppe der an Diabetes mellitus erkrankten Patienten verwertbare Untersuchungsmethode stellt der „Palm Print Test“ dar [18]. Aufgrund eines langjährigen Diabetes mellitus kann es durch Glykosylierung von Gewebeproteinen zu einer eingeschränkten Gelenkmobilität kommen. Diese zeigt sich unter anderem durch die Unfähigkeit der Patienten, die Handflächen aneinanderzulegen. Gleichzeitig können zervikale und laryngeale Strukturen mitbetroffen sein. Aus diesem Zusammenhang leiten Reissell et al. die Aussage ab, dass durch die Untersuchung des Handabdruckes eines an Diabetes mellitus erkrankten Patienten eine Vorhersage auf eine potenziell schwierige Intubation getroffen werden kann. Der Handabdruck auf Papier wird hierzu auf einer Skala von 0 (alle Phalangen sichtbar) bis 3 (nur Fingerspitzen sichtbar) beurteilt und mit dem Schwierigkeitsgrad der endotrachealen Intubation in Relation gesetzt. Verschiedene Studien attestieren dieser Untersuchungsmethode die höchste Sensitivität und Spezifität zur Prädiktion einer schwierigen Intubation bei Patienten mit Diabetes mellitus [19] [20]. Allerdings können auch für diese Methode sowohl Sensitivität als auch Spezifität durch die Kombination mit weiteren Tests erhöht werden [21].

Allen auf die Allgemeinbevölkerung anwendbaren Untersuchungsmethoden ist gemein, dass sie für sich allein genommen keine ausreichend hohe Sensitivität und Spezifität zur Prädiktion einer schwierigen Atemwegssicherung bieten [22, 23]. Jedoch steigt durch die Kombination mehrerer Prädiktoren der positive und auch negative prädiktive Wert der Untersuchung, wie verschiedene Studien zeigen [24-26]. Der hieraus resultierende Ansatz, aus mehreren kombinierten Prädiktoren einer schwierigen Atemwegssicherung einen validen und in der klinischen Praxis umsetzbaren Risikoscore zu generieren, wurde in mehreren Studien verfolgt [26-29]. Eine eindeutige Empfehlung in den Leitlinien oder eine weite Verbreitung im klinischen Alltag hat aber keiner der kombinierten Risikoscores als Einzelmaßnahme zur Vorhersage der schwierigen Atemwegssicherung erfahren [10, 30]. Vielmehr wird auf die Notwendigkeit einer umfassenden Anamnese bezüglich vorheriger Intubationsnarkosen sowie die Anatomie der

Atemwege beeinträchtigender Vorerkrankungen wie z.B. Tumorleiden im Kopf- und Halsbereich hingewiesen. Gerade eine dokumentierte schwierige Intubation in der Vorgeschichte ist ein wichtiger Parameter zur Identifikation einer möglichen schwierigen Atemwegssicherung [31]. Ergänzend soll eine körperliche Untersuchung der Atemwege - soweit diese zugänglich sind – erfolgen, die durch unterschiedliche Screeningtests wie etwa die Erhebung der Mallampati-Klassifikation oder die Bestimmung des thyromentalen Abstandes komplettiert wird [10, 30].

Erschwerend für eine valide Prädiktion kommt hinzu, dass viele Untersuchungen zur Vorhersage einer schwierigen Atemwegssicherung einzig auf die schwierige Intubation fokussieren. Die Maskenbeatmung, die als Rückfallebene bei einer schwierigen Intubation dient, und ebenfalls durch zahlreiche Faktoren erschwert sein kann, bleibt oft unberücksichtigt. Da Prädiktoren für schwierige Maskenbeatmung und schwierige Intubation nicht vollständig übereinstimmen, ist zumindest eine gemeinsame Betrachtung beider Faktoren, besser noch eine differenzierte Betrachtung beider Faktoren unabhängig voneinander wünschenswert [32]. In ihrer Untersuchung stellen Kheterpal et al. einen Vorhersagescore für die Kombination einer schwierigen Intubation mit einer schwierigen Maskenbeatmung vor. Dieser beinhaltet zwölf Faktoren, die eine Vorhersage ermöglichen und zu einem gewichteten oder ungewichteten Score summiert werden können. Aber auch dieser Score hat bisher keine Verbreitung in der klinischen Praxis erfahren.

Auch die aktuellen deutschsprachigen Leitlinien empfehlen daher, dass „aufgrund der limitierten Aussagekraft von einzelnen Testverfahren [...] die Atemwege auf Symptome und Prädiktoren untersucht werden, die auf eine schwierige oder unmögliche direkte Laryngoskopie oder Intubation hinweisen. Diese Prädiktoren können durch eine Screening-Untersuchung ergänzt werden.“ [2] Im Folgenden werden dort sowohl körperliche Untersuchungsbefunde als auch Ergebnisse von Screening-Tests wie der Mallampati-Klassifikation, in tabellarischer Form dargestellt, in Bezug zu einer schwierigen Maskenbeatmung und einer schwierigen direkten Laryngoskopie gesetzt [2].

Somit stehen zwar uneinheitliche, aber vielfältige Hilfestellungen und Maßnahmen zur Verfügung, die das Erkennen von drohenden Problemen im Rahmen der Atemwegssicherung vor Beginn der Intervention ermöglichen sollen. Trotzdem kommt es im klinischen Alltag weiterhin zu Fällen einer unerwartet schwierigen Atemwegssicherung. Dies trifft insbesondere auf Notfallsituationen zu, in denen im Vorfeld keine ausreichende Möglichkeit der Atemwegevaluation bestand.

2.1.3 Erwartete und unerwartete schwierige Atemwegssicherung

Anhand der im vorherigen Kapitel beschriebenen Befunde und Tests kann in vielen Fällen eine schwierige Atemwegssicherung antizipiert werden, es handelt sich also um eine erwartete schwierige Atemwegssicherung. Die S1-Leitlinie der DGAI bietet für diese Situation einen einfachen und stringenten Algorithmus. Als grundlegende Maßnahme, wann immer aus operativer Sicht umsetzbar, wird eine Regionalanästhesie empfohlen. So kann die Notwendigkeit der Atemwegssicherung mit hoher Wahrscheinlichkeit vollständig umgangen werden. Trotzdem sollte eine Strategie für eine ungeplant notwendig werdende Atemwegssicherung vorliegen. Ist ein regionales Anästhesieverfahren nicht geeignet oder wird vom Patienten abgelehnt, so soll die definitive Atemwegssicherung unter Erhalt der Spontanatmung erfolgen. Topische Anästhesie und Analgosedierung können dieses Verfahren unterstützen. Piepho et al. empfehlen hierzu die flexible Intubationsendoskopie als Methode der 1. Wahl, bieten aber auch Alternativen an [2]. Die Leitlinie der ASA erwähnt ebenfalls die wache Intubation als zu erwägende Maßnahme bei erwartet schwieriger Atemwegssicherung, legt den Fokus aber mehr auf das Vorhalten einer oder mehrerer Alternativstrategien für das geplante Vorgehen [10]. Die Difficult Airway Society widmet der wachen endotrachealen Intubation eine eigene Leitlinie, in der neben der Nutzung der flexiblen Intubationsendoskopie die Videolaryngoskopie als gleichwertig empfohlen wird [33]. Auch die Canadian Airway Focus Group veröffentlichte bereits 2013 Empfehlungen für das Vorgehen bei erwartet schwierigem Atemweg, in denen analog zur deutschen Leitlinie als erster Schritt eine Operation in Regionalanästhesie für Patienten mit erwartet schwierigem Atemweg propagiert wird [34]. Sofern dies nicht möglich ist, bietet die kanadische Leitlinie mehrere Optionen inklusive der wachen Atemwegssicherung sowie der Atemwegssicherung unter Narkose mit und ohne erhaltener Spontanatmung an. Die Wahl wird von den Erfolgsaussichten des geplanten Vorgehens abhängig gemacht. Zusammenfassend lässt sich auch hier, wie bereits in der Definition des schwierigen Atemwegs, kein einheitlicher internationaler Konsens feststellen. Allen Empfehlungen gemein ist jedoch die Vorausplanung mit potenziellen Alternativverfahren bei Scheitern des initialen Planes unter Wahrung der größtmöglichen Patientensicherheit. Diese Möglichkeit der Vorausplanung ist bei einer unerwartet schwierigen Atemwegssicherung nicht gegeben, so dass es sich immer um einen Notfall handelt, der mit einer möglichen Patientengefährdung einhergeht und im ungünstigsten Fall zu bleibender Schädigung oder Tod des Patienten führt. Auf diese Situation wird in den folgenden Kapiteln ausführlich eingegangen.

2.1.3.1 Häufigkeit der unerwartet schwierigen Atemwegssicherung

Wie bereits in Kapitel 2.1.1 erörtert, existiert keine international einheitliche Definition der schwierigen Atemwegssicherung. Stattdessen wählen die verschiedenen Leitlinien und Studien unterschiedlich umfangreiche und differenzierte Definitionen. Erschwerend kommen

„mögliche interindividuelle Unterschiede der praktischen Fähigkeiten“ hinzu, die sogar bei der Untersuchung desselben Patientenkollektivs durch verschiedene Untersucher zu divergierenden Ergebnissen führen können [2]. Auch die Tatsache, dass in bestimmten Patientengruppen, beispielsweise bei Schwangeren, das Vorkommen eines schwierigen Atemwegs häufiger als in der Allgemeinbevölkerung ist, darf hierbei nicht unbeachtet bleiben [35]. Daher soll auch in diesem Kapitel analog zur deutschen S1-Leitlinie zum Atemwegsmanagement vorgegangen werden, die für die schwierige Atemwegssicherung keine konkreten Zahlen nennt. Stattdessen werden Inzidenzen für die verschiedenen Unterkategorien wie die schwierige Maskenbeatmung oder die schwierige direkte Laryngoskopie angegeben [2]. Mit Ausnahme der kanadischen Leitlinie zum Management des schwierigen Atemwegs verzichteten die übrigen, in Kapitel 2.1.1 zitierten, internationalen Leitlinien vollständig auf die Angabe von Inzidenzen.

Bereits im Jahr 2000 untersuchten Langeron und Kollegen Inzidenz und Prädiktoren für eine schwierige Maskenbeatmung an einem Kollektiv von 1502 Patienten [36]. Die schwierige Maskenbeatmung wurde anhand von sechs möglichen Faktoren, wie beispielsweise der Notwendigkeit einer beidhändigen Maskenbeatmung, definiert. Es resultierte eine Inzidenz von 5% (75/1502 Patienten) für die schwierige Maskenbeatmung, in einem Fall wurde eine unmögliche Maskenbeatmung festgestellt. Ergänzend wurde eine schwierige oder unmögliche Intubation erfasst, die jeweils bei Patienten mit vorangegangener schwieriger Maskenbeatmung signifikant häufiger auftrat als im Gesamtkollektiv.

Kheterpal und Kollegen führten eine prospektive Observationsstudie an 22.600 Patienten innerhalb eines Zeitraums von zwei Jahren durch, in der ebenfalls Inzidenz und Prädiktoren der schwierigen oder unmöglichen Maskenbeatmung untersucht wurden [37]. Die Einteilung erfolgte anhand einer vierstufigen Skala, bei der Stufe 3 eine schwierige und Stufe 4 eine unmögliche Maskenbeatmung charakterisierte. Es wurde ein Auftreten von 313 Fällen (1,4%) einer schwierigen und 37 Fällen (0,16%) einer unmöglichen Maskenbeatmung berichtet. Zudem wurden 84 Fälle (0,37%) einer schwierigen oder unmöglichen Maskenbeatmung in Kombination mit einer schwierigen Intubation erfasst. Die Tatsache, dass die Verwendung eines oropharyngealen Hilfsmittels nicht zur Klassifikation als schwierige Maskenbeatmung führte, kann eine von mehreren möglichen Erklärungen für den deutlichen Unterschied der berichteten Inzidenzen im Vergleich zur Studie von Langeron et al. bieten. In einer Folgestudie aus dem Jahr 2009 untersuchten Kheterpal et al. die Inzidenz der unmöglichen Maskenbeatmung an 53.041 Patienten. Es resultierte eine beinahe identische Inzidenz zur vorherigen Untersuchung von 0,15% (77/53.041 Patienten). Zudem war im Falle einer unmöglichen Maskenbeatmung zusätzlich das Risiko für eine schwierige Intubation erhöht [38]. Hierauf folgte vom selben Erstautor 2013 eine Untersuchung zu Inzidenz und Prädiktoren von schwieriger Maskenbeatmung in Kombination mit schwieriger Laryngoskopie [32]. Es

wurden 176.679 Fälle aus vier Kliniken untersucht, wobei die Kombination von schwieriger Maskenbeatmung und Laryngoskopie in 698 Fällen (0,4%) auftrat.

Die Leitlinie der DGAI schätzt die Häufigkeit des Vorkommens einer schwierigen Maskenbeatmung unter Bezug auf einige der oben genannten Studien auf etwa 2% in einem unselektierten Kollektiv von Elektivpatienten, während die Inzidenz der unmöglichen Maskenbeatmung auf 0,15% geschätzt wird [2]. Die kanadische Leitlinie hingegen nennt für den OP-Saal Häufigkeiten zwischen 0,8 bis 7,8% für die schwierige und 0,01 – 0,15% für die unmögliche Maskenbeatmung [14].

Zu Schwierigkeiten bei der Verwendung einer extraglottischen Atemwegshilfe liegen weniger Untersuchungen mit hohen Patientenzahlen vor. Saito et al. untersuchten die Nutzung von extraglottischen Atemwegshilfen im Rahmen einer Allgemeinanästhesie zur primären Atemwegssicherung in einer unizentrischen retrospektiven Analyse von 14480 Patienten [39]. Die Studie erstreckte sich über einen Zeitraum von zweieinhalb Jahren und fand in einem Krankenhaus der Maximalversorgung in Südostasien statt. Es wurden Larynxmasken verschiedener Hersteller genutzt, Larynxtuben kamen nicht zum Einsatz. Die Untersucher registrierten eine Inzidenz von 0,5% für eine initial schwierige Ventilation mittels EGA und von 0,2% für eine gescheiterte Platzierung der EGA. Von 74 Patienten, bei denen die initiale Ventilation mittels EGA schwierig war, konnte bei 58% (43 Patienten) die Ventilation unter anderem durch Optimierung der Kopfposition oder Wechsel von Größe oder Hersteller der Larynxmaske sichergestellt werden, während 42% (31 Patienten) eine endotracheale Intubation benötigten. In einer Untersuchung von 15.795 Patienten im Hinblick auf das Versagen der Larynxmaske eines spezifischen Herstellers zur Atemwegssicherung berichteten Ramachandran et al. eine Inzidenz von 1,1% [40]. In der Einleitung der Studie wird mit Bezug zu älteren Untersuchungen von deutlich kleineren Patientenpopulationen sogar eine Inzidenz unerwünschter Ereignisse bei der Anwendung verschiedener Larynxmasken zwischen 0,15 und 7% angegeben. Die deutsche Leitlinie nennt zur schwierigen Anwendung extraglottischer Atemwegshilfen keine Zahlen, während die kanadische Leitlinie die Häufigkeit der schwierigen oder gescheiterten Beatmung mittels extraglottischer Atemwegshilfe im OP-Saal mit 0 – 1,1% angibt [14].

Zum Vorkommen der schwierigen Laryngoskopie und schwierigen Intubation gibt es die umfassendste Datenlage in der internationalen Literatur. Im folgenden Abschnitt sollen daher in chronologischer Reihenfolge einige Untersuchungen exemplarisch dargelegt werden. Adnet et al. beurteilten im Jahr 2001 in einem Kollektiv von 1171 Patienten Schwierigkeiten mit der Laryngoskopie und der Intubation mittels eines vorher entworfenen „Intubation Difficulty Score“ (IDS), der verschiedene subjektive und objektive Parameter wie die notwendige Anzahl an Intubationsversuchen, die anzuwendende Kraft und die Sichtbarkeit der Stimmbandebene

nach Cormack und Lehane umfasste [41]. Über einen Zeitraum von sechs Monaten wurden alle Intubationen von acht Anästhesisten nach einer standardisierten intravenösen Narkoseinduktion retrospektiv mittels eines Fragebogens evaluiert. Es ergaben sich ideale Intubationsbedingungen in 55% der Fälle, während in 37% der Intubationsversuche leichtere Schwierigkeiten auftraten. Ein Score > 5 Punkte, der laut den Autoren moderate bis schwerwiegende Probleme bei der Intubation anzeigt, wurde in 7,7% der Fälle angegeben. Die Inzidenz der schwierigen direkten Laryngoskopie, definiert als Nutzung von zwei oder drei alternativen Intubationstechniken, lag mit 9% noch etwas höher. In einer monozentrischen Untersuchung von 11.257 Intubationen fanden Combes et al. im Jahr 2004 eine Inzidenz des schwierigen Atemwegs von 0,9% [42]. Zur Evaluation eines Algorithmus zur Behandlung des schwierigen Atemwegs waren in dieser Studie 41 Anästhesisten über zwei Monate in der Handhabung verschiedener Hilfsmittel geschult worden. Im Anschluss wurden über 18 Monate alle Patienten, die sich einer elektiven Operation unterzogen, eingeschlossen. Hierbei kam es in 100 Fällen zu einer schwierigen Intubation, definiert als gescheiterte endotracheale Intubation nach zwei Versuchen durch einen Facharzt unter optimalen Bedingungen. Von diesen 100 Patienten boten sechs Patienten zusätzlich eine schwierige Maskenbeatmung. Das Fehlen einer geburtshilflichen Abteilung an der untersuchenden Klinik kann eine mögliche Erklärung für die vergleichsweise niedrige Inzidenz der schwierigen Intubation bieten. Shiga et al. untersuchten 2005 in einer Meta-Analyse aus 35 Studien an insgesamt 50.760 Patienten den Nutzen verschiedener Screeningtests zur Prädiktion der schwierigen Intubation [25]. Unter Verwendung der Definition der schwierigen Intubation als ein Grad 3 oder 4 nach Cormack und Lehane im Rahmen der direkten Laryngoskopie resultierte eine Inzidenz der schwierigen Intubation von 5,8% über das gesamte Kollektiv. Lundstrøm et al. untersuchten in einer Metaanalyse, in der 55 Studien mit insgesamt 177.088 Patienten eingeschlossen wurden, den prognostischen Wert des modifizierten Mallampati-Scores zur Vorhersage einer schwierigen endotrachealen Intubation [22]. Zwischen schwieriger Laryngoskopie und schwieriger Intubation wurde nicht unterschieden und als Definition ein Cormack und Lehane-Score von 3 oder 4 oder ein modifizierter Cormack und Lehane-Score von 2b, 3 oder 4 angewandt. Hierbei ergab sich für die Gesamtheit der Patienten eine Inzidenz der schwierigen endotrachealen Intubation von 6,8%. Limitierend geben die Autoren aber bereits in der Diskussion die große Heterogenität der Studienbedingungen und Patientenpopulationen an. In einer anderen Studie untersuchten Heinrich et al. retrospektiv über einen Zeitraum von sechs Jahren die Datensätze von 102.306 Patienten, für die eine direkte Laryngoskopie im Rahmen einer Allgemeinanästhesie dokumentiert war [43]. Die Inzidenz der schwierigen Laryngoskopie, definiert als ein Grad 3 oder 4 der Klassifikation nach Cormack und Lehane, lag bei 4,9%. Anzumerken ist, dass Patienten, die primär unter Verwendung eines Videolaryngoskops oder eines flexiblen Intubationsendoskops intubiert wurden, nicht in die Analyse eingingen und so bei einem unselektierten Kollektiv die Inzidenz mit großer Wahrscheinlichkeit höher gelegen

hätte. In einer prospektiven Beobachtungsstudie anhand der Auswertung von Datensätzen aus der Danish Anaesthesia Database berichteten Norskov et al. im Jahr 2015 über die Intubationsbedingungen von 188.064 Patienten, die in einem Zeitraum von drei Jahren in Intubationsnarkose operiert wurden [44]. Ziel der Untersuchung war die Bestimmung der diagnostischen Genauigkeit der Vorhersage des schwierigen Atemwegsmanagements in der täglichen Routine. Unter den eingeschlossenen Patienten, die primär mittels direkter Laryngoskopie intubiert wurden, wurden 3.383 (1.86%) schwierige endotracheale Intubationen erfasst, von denen wiederum 3.154 Intubationen (93%) unerwartet auftraten. Zusätzlich wurde eine Korrelation zwischen dem Auftreten einer schwierigen endotrachealen Intubation und einer schwierigen Maskenbeatmung festgestellt.

Während Piepho et al. die Inzidenz der schwierigen direkten Laryngoskopie mit 1,5 – 8,0% angeben und das Auftreten der schwierigen Intubation anhand der in der Leitlinie berücksichtigten Studien etwas niedriger einschätzen, nennen Law et al. für eine schwierige direkte Laryngoskopie (definiert als Cormack Lehane Grad 3 oder 4) eine Inzidenz von 0,8 – 7,0% im OP-Saal und für die schwierige Intubation (definiert als ≥ 3 Versuche zur endotrachealen Intubation) 0,9 – 1,9% im OP-Saal [2, 14].

Große Untersuchungen zur Inzidenz der schwierigen indirekten Laryngoskopie bzw. der schwierigen Intubation mittels Videolaryngoskopie sind zum aktuellen Zeitpunkt nicht verfügbar. In einem Cochrane Database-Review aus dem Jahr 2016 verglichen Lewis et al. das Risiko für Komplikationen und eine gescheiterte Atemwegssicherung zwischen direkter Laryngoskopie und Videolaryngoskopie. Hierzu wurden insgesamt 64 bis einschließlich 2015 veröffentlichte Studien mit randomisiert kontrolliertem oder quasi-randomisiertem Design eingeschlossen. Es konnten dadurch 7044 erwachsene Patienten ausgewertet werden. Aufgrund der hohen Anzahl an Studien und der fehlenden Verblindung des Anwenders im Hinblick auf das genutzte Verfahren schränkten die Autoren die Aussagekraft ihrer Ergebnisse von vornherein ein. Sie fanden eine statistisch signifikant geringere Inzidenz von fehlgeschlagenen Intubationen bei Anwendung eines Videolaryngoskops, die auf der Anwendung bei antizipiertem oder simuliertem schwierigem Atemweg begründet war. Bei der Anwendung bei Patienten ohne Prädiktoren für einen schwierigen Atemweg zeigte sich kein signifikanter Unterschied. Der aus den Ergebnissen der diversen Studien berechnete relative Effekt bei Anwendung eines Videolaryngoskops im Vergleich zur direkten Laryngoskopie im Hinblick auf eine gescheiterte Intubation lag bei einer Odds Ratio von 0,35 (95%-Konfidenzintervall 0,19 – 0,65), der Evidenzgrad wurde als moderat beurteilt [45]. Sowohl in der deutschen als auch in der kanadischen Leitlinie werden für die schwierige Videolaryngoskopie keine Häufigkeiten genannt. Es wird nur darauf hingewiesen, dass trotz einer guten Sicht durch die Anwendung der Videolaryngoskopie die Intubation erschwert sein kann und somit neue Problemfelder entstehen können [2].

Als schwerwiegendste Ausprägung der schwierigen Atemwegssicherung gilt eine „Cannot Intubate, Cannot Oxygenate“-Situation (CICO), bei der weder Intubation noch Maskenbeatmung oder alternative Atemwegshilfen erfolgreich sind und in letzter Konsequenz häufig eine Koniotomie notwendig wird, um eine Hypoxie zu behandeln und bleibende Schäden oder gar den Tod des Patienten zu verhindern. Tachibana et al. untersuchten mittels eines Fragebogens in einer retrospektiven, multizentrischen Studie das Auftreten einer CICO-Situation über einen Zeitraum von drei Jahren in Japan [46]. In 20 Kliniken kam es in diesem Zeitraum zu drei CICO-Situationen bei insgesamt 97.854 durchgeführten Allgemeinanästhesien, was einer Häufigkeit von 0,003% entspricht. In allen drei Fällen wurde zur Sicherung des Atemwegs eine Notfalltracheotomie durchgeführt. In einer monozentrischen, retrospektiven Beobachtungsstudie analysierten Fei et al. über einen Zeitraum von acht Jahren die Häufigkeit einer notfallmäßigen chirurgischen Atemwegssicherung im perioperativen Umfeld [47]. Sie zeigten ein Vorkommen von 0,37 Fällen pro 10.000 Patienten (entsprechend 0,0037%) über den gesamten Untersuchungszeitraum auf, mit jährlichen Schwankungen zwischen 0,0013 und 0,0086%. Rosenstock und Kollegen analysierten in einer retrospektiven Kohortenstudie aus der Danish Anaesthesia Database 452.461 Datensätze von Patienten, die zwischen Juni 2008 und März 2014 eine Allgemeinanästhesie benötigten [48]. Bei 27 Patienten ergab sich die Notwendigkeit einer chirurgischen Atemwegssicherung, was einer Häufigkeit von 0,006% entspricht. Im Rahmen des Fourth National Audit Project erhoben Cook et al. Daten zu schwerwiegenden Komplikationen im Rahmen des Atemwegsmanagements im Vereinigten Königreich über den Zeitraum von einem Jahr [15]. Bezogen auf eine geschätzte Gesamtzahl von 2,9 Millionen Allgemeinanästhesien im untersuchten Zeitraum ergab sich aus 133 gemeldeten schwerwiegenden Komplikationen wie Tod, Hirnschädigung, notfallmäßiger chirurgischer Atemwegssicherung und unerwarteter Zuweisung auf eine Intensivstation eine Häufigkeit von 1 zu 22.000 für eines dieser Ereignisse. In 58 der 133 anästhesiebezogenen Ereignisse wurde eine chirurgische Atemwegssicherung versucht. Hieraus ergibt sich eine Häufigkeit von 0,00002%, was im Vergleich zu sonstigen Untersuchungen besonders selten erscheint. Ursächlich hierfür kann zum einen sein, dass nicht immer, wenn eine notfallmäßige chirurgische Atemwegssicherung angezeigt gewesen wäre, diese auch durchgeführt wurde. Zudem diskutieren Cook et al. bereits in ihrer Veröffentlichung, dass es sich um freiwillige Berichte handelt und sich aufgrund der statistischen Analyse der Verteilung der Berichte vermuten lässt, dass nur ein Viertel der tatsächlichen Ereignisse gemeldet wurde.

In der deutschen Leitlinie wird die Inzidenz der CICO-Situation unter Berufung auf zwei weitere Studien mit 0,008 bis 0,004% angegeben [30], während die kanadische Leitlinie unter Berücksichtigung von sieben Untersuchungen auf eine Inzidenz von 0,002 – 0,02% im OP-Saal schließt [14].

Zusammenfassend kann man konstatieren, dass die unerwartet schwierige Atemwegssicherung bei fehlenden allgemeingültigen Kriterien abhängig von Definition, Arbeitsumgebung und untersuchtem Kollektiv mit stark schwankender Häufigkeit anzutreffen ist. Auch unterscheidet sich die Ausprägung der Schwierigkeiten von einer erschwerten, aber dennoch erfolgreichen Intubation bis hin zur fatalsten Variante, der CICO-Situation. Somit muss bei jeder Atemwegssicherung damit gerechnet werden, dass Schwierigkeiten auftreten können. Um in diesen potenziell lebensbedrohlichen Notfallsituationen adäquat reagieren zu können, werden seit mehr als 20 Jahren sukzessive an verfügbare Techniken und Geräte angepasste Algorithmen von Einzelpersonen und Fachgesellschaften publiziert, auf die im folgenden Kapitel genauer eingegangen wird.

2.1.3.2 Algorithmen zum Management der unerwartet schwierigen Atemwegssicherung

„Einen Algorithmus für das Atemwegsmanagement zu haben, bedeutet, vorbereitet zu sein und auch einen Plan ‚B‘ aufzuweisen. Er kann Sicherheit geben und eine Anleitung sein. Ein Algorithmus ist aber auch kein starres Gesetz. Er muss hinterfragt und reevaluiert werden.“ [49] Diesen einleitenden Worten eines Artikels über den Vergleich verschiedener Algorithmen zur Behandlung des schwierigen Atemwegs entsprechend wird in diesem Kapitel einerseits kurz auf die Anfänge der Entwicklung solcher Algorithmen eingegangen, andererseits werden die aktuellen Algorithmen der deutschen, amerikanischen und britischen Vereinigungen der Anästhesiologen gegenübergestellt. Auch wird der klinikeigene Algorithmus zur schwierigen Atemwegssicherung der Klinik für Anästhesiologie der Universitätsmedizin Mainz vorgestellt, der durch die hausinterne Arbeitsgruppe „Atemwegsmanagement“ erstellt wurde, zum Zeitpunkt der Untersuchung innerhalb der Klinik als „Standard Operating Procedure“ (SOP) genutzt wurde und die Grundlage für die Auswertung von Teilen der vorliegenden Untersuchung bildet. Ergänzend wird anhand eines aktuellen Reviews von Edelman et al. ein Überblick über weitere Algorithmen der vergangenen 15 Jahre gegeben [50]. Allen genannten Arbeiten ist gemein, dass sie einleitend in unterschiedlich großem Umfang auf Definitionen bzw. Beschreibungen des schwierigen Atemwegs sowie Prädiktoren und Untersuchungen eingehen. Da diese Aspekte bereits in vorherigen Kapiteln (vgl. Kapitel 2.1.1 und 2.1.2) ausführlich erörtert wurden, wird hier ausschließlich auf die Behandlungsalgorithmen der unerwartet schwierigen Atemwegssicherung aus den genannten Veröffentlichungen eingegangen.

Bereits im Jahr 1991 stellte Benumof in einem ausführlichen Artikel einen kombinierten Algorithmus zum Management des erwarteten und des unerwartet schwierigen Atemwegs vor [51]. Wie auch in aktuellen Algorithmen wurde hier im Rahmen der unerwartet schwierigen Atemwegssicherung direkt nach der gescheiterten Intubation der Hilferuf an erster Stelle genannt und im Folgenden nach möglicher bzw. unmöglicher Maskenbeatmung das weitere Vorgehen differenziert. Neben weiteren, im Algorithmus nicht näher bezeichneten alternativen

Intubationsverfahren werden die Larynxmaske und die transtracheale Jetventilation als zusätzliche Optionen dargestellt, bevor als letzte Maßnahme neben dem Aufwachenlassen des Patienten eine chirurgische Atemwegssicherung genannt wird. Hervorzuheben ist, dass bereits in dieser Arbeit von 1991 darauf verwiesen wurde, dass jegliche Atemwegssicherung durch endtidales CO₂, S_aO₂ und weitere Tests zu verifizieren ist.

Zeitlich folgte auf diesen Artikel im Jahr 1993 mit den „Practice guidelines for management of the difficult airway“ der American Society of Anesthesiologists die weltweit erste Leitlinie, die durch eine anästhesiologische Fachgesellschaft erstellt wurde [52]. Im Abstand von jeweils zehn Jahren erfolgte eine Überarbeitung, so dass die aktuellste Fassung aus dem Jahr 2013 stammt [10, 53]. Der Algorithmus differenziert nicht zwischen erwartetem und unerwartetem schwierigem Atemweg und beginnt mit der Aufforderung, den Patienten auf die Möglichkeit von Schwierigkeiten bei der Atemwegssicherung hin zu untersuchen. Als zweiter vorbereitender Schritt wird die unterstützende Gabe von Sauerstoff über den gesamten Prozess der Atemwegssicherung empfohlen. Hierauf folgend sollen verschiedene grundlegende Strategien der Atemwegssicherung gegeneinander abgewogen werden, beispielsweise eine wache Atemwegssicherung gegen eine Atemwegssicherung nach Narkoseeinleitung oder die Nutzung der Videolaryngoskopie als primäres Verfahren der Atemwegssicherung. Auf diesen Überlegungen aufbauend sollen als vierter Schritt primäre und alternative Strategien zur Atemwegssicherung entwickelt werden, die dem eigentlichen Algorithmus entsprechen. Im Falle einer Intubation des wachen Patienten werden invasive Techniken wie eine chirurgische Atemwegssicherung oder eine Jetventilation den nicht-invasiven Verfahren wie einer konventionellen oder fiberoptischen Intubation gegenüber als gleichwertige Optionen dargestellt. Im Falle des Scheiterns einer nicht-invasiven Atemwegssicherung des wachen Patienten werden dann das Absetzen der Operation, der Einsatz anderer Verfahren wie beispielsweise extraglottischer Atemwegshilfen oder die Etablierung eines chirurgischen Atemwegs vorgeschlagen. Der grundlegend alternative Ansatz ist die Intubation nach Narkoseinduktion. Sofern hierbei die initialen Intubationsversuche erfolglos waren, wird als erste Maßnahme das Erwägen eines Hilferufes gefordert. Zudem sollen die Möglichkeiten der Rückkehr zur Spontanatmung und des Aufwachenlassens des Patienten erwogen werden. Abhängig davon, ob eine Beutel-Maskenbeatmung möglich ist, teilt sich der Algorithmus daraufhin in einen „nonemergency pathway“ bei erfolgreicher Maskenbeatmung und propagiert im Schenkel der insuffizienten Beutel-Maskenbeatmung die Nutzung einer extraglottischen Atemwegshilfe. Sofern diese erfolgreich ist, gelangt man ebenfalls auf den „nonemergency pathway“, bei inadäquater Beatmung mittels EGA ist aufgrund des Vorliegens einer CICV-Situation der „emergency pathway“ beschritten. Im Rahmen des „nonemergency pathway“ bei adäquater Beatmung mittels Maske und Beatmungsbeutel oder extraglottischer Atemwegshilfe folgen nun

alternative Ansätze zur Intubation wie beispielweise die Videolaryngoskopie. Sollten diese nach mehreren Versuchen nicht zum Erfolg führen, werden eine invasive Atemwegssicherung, das Erwägen anderer Optionen wie eine Durchführung der Operation unter Beatmung mittels Beatmungsbeutel und Maske oder EGA und zuletzt das Aufwachenlassen des Patienten als Lösungsstrategien vorgeschlagen. Sollten während der Bearbeitung des „nonemergency pathway“ im Verlauf Beatmung mittels EGA oder Gesichtsmaske insuffizient werden, gelangt man direkt auf den „emergency pathway“. Der „emergency pathway“ gibt direkt und obligat einen Hilferuf vor, gefolgt vom Versuch der nichtinvasiven Beatmung mittels EGA, sofern dies nicht bereits vorher geschehen ist. Bei nicht erfolgreicher Beatmung wird als letzte Option der invasive Atemwegszugang, beispielweise mittels chirurgischer Atemwegssicherung oder retrograder Intubation, genannt. Jede erfolgreiche Atemwegssicherung muss obligat mittels expiratorischer CO₂-Messung verifiziert werden. Ähnlich komplex und unübersichtlich, wie die schriftliche Darlegung des aktuellen Algorithmus der ASA zu lesen ist, präsentiert sich auch die grafische Darstellung (vgl. folgende Seite). In einer Zusammenfassung dieser Leitlinie für den deutschen Anwender konstatieren Enterlein und Byhahn daher: „Verglichen mit den aktuell gültigen Leitlinien der nationalen Fachgesellschaften in Europa erscheint der Algorithmus der ASA komplexer, unübersichtlicher, weniger konkret und weniger pragmatisch.“ [54]

1. Assess the likelihood and clinical impact of basic management problems:
 - Difficulty with patient cooperation or consent
 - Difficult mask ventilation
 - Difficult supraglottic airway placement
 - Difficult laryngoscopy
 - Difficult intubation
 - Difficult surgical airway access
2. Actively pursue opportunities to deliver supplemental oxygen throughout the process of difficult airway management.
3. Consider the relative merits and feasibility of basic management choices:
 - Awake intubation vs. intubation after induction of general anesthesia
 - Non-invasive technique vs. invasive techniques for the initial approach to intubation
 - Video-assisted laryngoscopy as an initial approach to intubation
 - Preservation vs. ablation of spontaneous ventilation
4. Develop primary and alternative strategies:

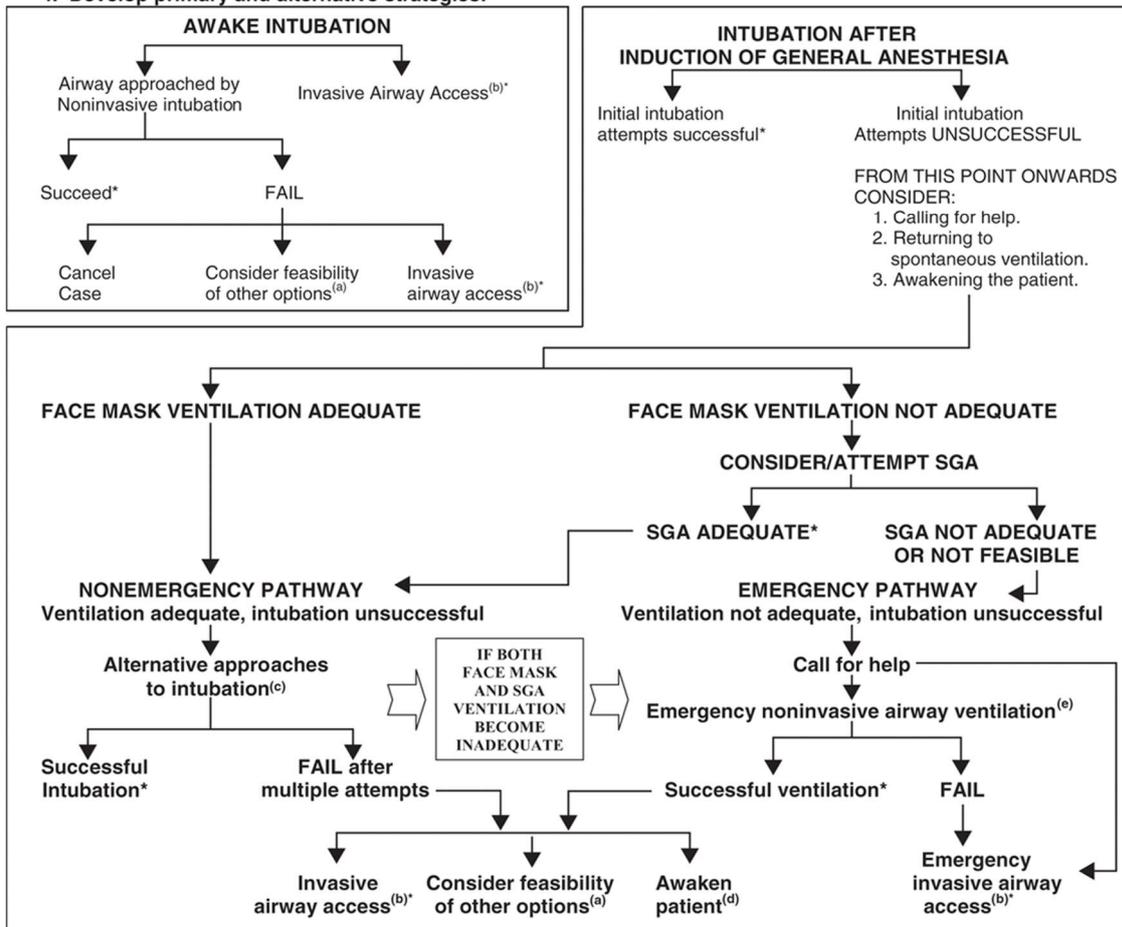
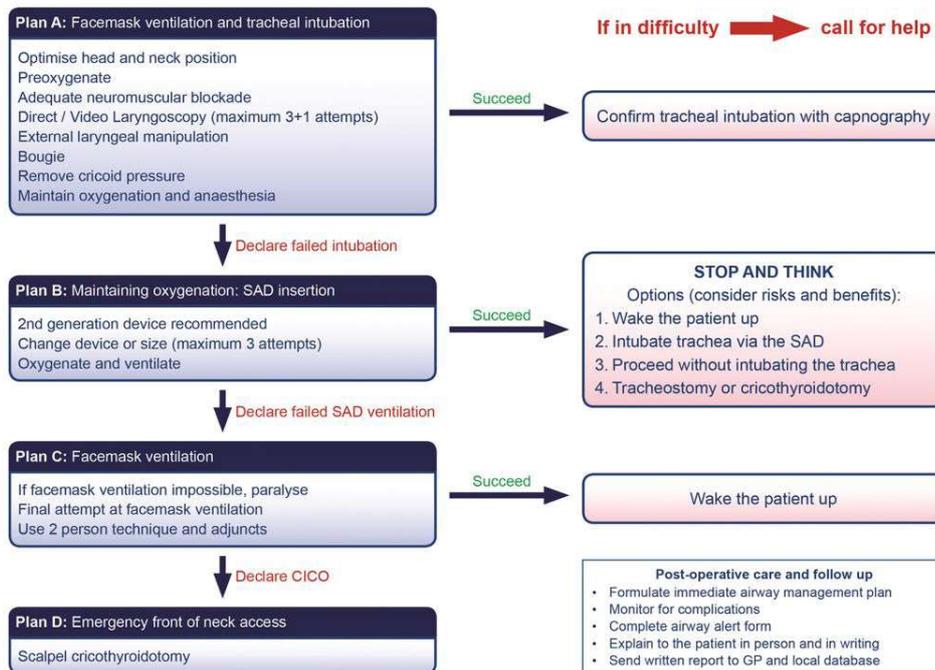


Abbildung 1: Algorithmus zur Behandlung des unerwartet schwierigen Atemwegs der American Society of Anesthesiologists [entnommen aus [10]]

Einen deutlichen Kontrast zum komplexen und unübersichtlichen Algorithmus der ASA stellt der Algorithmus zur Behandlung der unerwartet schwierigen Intubation der Difficult Airway Society aus dem Jahr 2015 dar [3]. Es wird eine konsequente und übersichtliche Abfolge von insgesamt vier großen Handlungsschritten präsentiert, die mit der Beutel-Masken-Beatmung und der endotrachealen Intubation als „Plan A“ beginnen. Hierunter subsummiert finden sich eine optimierte Lagerung des Patienten, die Nutzung von Muskelrelaxantien, externer laryngealer Manipulation und die Intubation mittels Bougie. Dieser Plan soll auf ein Maximum von 3+1 Versuchen für die direkte bzw. Videolaryngoskopie beschränkt werden. Der hierauf folgende „Plan B“ besteht aus der Oxygenierung des Patienten mittels extraglottischer Atemwegshilfe mit einer Beschränkung auf maximal drei Versuche. So wird explizit Zeit gewonnen, um das weitere Vorgehen zu bedenken und zu planen, sofern eine Oxygenierung erfolgreich ist. Bei fehlgeschlagener Oxygenierung mittels EGA gelangt der Anwender zu „Plan C“, der Beutel-Masken-Beatmung als Rückfallebene, um den Patienten bis zum Wirkverlust der Narkosemedikamente und zum Einsetzen der Spontanatmung überbrückend beatmen zu können. Bei Scheitern von „Plan C“ folgt als letzte Option „Plan D“, der eine Koniotomie unter Nutzung von Skalpell und Bougie propagiert, deren Durchführung im Text der Leitlinie umfassend erläutert wird. Hervorzuheben ist bei diesem Algorithmus, dass insbesondere die Kommunikation einen hohen Stellenwert erfährt. So wird bereits zu Beginn des Algorithmus darauf hingewiesen, dass der Anwender jederzeit Hilfe rufen soll, sofern Schwierigkeiten entstehen. Außerdem wird nach jedem gescheiterten Versuch der Atemwegssicherung und bei Fortschreiten zum nachfolgenden Plan im Algorithmus gefordert, die Tatsache der gescheiterten Maßnahme explizit zu benennen und an das Team zu kommunizieren. Im Text der Leitlinie werden die einzelnen Schritte des Algorithmus umfassender erläutert und ausgeführt, insgesamt ergibt sich hieraus aber ein strukturierter und stringenter Ablauf einzelner Handlungsschritte, der auch in einer Notfallsituation anwendbar erscheint.

Management of unanticipated difficult tracheal intubation in adults



This flowchart forms part of the DAS Guidelines for unanticipated difficult intubation in adults 2015 and should be used in conjunction with the text.

Abbildung 2: Algorithmus zur Behandlung der unerwartet schwierigen endotrachealen Intubation der Difficult Airway Society [entnommen aus [3]]

Der Algorithmus zum Vorgehen bei unerwartet schwierigem Atemweg der DGAI aus dem Jahr 2015 bietet im Hinblick auf Komplexität und Übersichtlichkeit einen Mittelweg zwischen den beschriebenen Algorithmen der ASA und der DAS [30]. Mit der fehlgeschlagenen Sicherung der Atemwege beginnt der Einstieg in den Algorithmus unabhängig vom primär gewählten Verfahren. Anhand der Frage, ob eine Beutel-Masken-Beatmung möglich ist, teilt sich der Algorithmus ähnlich dem Algorithmus der ASA. Bei erfolgreicher Beutel-Masken-Beatmung können erneute optimierte Intubationsversuche und alternative Techniken angewandt oder das Abklingen der Narkose bis zum Erwachen des Patienten überbrückt werden. Nach jeder versuchten Maßnahme wird die Frage nach dem Erfolg gestellt und bei Misserfolg die weiterhin bestehende Möglichkeit der Beutel-Masken-Beatmung evaluiert. Ist hingegen nach initial fehlgeschlagener Atemwegssicherung keine Maskenbeatmung möglich, wird als erste Maßnahme der Hilferuf gefordert, da es sich um einen vital bedrohlichen Notfall handelt. Als erstes Hilfsmittel wird eine EGA empfohlen, bei Erfolglosigkeit kommt die direkte oder indirekte Laryngoskopie zum Einsatz. Scheitert auch dieser Ansatz, soll die Rückkehr zur Spontanatmung erwogen werden, bevor aus mehreren Optionen wie beispielsweise der starren oder flexiblen Intubationsendoskopie eine Alternative gewählt wird. Ist dieser Versuch ebenfalls gescheitert, kann bei ausreichender SpO₂ ein alternatives Verfahren gewählt werden. Sollte die SpO₂ kritisch sein, ohne dass ein konkreter Wert genannt wird, empfiehlt der Algorithmus ein translaryngeales oder transtracheales Verfahren, ohne hier eine bestimmte Technik zu präferieren. Der Erfolg jeglicher Maßnahmen soll durch Kontrolle von SpO₂ und endtidaler CO₂-Messung verifiziert werden.

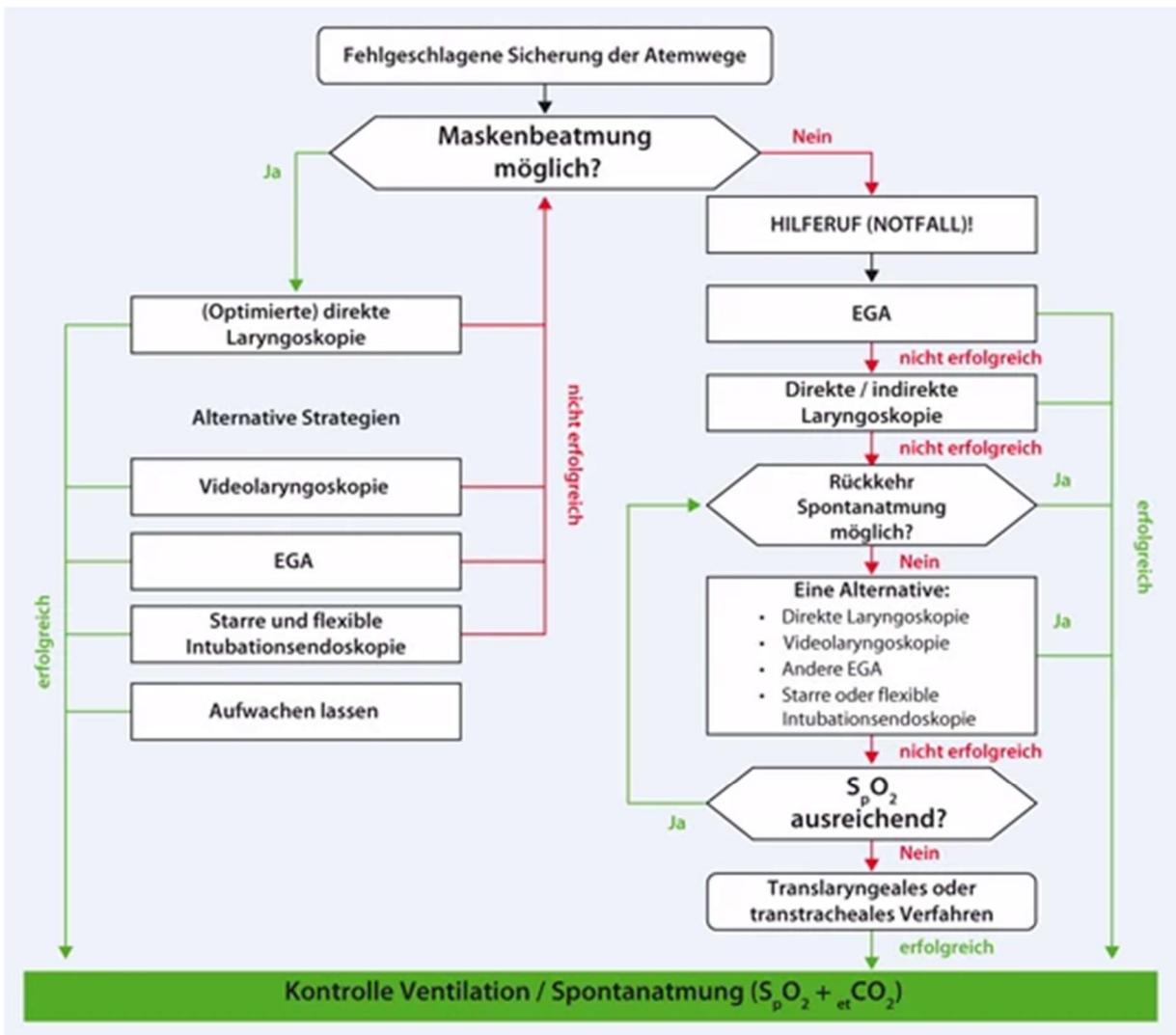


Abbildung 3: Algorithmus zur Behandlung des unerwartet schwierigen Atemwegs der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin [entnommen aus [2]]

Aufgrund der langjährigen ärztlichen Tätigkeit des Erstautors der Leitlinie der DGAI, Tim Piepho, an der Klinik für Anästhesiologie der Universitätsmedizin Mainz, gibt es zwischen der Leitlinie der DGAI sowie dem klinikinternen Algorithmus zahlreiche Überschneidungen. Der Algorithmus beginnt mit der fehlgeschlagenen Sicherung der Atemwege, ohne hier auf ein bestimmtes Verfahren beschränkt zu sein. Sodann soll eine neuromuskuläre Blockade mit einem schnellwirksamen Muskelrelaxans erwogen werden und es schließt sich die Frage an, ob eine suffiziente Oxygenierung bzw. eine Beutel-Masken-Beatmung möglich sind. Anhand der Antwort auf diese Frage teilt sich der Algorithmus in zwei Arme mit unterschiedlicher Dringlichkeit auf. Sofern Beutel-Masken-Beatmung respektive Oxygenierung möglich sind, sollen maximal zwei Intubationsversuche durch einen Facharzt durchgeführt werden, idealerweise mittels Videolaryngoskopie. Zugleich soll Hilfe hinzugezogen werden. Sind diese Versuche nicht erfolgreich, aber Beutel-Masken-Beatmung bzw. Oxygenierung weiterhin möglich, soll eines von drei alternativen Verfahren (Videolaryngoskop oder alternativer Spatel; extraglottisches Hilfsmittel; flexibles oder starres Endoskop) je nach Expertise des Anwenders und Verfügbarkeit genutzt werden. Bei Misserfolg der Atemwegssicherung mittels Videolaryngoskop, alternativem Spatel oder starrer / flexibler endoskopischer Intubation soll ein extraglottisches Hilfsmittel genutzt werden. Sofern das extraglottische Hilfsmittel nicht erfolgreich ist, soll der Anwender die Rückkehr zur Spontanatmung mittels Antagonisierung der Medikamente erwägen. Sofern dies nicht möglich ist, aber Beutel-Masken-Beatmung bzw. Oxygenierung weiterhin möglich sind, dürfen weitere vorher noch nicht genutzte Verfahren der endotrachealen Intubation versucht werden. Sofern die Beutel-Masken-Beatmung und Oxygenierung an diesem Punkt nicht mehr möglich sind und eine Asphyxie droht, soll der Anwender eine chirurgische Atemwegssicherung vornehmen. Nach jedem erneuten gescheiterten Versuch der Atemwegssicherung stellt sich in diesem Arm des Algorithmus jeweils die Frage, ob Beutel-Masken-Beatmung und Oxygenierung weiterhin möglich sind. Sollte dies an einem Punkt nicht mehr der Fall sein, wechselt der Anwender automatisch in den anderen Arm des Algorithmus, der sich auf die fehlgeschlagene Sicherung der Atemwege und die Unmöglichkeit von Beutel-Masken-Beatmung und Oxygenierung bezieht. Dieser zweite Arm des Algorithmus beantwortet die Frage nach suffizienter Oxygenierung bzw. durchführbarer Beutel-Masken-Beatmung mit „Nein“. Es wird klar postuliert, dass es sich um einen Notfall handelt und die erste Maßnahme der Hilferuf sein muss, gefolgt von der Nutzung eines extraglottischen Hilfsmittels, optimalerweise einer Intubationslarynxmaske (ILMA). Bei Misserfolg darf ein Intubationsversuch durch einen Facharzt erfolgen, möglichst mit einem Videolaryngoskop. Zudem soll die Rückkehr zur Spontanatmung mittels Antagonisierung der Medikamente erwogen werden. Wenn beides nicht erfolgreich oder möglich ist, soll ein einziges weiteres Verfahren versucht werden, wobei hier wie im anderen Arm des Algorithmus die extraglottischen Hilfsmittel, das Videolaryngoskop bzw. alternative Spatel sowie das flexible oder starre Endoskop zur Auswahl stehen. Scheitert dieses Verfahren ebenfalls und

es droht eine Asphyxie, muss die Entscheidung zugunsten der chirurgischen Atemwegssicherung fallen.

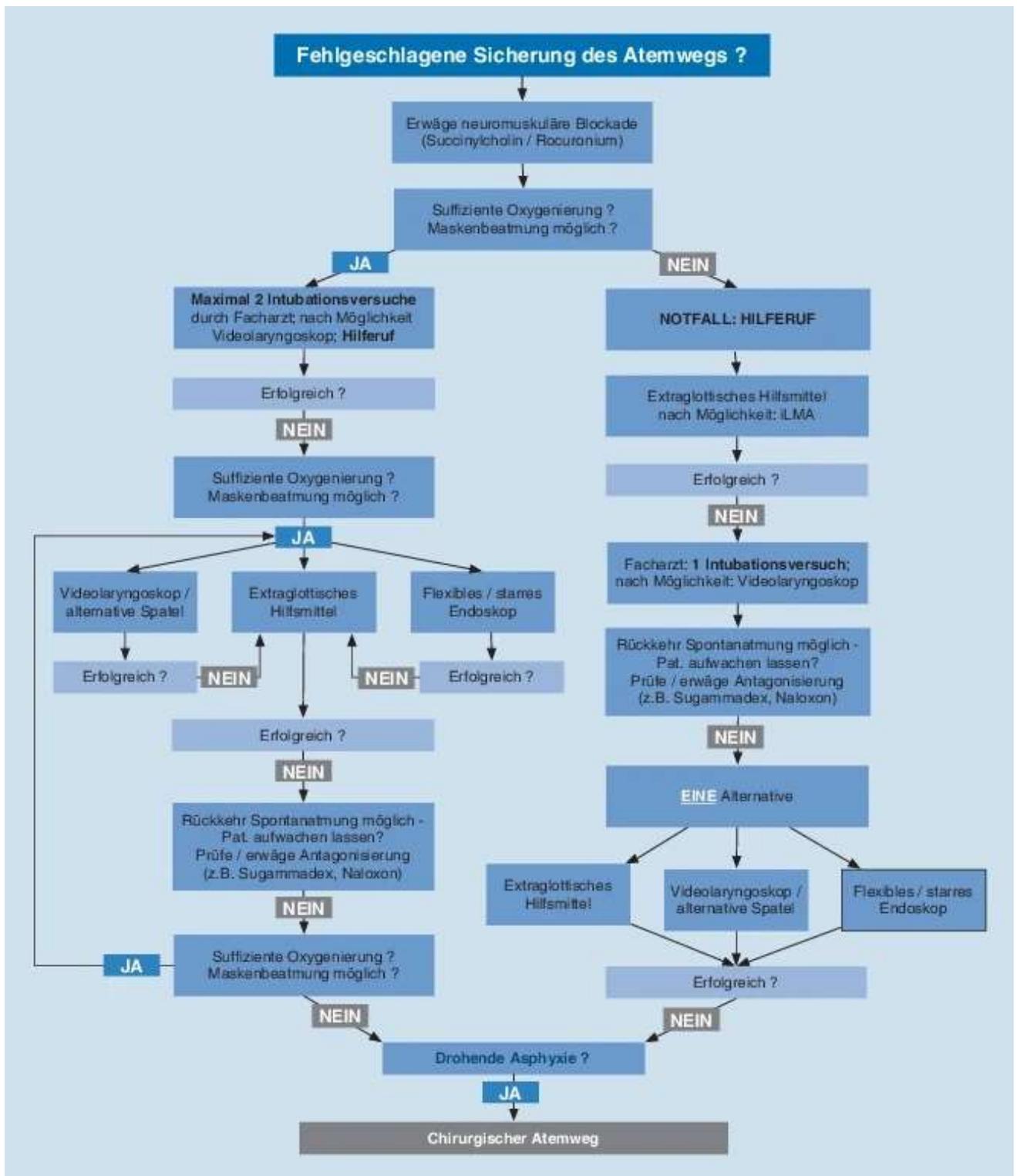


Abbildung 4: Innerklinischer Algorithmus der Klinik für Anästhesiologie der Universitätsmedizin Mainz zum Vorgehen bei fehlgeschlagener Sicherung des Atemwegs [entnommen aus [55]]

In ihrem Review zu vorhandenen Algorithmen zur Behandlung des schwierigen Atemwegs identifizierten Edelman et al. 2019 38 unterschiedliche Algorithmen aus den vorangegangenen 20 Jahren, die teilweise von Fachgesellschaften und teils von Einzelpersonen veröffentlicht worden waren [50]. Die meisten untersuchten Algorithmen griffen auf vier Handlungsschritte zurück, nur wenige gingen darüber hinaus. Es zeigte sich in der überwiegenden Anzahl der Algorithmen die Nutzung von Intubation, Beutel-Masken-Beatmung und extraglottischen Atemwegshilfen in verschiedenen Reihenfolgen. Der letzte Schritt war mit Ausnahme einer einzelnen Arbeit jeweils die invasive Atemwegssicherung, beispielsweise durch eine Koniotomie. Die Autoren konstatieren in ihrem Artikel, dass ein möglichst universeller Algorithmus für zahlreiche Patientengruppen mit internationaler Gültigkeit wünschenswert wäre, um Unsicherheiten vorzubeugen und eine Nutzung in der Notfallsituation zu vereinfachen. Mit dem „Project for Universal Management of Airways“ (PUMA), einer internationalen Initiative zur Vereinheitlichung von Leitlinien zur Behandlung des Atemwegsmanagements, ist dieses Ziel in den vergangenen Jahren in Bearbeitung [56]. Zum Zeitpunkt der vorliegenden Untersuchung gab es entsprechende Bestrebungen noch nicht.

Zusammenfassend kann man festhalten, dass die grundlegende Struktur der vier verglichenen Algorithmen zur Behandlung des unerwartet schwierigen Atemweges sehr ähnlich ist, selbst wenn in der Abfolge der einzelnen Schritte und in Komplexität und praktischer Umsetzbarkeit Unterschiede bestehen. In allen vier Algorithmen ist, wie auch im überwiegenden Anteil weiterer internationaler Algorithmen, eine invasive Atemwegssicherung die Ultima Ratio zur Oxygenierung des Patienten. Auf diese „gemeinsame Endstrecke“ der Algorithmen wird im folgenden Kapitel genauer eingegangen.

2.1.3.3 CICO-Situation

Als zwar seltene, aber umso gefährlichere Komplikation im Rahmen einer Atemwegssicherung kann die Situation entstehen, dass ein Patient nicht zu intubieren ist und gleichzeitig die Zufuhr von Sauerstoff mittels Beutel-Masken-Beatmung und alternativer Atemwegshilfsmittel wie beispielsweise einer extraglottischen Atemwegshilfe nicht möglich ist. Hierbei handelt es sich um die maximale Ausprägung einer schwierigen Atemwegssicherung mit akuter vitaler Bedrohung des Patienten. Diese wird häufig mit den Begriffen „Cannot intubate, cannot oxygenate“ (CICO) bzw. „Cannot intubate, cannot ventilate“ (CICV) benannt, die trotz der inhaltlichen Differenz zwischen unmöglicher Oxygenierung und unmöglicher Ventilation als Synonyme verstanden werden können.

Wie bereits in Kapitel 2.1.3.1 erörtert, schwankt die Häufigkeit des Auftretens zwischen 0,0003 und 0,02%. Beeinflusst werden diese Häufigkeiten unter anderem von den untersuchten Patientengruppen, der Expertise der behandelnden Teams, dem Ort der Behandlung und der

Tatsache, ob es sich im Rahmen einer Operation um einen geplanten Eingriff oder eine Notfalloperation handelt [57, 58].

Wenn das Vorliegen einer CICO-Situation nicht adäquat durch das behandelnde Team erkannt und entsprechend reagiert wird, kann dies zu profunder Hypoxie und konsekutivem Herz-Kreislaufstillstand des Patienten führen. Bleibende Schäden oder gar das Versterben des Patienten können hieraus resultieren. Zur Lösung dieser lebensbedrohlichen Situation stehen verschiedene Verfahren der invasiven Atemwegssicherung zur Verfügung, die im folgenden Unterkapitel beschrieben werden.

2.1.3.3.1 Koniotomie zur Atemwegssicherung in der CICO-Situation

Als primärer Zugangsweg einer invasiven Atemwegssicherung im Falle einer CICO-Situation wird in der Mehrzahl der aktuellen Leitlinien und Artikel ein translaryngealer Zugang empfohlen. Dieser wird durch die Durchtrennung des Ligamentum (Lig.) cricothyroideum (Synonym: Ligamentum conicum), welches den kranial lokalisierten Schildknorpel (Cartilago thyroidea) mit dem kaudal gelegenen Ringknorpel (Cartilago cricoidea) verbindet, etabliert [3, 30]. Dieses Verfahren wird als Koniotomie oder Krikothyreotomie bezeichnet. Es können hierfür grundlegend zwei Verfahrensweisen unterschieden werden, eine chirurgische und eine nicht-chirurgische Koniotomie [14].

Bei der chirurgischen Koniotomie wird mit einem Skalpell ein Hautschnitt von kranial nach kaudal vorgenommen und anschließend das Lig. cricothyroideum quer durchtrennt [59]. Die Erweiterung und das Offenhalten dieses Zugangs kann beispielsweise unter Zuhilfenahme eines Spekulum oder der stumpfen Seite des Skalpells erfolgen [59]. Durch die so geschaffene Öffnung kann entweder direkt ein Endotrachealtubus platziert oder zuvor als Führungsschiene ein flexibler Führungsstab („Bougie“) eingeführt werden [59]. Zudem existieren weitere Modifikationen der chirurgischen Technik [58, 60]. Bei der nicht-chirurgischen Koniotomie können wiederum zwei unterschiedliche Techniken angewandt werden, für die verschiedene präformierte Sets diverser Hersteller erhältlich sind. Bei beiden Verfahren wird nach einer initialen Hautinzision mittels Skalpell das Lig. cricothyroideum punktiert, statt es zu inzidieren, weshalb im weiteren Text der Begriff „Punktionskoniotomie“ zusammenfassend für beide nicht-chirurgischen Verfahren genutzt wird. Bei der „catheter-over-needle“-Technik wird zur Punktion ein bereits zusammengesetztes Instrument aus Punktionsnadel, Dilatator und Trachealkanüle genutzt, so dass in einem zusammenhängenden Arbeitsschritt Punktion, Dilatation der Punktionsstelle und Vorschub der Trachealkanüle nacheinander erfolgen können, ohne einmal in der Trachea platzierte Instrumente komplett entfernen zu müssen [59]. Je nach Hersteller unterscheiden sich die Instrumente deutlich. Eine kurze Übersicht über diese Unterschiede bietet das Review von Langvad et al. [58]. Bei der „catheter-over-guidewire“-Technik wird die Seldinger-Technik

angewandt, die beispielsweise auch bei der Anlage von zentralvenösen Kathetern genutzt wird. Nach Freilegung des Lig. cricothyroideum wird dieses mit einer Kanüle und aufgesetzter Spritze punktiert, im Anschluss die Spritze entfernt und ein Führungsdraht in die Trachea vorgeschoben. Daraufhin wird auch die Punktionskanüle entfernt und eine Trachealkanüle mit einliegendem Dilatator über den Führungsdraht in die Trachea vorgeschoben. Nach korrekter Platzierung werden Führungsdraht und Dilatator entfernt [59]. Auch für dieses Verfahren gibt es verschiedene kommerziell erhältliche Sets unterschiedlicher Hersteller.

Da es sich bei einer Koniotomie um eine selten durchzuführende Maßnahme handelt, die der Notfallsituation vorbehalten ist, fehlen randomisiert kontrollierte Studien an großen Patientenpopulationen zu Vor- und Nachteilen der chirurgischen bzw. nicht-chirurgischen Verfahren, so dass keinem der beiden Verfahren der uneingeschränkte Vorzug gegeben werden kann [58]. So werden chirurgische und nicht-chirurgische Koniotomie in mehreren Leitlinien als gleichwertige Alternativen empfohlen [14, 30]. Eine Ausnahme hiervon stellt die Leitlinie der DAS dar, die als primäres Verfahren die chirurgische Koniotomie unter Zuhilfenahme eines „Bougie“ empfiehlt und dies mit der potenziell hohen Durchführungsgeschwindigkeit und der Einfachheit der Methode begründet, allerdings auch nicht-chirurgische Verfahren beschreibt [3].

Die translaryngeale Jetventilation, bei der nach Punktion des Lig. cricothyroideum mit einer kleinkalibrigen Nadel und verschiedenen Hilfsmitteln Sauerstoff mit hohem Druck in die Trachea insuffliert wird, steht als weitere Option zur Oxygenierung im Rahmen einer CICO-Situation zur Verfügung [59]. Da hierbei keine Sicherung der Atemwege im eigentlichen Sinne stattfindet, die erforderlichen Instrumente nicht flächendeckend verfügbar sind und die Komplikationsrate im Vergleich zu den vorher beschriebenen Verfahren deutlich erhöht ist, wird dieses Verfahren nur eingeschränkt empfohlen [3, 14]. Daher wird auf eine umfassende Beschreibung des Vorgehens verzichtet.

Eine Tracheotomie, also der chirurgische Zugang zur Trachea auf Höhe der ersten Knorpelspangen, ist als primäre invasive Notfallmaßnahme in einer CICO-Situation nur sehr selten sinnvoll, da es im Allgemeinen komplizierter durchzuführen ist und länger dauert als eine Koniotomie [61, 62]. Ursächlich hierfür sind unter anderem die Anatomie mit mehr Gewebe über der Trachea in dieser Position und die Nähe zur Schilddrüse mit dem möglichen Verlauf größerer Blutgefäße in der direkten Umgebung [63]. Nur wenn das notwendige Material und ein überaus erfahrener Anwender unverzüglich verfügbar sind, kann die Tracheotomie in Einzelfällen eine Alternative zur Koniotomie in der Notfallsituation darstellen [30]. Daher wird sie in diesem Kapitel nicht ausführlicher erörtert.

2.1.3.3.2 *Komplikationen und Outcome der Koniotomie*

Obgleich die Koniotomie als Ultima Ratio bei der Behandlung einer unerwartet schwierigen Atemwegssicherung in den aktuellen Leitlinien aufgeführt wird und die Algorithmen mit der erfolgreichen Koniotomie enden, ist das Verfahren weder frei von Komplikationen, noch gibt es eine Erfolgsgarantie.

Mehrere Veröffentlichungen, die die Durchführung einer Koniotomie mit unterschiedlichen Methoden an menschlichen Leichnamen untersuchten, erfassten hierbei aufgetretene Komplikationen. So führten Helm et al. eine vergleichende Untersuchung eines kommerziellen Sets zur Punktionskoniotomie mit der chirurgischen Koniotomie durch, in der sie Ärzte im ersten Jahr der Weiterbildung zum Anästhesisten eines der beiden Verfahren an einem menschlichen Leichnam vornehmen ließen [64]. Bei 15 Koniotomien je Gruppe zeigte sich eine Erfolgsrate von 100 % für die chirurgische Koniotomie und von 67 % für die Punktionskoniotomie. Die Komplikationsrate lag bei der Punktionskoniotomie bei 67 % und reichte von leichten Verletzungen der trachealen Hinterwand bis zur kompletten Perforation dieser Struktur mit konsekutiver ösophagealer Fehllage der Kanüle, während es bei der chirurgischen Koniotomie zu einer Komplikationsrate von 13 % kam, die sich in der Verletzung thyroider Gefäße begründete [64]. Schober et al. berichten bei insgesamt 63 Koniotomien durch Medizinstudierende im fünften Studienjahr von 37 erfassten Komplikationen [65]. Es handelte sich in 17 Fällen um Verletzungen der Hinterwand der Trachea, in 12 Fällen um Frakturen des Schildknorpels und in vier Fällen um Frakturen des Ringknorpels [65]. Schaumann et. al verglichen die Koniotomie mittels Seldinger-Technik mit der chirurgischen Koniotomie an 200 menschlichen Leichnamen, an denen 20 Notfallmediziner jeweils fünfmal die beiden Verfahren durchführten [66]. Von 200 Koniotomien mussten insgesamt 13 Prozeduren abgebrochen werden, da entweder der Seldingerdraht abgeknickt war oder das Platzieren einer Trachealkanüle unmöglich war. Korrekte Platzierungen erfolgten in 88,2% der Koniotomien mit Seldinger-Technik und 84% der chirurgischen Koniotomien. Zudem kam es in sechs Fällen zu Verletzungen der thyroidalen Blutgefäße [66].

Auch das systematische Review zur Notfallkoniotomie von Langvad et al., das die Ergebnisse von 24 Studien einschließt, die verschiedene Methoden der Koniotomie miteinander vergleichen, berichtet über sehr variable Erfolgsraten [58]. Abhängig von diversen Einflussfaktoren wie der gewählten Methode zur Koniotomie, der Erfahrung der Anwender, dem genutzten Patientenmodell und nicht zuletzt von der Tatsache, ob es in den Untersuchungen ein vorgegebenes Zeitlimit gab, bei dessen Überschreiten ein Koniotomieversuch automatisch als „nicht erfolgreich“ galt, variieren die Erfolgsraten zwischen 0 und 100 % [58].

In ihrem Übersichtsartikel über Material und Strategien für den notfallmäßigen trachealen Zugang beim erwachsenen Patienten berichten Hamaekers et al. zusammenfassend über sehr variable Komplikationsraten zwischen 0 und 52% im klinischen Umfeld an realen Patienten, die von der gewählten Technik, der Erfahrung des Anwenders, der Patientenpopulation und der klinischen Situation abhängig sind [5]. Als häufigste Komplikation, die auch zum Versagen der Methode führen kann, wird die Fehlplatzierung der Kanüle genannt. Hierbei kann es sowohl zur Fehllage im subkutanen Gewebe als auch zu einer paratrachealen Fehllage oder einer Fehlplatzierung im Ösophagus durch die Perforation der Hinterwand der Trachea kommen.

Noch schwerwiegendere mögliche Akutkomplikationen fassen Hess et al. in ihrem Artikel „Die Koniotomie“ in der Reihe „invasive Notfalltechniken“ aus dem Jahr 2014 zusammen [67]: „Zu den Akutkomplikationen gehören v.a. Blutungen und Verletzungen direkt benachbarter Organe. Diese können u. U. dazu führen, dass ein definitiver Atemweg nicht geschaffen werden kann (z.B. Einreißen des Lig. cricothyroideum bis hin zum kompletten Trachealabriss, Verletzungen von Schild- und Ringknorpel bis hin zur kompletten Ruptur, Ösophagusperforation, Schilddrüsenverletzungen, Tubusdeviation mit paratrachealer Lage).“ [67].

Peterson et al. berichten in ihrer Untersuchung von abgeschlossenen Versicherungsfällen zu Atemwegszwischenfällen in der Anästhesie aus dem Jahr 2005 von 75 Fällen zwischen 1985 und 1999 in den USA, bei denen es zu einem perioperativen Atemwegsnotfall im Sinne einer CICO-Situation kam [68]. Hierbei wurde in 76% der Fälle (57 Patienten) eine Koniotomie durchgeführt bzw. versucht, wobei 84% (48 Patienten) dieser Fälle in einer bleibenden Hirnschädigung oder dem Versterben des Patienten resultierten. Trotz der Tatsache, dass seit Datenerhebung und Veröffentlichung der Untersuchung zahlreiche Neuerungen wie die Videolaryngoskopie in der täglichen klinischen Praxis Einzug gehalten haben, geben die Ergebnisse einen Hinweis auf die Erfolgsaussichten einer Koniotomie.

Cook et al. berichten in den Ergebnissen ihrer einjährigen Untersuchung zu schwerwiegenden Komplikationen im Rahmen des Atemwegsmanagements in Großbritannien von 133 Vorkommnissen, die mit einer Anästhesie zusammenhingen [15]. In 58 dieser Fälle wurde eine notfallmäßige chirurgische Atemwegssicherung versucht. Während in 29 Fällen eine Tracheotomie durchgeführt wurde, kam es in den übrigen 29 Fällen zur Koniotomie. Als Verfahren wurde in 19 Fällen die Punktion mit einer kleinkalibrigen Kanüle gewählt, in sieben Fällen mit einer großkalibrigen Kanüle und dreimal eine chirurgische Koniotomie. 12 von 19 Versuche unter Einsatz einer kleinkalibrigen Kanüle schlugen fehl und mussten durch andere Verfahren ersetzt werden, bei Nutzung einer großkalibrigen Kanüle scheiterten drei von sieben initialen Versuchen. Die drei chirurgischen Koniotomien waren sofort erfolgreich. Anzumerken

ist, dass in 25 der 58 beschriebenen Fälle ein Anästhesist die Maßnahmen durchführte und von diesen nur neun Versuche initial erfolgreich waren.

Die bereits in Kapitel 2.1.3.1. erwähnte Studie von Rosenstock et al., in der im Rahmen einer Kohortenstudie aus der Danish Anaesthesia Database von 452.461 Patienten bei 27 Patienten die Notwendigkeit einer Koniotomie berichtet wurde, erfasste ebenfalls Outcome und Komplikationen [48]. Einer der Patienten wurde aufgrund einer respiratorischen Insuffizienz reanimationspflichtig und konnte erfolgreich reanimiert werden, während ein weiterer Patient im hämorrhagischen Schock aufgrund eines rupturierten Bauchaortenaneurysmas verstarb. Insgesamt verstarben 13 der 27 nachverfolgten Patienten innerhalb von median sieben Monaten nach dem Ereignis, wobei bei keinem dieser Patienten ein unmittelbarer Zusammenhang mit der notfallmäßigen Koniotomie im Rahmen der schwierigen Atemwegssicherung oder eine vorausgegangene Hirnschädigung gefunden werden konnte [48]. Erwähnenswert ist, dass nur in sechs der 27 Fälle ein Anästhesist die Koniotomie durchführte und in der Hälfte dieser Fälle das Verfahren erfolglos war, so dass die Problematik der erfolglosen Atemwegssicherung entweder durch ärztliche Kollegen aus der Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde (HNO) oder durch die einsetzende Spontanatmung der behandelten Patienten gelöst wurde. Beschriebene Komplikationen im Zusammenhang mit der Atemwegssicherung waren Hautemphysem, Lungenödem und Blutungen in Einzelfällen [48].

In ihrem systematischen Review zur besten Vorgehensweise bei der chirurgischen Atemwegssicherung schlossen DeVore et al. 20 Studien ein, von denen 14 die notfallmäßige Koniotomie, vier die notfallmäßige Tracheotomie und zwei Artikel beide Verfahren evaluierten [69]. Diese Analyse umfasste 1219 Patienten im Zeitraum von 1979 bis 2016, die mit einer Koniotomie behandelt wurden. Für die Notwendigkeit zur Koniotomie war hauptsächlich ein vorangegangenes Trauma verantwortlich und abgesehen von einer eingeschlossenen Studie, die sich mit der präklinischen Koniotomie auseinandersetzte, befassten sich alle weiteren Untersuchungen mit der Koniotomie im innerklinischen Umfeld. Es handelte sich jedoch dementsprechend nicht explizit um Koniotomien im Rahmen einer elektiven Narkoseeinleitung mit konsekutiver CICO-Situation. Die Gruppe der durchführenden Ärzte war sehr heterogen und umfasste neben Allgemein- und Unfallchirurgen auch Anästhesiologen, Notfallmediziner und Hals-, Nasen- und Ohrenärzte. Die Rate früher Komplikationen lag im Mittel bei 13,4% und umfasste in absteigender Häufigkeit Verletzungen der Knorpelstrukturen, das Scheitern der Atemwegssicherung, Blutungen, eine zu lange Durchführungszeit sowie Pneumothoraces und subkutane Emphyseme. Späte Komplikationen traten im Mittel in 13,6% der Fälle auf und umfassten in absteigender Reihenfolge Stenosisierungen der Atemwege, Blutungen, Dysphonie, Aspirationspneumonien, Infektionen, Granulationen, Dysphagie und Luftleckagen [69].

Eine Folgestudie zur bereits zitierten Untersuchung von Peterson et al. stellt die 2019 von Joffe et al. veröffentlichte Analyse von abgeschlossenen Versicherungsfällen zu Zwischenfällen im Rahmen des Atemwegsmanagements aus den Jahren 2000 bis 2012 dar [70]. Von insgesamt 102 betrachteten Fällen lagen in 87 Fällen ausreichende Informationen vor, um diese zu evaluieren. Hiervon kam es in 92% (80 Fälle) zu einer CICO-Situation, in der wiederum bei 39% (31 Fällen) eine Verzögerung bei der Durchführung einer chirurgischen Atemwegssicherung auftrat. In 76% (61 von 80 Fällen) der CICO-Situationen wurde eine chirurgische Atemwegssicherung durchgeführt, wobei es in sechs Fällen zu Komplikationen wie der Durchtrennung der Trachea, ösophagealen Verletzungen und Blutungen kam. Das Outcome wurde nur für die Gesamtheit der untersuchten Fälle berichtet. Es verstarben 74 Patienten [70].

Man kann konstatieren, dass es sich bei der Koniotomie, die in den meisten aktuellen Algorithmen zur schwierigen Atemwegssicherung die letzte Option der Atemwegssicherung darstellt, weder um ein komplikationsarmes, noch um ein mit absoluter Sicherheit Erfolg bringendes Verfahren handelt. Daher ist es erstrebenswert, mehr als eine Technik der Koniotomie zu beherrschen [5]. Hierzu ist einerseits regelmäßiges Training der rein technischen Fertigkeiten nötig, andererseits aber auch die Schulung nicht-technischer Fertigkeiten, um das Erkennen der CICO-Situation und die zeitnahe Entscheidung zur Durchführung einer Koniotomie zu ermöglichen [5, 61, 70].

2.2 Kreislaufstillstand und kardiopulmonale Reanimation

Ein Kreislaufstillstand führt unbehandelt bereits innerhalb weniger Minuten unweigerlich zur Hirnschädigung und im weiteren Verlauf zum Versterben der betroffenen Person. Um diesen Prozess zu unterbrechen und im besten Falle sogar zu therapieren, wurden im Verlauf mehrerer Jahrhunderte unterschiedlichste Maßnahmen zur kardiopulmonalen Reanimation erprobt und weiterentwickelt, wie Hermreck es in seinem Artikel zur Geschichte der kardiopulmonalen Reanimation darlegt [71]. Auf dort erwähnte frühe Bemühungen wie die Insufflation von Tabakrauch in das Rektum Sterbender oder das Eintauchen Sterbender in heiße Ölbäder soll im Folgenden nicht näher eingegangen werden. Stattdessen werden in den nachfolgenden Kapiteln zuerst die aktuellen Algorithmen zur kardiopulmonalen Reanimation der beiden im deutschsprachigen Raum relevanten Organisationen, des European Resuscitation Council (ERC) und der American Heart Association (AHA), gegenübergestellt. Aufgrund der Tatsache, dass beide Organisationen im International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR) vertreten sind, auf dessen Empfehlungen und Bewertungen der vorhandenen Studienlage zur kardiopulmonalen Reanimation die jeweiligen Algorithmen zurückgreifen, besteht zwischen den veröffentlichten Algorithmen beider Organisationen eine

große Übereinstimmung. Somit wird zuerst der Algorithmus zur erweiterten kardiopulmonalen Reanimation des ERC vollständig dargestellt und im Weiteren werden nur die Abweichungen im Algorithmus der AHA dargelegt. Weitere Schwerpunkte des Kapitels stellen die Empfehlungen und Probleme der Atemwegssicherung unter CPR sowie die Besonderheiten bei hypoxisch bedingten Kreislaufstillständen dar.

2.2.1 Algorithmus zur kardiopulmonalen Reanimation

Im Jahr 1992 veröffentlichte der ERC seine ersten Leitlinien zur kardiopulmonalen Reanimation, die seitdem in zeitlichen Abständen von etwa fünf Jahren in aktualisierter Form bereitgestellt werden. Die zum Zeitpunkt der Datenerhebung der vorliegenden Untersuchung aktuelle Fassung aus dem Jahr 2015 sowie die im März 2021 veröffentlichte letzte Aktualisierung der Leitlinien unterscheiden sich in Bezug auf den grundlegenden Algorithmus zur erweiterten kardiopulmonalen Reanimation nur marginal, so dass hier ausschließlich der aktuelle Algorithmus dargestellt wird [7, 72].

Bei Auffinden einer bewusstlosen Person, die nicht normal oder überhaupt nicht atmet, soll zuerst ein Notruf abgesetzt werden. Direkt im Anschluss soll mit der kardiopulmonalen Reanimation begonnen werden. Dies erfolgt im Verhältnis von 30 Thoraxkompressionen zu zwei Beatmungen. Sobald ein Defibrillator verfügbar ist, soll dieser unter fortgesetzten Thoraxkompressionen am Patienten angeschlossen werden, um den Herzrhythmus zu analysieren. Liegt ein defibrillierbarer Herzrhythmus vor, sollen eine Defibrillation durchgeführt und direkt im Anschluss Thoraxkompressionen und Beatmungen fortgesetzt werden. Beim Vorliegen eines nicht-defibrillierbaren Rhythmus sollen Thoraxkompressionen und Beatmungen unverzüglich fortgesetzt werden. Nach zwei Minuten CPR erfolgt die nächste Rhythmuskontrolle. Der Fokus soll auf hochqualitativen Thoraxkompressionen mit minimalen Unterbrechungen liegen, zudem werden die frühestmögliche Defibrillation und das Behandeln von reversiblen Ursachen des Kreislaufstillstandes als oberste Prioritäten betont. Nach der Anlage eines peripheren oder intraossären Zugangs soll bei nicht-defibrillierbaren Rhythmen eine Adrenalingabe sofort erfolgen, bei defibrillierbaren Rhythmen erfolgt die Gabe von Adrenalin und Amiodaron erst nach der dritten Defibrillation. Die Adrenalingabe wird nach drei bis fünf Minuten wiederholt. Bezüglich der Beatmung und der Atemwegssicherung wird die Gabe von Sauerstoff sowie initial die Beutel-Masken-Beatmung empfohlen. Eine endotracheale Intubation soll nur durch Anwender mit ausreichender Erfahrung durchgeführt werden, eine Alternative stellen extraglottische Atemwegshilfen dar. Sobald der Atemweg gesichert ist, sollen die Thoraxkompressionen ununterbrochen fortgesetzt werden und mit einer Frequenz von zehn Beatmungen pro Minute beatmet werden. Ergänzend wird die Nutzung einer Kapnographie empfohlen [7]. Die potenziell reversiblen Ursachen eines

Kreislaufstillstandes, die während der fortlaufenden Reanimation evaluiert und behandelt werden sollen, werden in der englischsprachigen Originalfassung als „4 H's & 4 T's“ zusammengefasst, die deutsche Übersetzung nutzt hier als Akronyme „4 H's und HITS“ [73]. Diese potenziell reversiblen Ursachen sind für die vorliegende Arbeit von großer Relevanz, da die Hypoxie als eine dieser reversiblen Ursachen des Kreislaufstillstandes in den Simulationsszenarien genutzt wurde.

Die Geschichte der AHA bezüglich der Erarbeitung von Empfehlungen und Leitlinien zur kardiopulmonalen Reanimation reicht deutlich weiter zurück, bereits im Jahr 1975 wurde das erste Lehrbuch mit Empfehlungen zur kardiopulmonalen Reanimation veröffentlicht (<https://cpr.heart.org/en/resources/history-of-cpr> [74], abgerufen am 25.01.2022). Zum Durchführungszeitpunkt der vorliegenden Untersuchung stammten die aktuellsten Leitlinien aus dem Jahr 2015, seit 2017 findet durch die AHA eine kontinuierliche Evaluation der neuen Evidenz mit Veröffentlichung von sogenannten „Focused Updates“ statt (<https://cpr.heart.org/en/resources/history-of-cpr>[74], abgerufen am 25.01.2022). Im Jahr 2020 wurden aktualisierte Leitlinien zur erweiterten kardiopulmonalen Reanimation veröffentlicht, die dem neuesten Stand der Wissenschaft entsprechen. Ähnlich wie in den europäischen Leitlinien des ERC ergaben sich zwischen den Fassungen von 2015 und 2020 bezüglich des grundlegenden Algorithmus zur erweiterten kardiopulmonalen Reanimation nur marginale Änderungen, so dass an dieser Stelle und im Folgenden auf den aktuellsten Algorithmus aus dem Jahr 2020 Bezug genommen wird [8, 75]. Die gravierendsten Unterschiede zum Algorithmus des ERC aus dem Jahr 2021 stellen der Zeitpunkt der Adrenalingabe bei defibrillierbaren Herzrhythmen sowie die Medikamentenauswahl bei defibrillierbaren Rhythmen dar. Während der ERC bei defibrillierbaren Rhythmen eine Adrenalingabe zeitgleich mit Amiodaron nach der dritten Defibrillation empfiehlt, wird diese im Algorithmus der AHA bereits nach der zweiten Defibrillation empfohlen. Bezüglich der Medikamentenauswahl nennt die AHA als Alternative zu Amiodaron nach der dritten Defibrillation ausdrücklich Lidocain. Dies wird in den Ausführungen zum Algorithmus des ERC zwar ebenfalls als alternatives Medikament genannt, hat jedoch keinen Einzug in das Flowchart zum Algorithmus gehalten. Bezüglich Beatmung und Sicherung der Atemwege decken sich die Empfehlungen der AHA mit denen des ERC: Sauerstoffgabe, initialer Wechsel von Thoraxkompressionen und Beatmungen im Verhältnis von 30:2 und nach erfolgter Atemwegssicherung mit Hilfe eines Endotrachealtubus oder einer extraglottischen Atemwegshilfe die kontinuierliche Fortsetzung der Thoraxkompressionen sowie Beatmungen mit einer Frequenz von 10 Hüben pro Minute. Auch hier liegt der Fokus jedoch nicht auf Beatmungen oder der Atemwegssicherung, sondern auf hochwertigen Thoraxkompressionen und frühzeitiger Defibrillation [8].

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sich die aktuellen Algorithmen zu erweiterten Maßnahmen der kardiopulmonalen Reanimation der beiden für den

deutschsprachigen Raum relevanten Organisationen nur unwesentlich unterscheiden. Daher wird in den folgenden Kapiteln nur der an der Universitätsmedizin Mainz genutzte Algorithmus des ERC für die weiteren Fragestellungen herangezogen.

2.2.2 Atemwegssicherung unter kardiopulmonaler Reanimation

Wie bereits im vorherigen Kapitel beschrieben, liegt der Fokus des Algorithmus zur erweiterten kardiopulmonalen Reanimation auf der Durchführung von hochwertigen Thoraxkompressionen mit minimalen Unterbrechungen sowie einer frühzeitigen Defibrillation [7]. Bezüglich Beatmung und Atemwegssicherung gilt, dass die Anwender mit Basistechniken der Beatmung beginnen und je nach individueller Qualifikation schrittweise weiter eskalieren sollen, bis eine effektive Ventilation erreicht wird. Die endotracheale Intubation wird nur für erfahrene Anwender empfohlen, die eine hohe Erfolgsrate vorweisen können. Diese ist durch Expertenkonsens als erfolgreiche Intubation innerhalb von zwei Versuchen in über 95% der Fälle definiert. Für die endotracheale Intubation sollen die Thoraxkompressionen für weniger als fünf Sekunden unterbrochen werden, wenn verfügbar und abhängig von der Erfahrung des Anwenders wird die Nutzung der Videolaryngoskopie empfohlen. Nach Sicherung der Atemwege sollen ununterbrochene Thoraxkompressionen durchgeführt werden, während mit einer Frequenz von zehn Atemhüben pro Minute ventiliert wird. Als Erfolgskontrolle für eine ausreichende Beatmung dient eine sichtbare Thoraxexkursion. Es handelt sich bei den Empfehlungen zur Atemwegssicherung um schwache Empfehlungen mit niedrigem bis sehr niedrigem Evidenzgrad. Die Tatsache, dass in seltenen Fällen eine Beutel-Masken-Beatmung und konventionelle Atemwegssicherung unmöglich sein können, wird ebenfalls in den Leitlinien des ERC erwähnt. Hier empfehlen die Autoren eine chirurgische Koniotomie, ohne weiter auf dieses Verfahren oder zugehörige Atemwegsalgorithmen einzugehen [7]. Die Untersuchungen, auf die im Rahmen der Erstellung der Leitlinien zurückgegriffen wurde, weisen bezüglich ihres Aufbaus und ihrer Ergebnisse eine große Heterogenität auf, so dass keine sicheren Empfehlungen gegeben werden können, ob eine spezifische Atemwegsintervention zu einer höheren Überlebenschance oder einem besseren neurologischen Zustand bei den Überlebenden führt [7]. So führten Granfeldt und Kollegen im Jahr 2019 ein systematisches Review zum erweiterten Atemwegsmanagement bei Patienten mit Kreislaufstillstand durch, bei dem sie aufgrund der uneinheitlichen Studienlage auf eine Meta-Analyse verzichteten [76]. Erwähnenswert ist hier die im Rahmen der Diskussion des Artikels aufgebrachte These, dass das optimale Atemwegsmanagement und der optimale Zeitpunkt für diese Intervention vom individuellen Patienten und den spezifischen Umständen des Kreislaufstillstands abhängig sind [76]. Als Beispiel führen sie einen Patienten mit Hypoxie und offensichtlicher Aspiration als Ursache für den Kreislaufstillstand an, der höchstwahrscheinlich von einem erweiterten Atemwegsmanagement mit endotrachealer

Intubation profitieren würde [76]. Im Gegensatz hierzu kann eine Fokussierung auf eine bestimmte Technik zur Beatmung für jeden Patienten jedoch auch negative Konsequenzen nach sich ziehen, wie bereits im Jahr 2009 eine Untersuchung von Wang et al. zeigte [77], die ebenfalls in den Leitlinien des ERC berücksichtigt wird. Es wurden 100 Reanimationen außerhalb des Krankenhauses untersucht, bei denen durch Paramedics eine endotracheale Intubation durchgeführt wurde. Hierbei kam es median zu zwei Unterbrechungen der Thoraxkompressionen mit einer gesamten Zeitspanne von median 46,5 Sekunden [77]. Dies steht in starkem Kontrast zu den Empfehlungen des ERC, möglichst kontinuierliche Thoraxkompressionen durchzuführen. Daher bietet diese Untersuchung sowohl für die eingangs genannte schrittweise Eskalation der Beatmungsstrategie als Methode der Wahl im Rahmen der Reanimation als auch für die Durchführung der endotrachealen Intubation nur durch Geübte nachvollziehbare Argumente. Interessanterweise fanden Khandelwal und Kollegen im Jahr 2014 in einer Studie zu endotrachealen Intubationen im Rahmen von innerklinischen Kreislaufstillständen im Vergleich zu endotrachealen Intubationen in sonstigen Notfallsituationen heraus, dass der Kreislaufstillstand selbst einen Prädiktor für eine schwierige endotracheale Intubation darstellt [78]. Bei den Anwendern der endotrachealen Intubation handelte es sich durchgehend um erfahrenes Personal.

Obgleich somit die Gefahr einer schwierigen Atemwegssicherung im Rahmen eines Herz-Kreislaufstillstandes höher als bei elektiven Atemwegssicherungen zu sein scheint, verzichten die aktuellen Leitlinien von ERC und AHA auf ausführliche Empfehlungen zu dieser Problematik. Auch findet sich kein expliziter Verweis auf bestehende nationale oder internationale Leitlinien zur Sicherung des schwierigen Atemweges. Somit ist der Anwender im Falle der Konfrontation mit einem schwierigen Atemweg unter kardiopulmonaler Reanimation gezwungen, parallel zwei unabhängige Algorithmen zu befolgen und abzuarbeiten, um den Patienten bestmöglich zu versorgen.

2.2.3 Besonderheiten des hypoxisch bedingten Kreislaufstillstandes

Im Rahmen der Versorgung reanimationspflichtiger Patienten gemäß den Leitlinien des ERC sollen als mögliche reversible Ursachen des Kreislaufstillstands die „vier H“ und „HITS“ identifiziert oder ausgeschlossen werden [7]. Hierbei handelt es sich um Akronyme für Pathologien wie beispielsweise Hypovolämie, Hypoxie und Hypothermie. In diesem Kapitel wird auf die Hypoxie als mögliche reversible Ursache eines Kreislaufstillstands näher eingegangen. Denn während für die Mehrheit der Patienten mit Kreislaufstillstand die Fokussierung auf hochwertige Thoraxkompressionen und frühzeitige Defibrillation nach aktueller Datenlage die Überlebenschancen steigert, benötigen Patienten mit einer Hypoxie als führender Ursache der Reanimationspflichtigkeit obligat eine Atemwegssicherung

oder wenigstens eine adäquate Oxygenierung [79]. Auch die aktuellen Leitlinien des ERC adressieren die Hypoxie nochmals explizit im Kapitel zum Kreislaufstillstand unter besonderen Umständen [80]. Hier beschränkt sich die Anpassung der Empfehlungen an die Hypoxie als potenziell reversible Ursache aber lediglich auf drei Aussagen. So soll der allgemeine Advanced Life Support (ALS)-Algorithmus angewandt werden und die Ursache der Asphyxie bzw. Hypoxämie gleichzeitig mit höchster Priorität behandelt werden [80]. Effektive Beatmungen mit der höchstmöglichen verfügbaren Sauerstoffkonzentration stellen eine Priorität bei Patienten mit asphyktischem Kreislaufstillstand dar [80]. Auch in der zum Zeitpunkt der Erstellung der vorliegenden Untersuchung gültigen Fassung der ERC-Leitlinien von 2015 wird die Hypoxie als Ursache explizit und zudem ausführlicher adressiert [81]. Neben einer genaueren Aufschlüsselung des Verlaufes eines hypoxischen – bzw. korrekter asphyktischen – Kreislaufstillstandes wird auf verschiedene Ursachen der Asphyxie und die pathophysiologischen Mechanismen eingegangen, die nach dem Atemstillstand eine Hypoxie und hierauf folgend in der Regel eine PEA (pulslose elektrische Aktivität) im EKG als initialen Herzrhythmus im Rahmen des Kreislaufstillstandes auslösen [81]. Die therapeutischen Empfehlungen unterscheiden sich jedoch nicht von den aktuellen Leitlinien aus dem Jahr 2021.

Somit kann zusammengefasst werden, dass sich nach aktuellen Leitlinien die Behandlung des hypoxisch bedingten Kreislaufstillstandes trotz der Unterschiede in der zugrundeliegenden Pathophysiologie nicht von der Vorgehensweise bei kardialen Ursachen unterscheidet.

3. Material und Methoden

3.1 Ethikvotum

Die Studie wurde bei der zuständigen Ethik-Kommission der Landesärztekammer Rheinland-Pfalz (Deutschhausplatz 3, 55116 Mainz) angemeldet. Diese entschied am 14. September 2016, dass für die geplante Untersuchung keine formale Registrierung notwendig sei, so dass keine Registriernummer vergeben wurde. Die Teilnahme an der Studie war freiwillig. Vor Beginn der Untersuchung wurde von allen Probanden eine schriftliche Einverständniserklärung eingeholt.

3.2 Stichprobe

Die Durchführung der Studie erfolgte in den Jahren 2016 und 2017 im Rahmen eines jährlichen klinikinternen simulatorbasierten Trainings über die Behandlung von Atemwegszwischenfällen. Das Training umfasste in beiden Jahren eine Dauer von vier Tagen und fand innerhalb der Arbeitszeit statt. Die Probanden wurden aus den Reihen der ärztlichen Mitarbeiter der Klinik für Anästhesiologie der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz rekrutiert. Alle Probanden mit Ausnahme einer einzigen Person hatten bereits in den vergangenen Jahren an mindestens einem der klinikinternen Trainings teilgenommen, wie die Sichtung vorheriger Teilnehmerlisten ergab. Es wurden insgesamt 40 Probanden mit mehrjähriger Erfahrung in Atemwegssicherung rekrutiert. Die Probanden erhielten einen zufälligen vierstelligen Zahlencode, um sowohl die Videoaufzeichnungen der Szenarien als auch die Fragebögen pseudonymisiert auswerten zu können.

3.3 Fragebogen

Vor und nach den Szenarien wurde von den Probanden jeweils ein Fragebogen ausgefüllt (s. Anhang I und II). Vor den Szenarien wurden demographische Daten mit Schwerpunkt auf klinischer Vorerfahrung und insbesondere Atemwegssicherung erhoben: Geschlecht, Qualifikation (Assistenzarzt oder Facharzt), Anzahl der bisher im Bereich der Anästhesiologie gearbeiteten Jahre und die bisherige Arbeitsdauer als Facharzt oder bereichsleitender Facharzt, sofern zutreffend. Die Erhebung der Zeiten der beruflichen Erfahrung erfolgte in vollendeten Jahren zwischen 0 und 20, bei einer Erfahrung von mehr als 20 Jahren fand keine Differenzierung der genauen Jahre statt. Des Weiteren wurden Angaben über die Zusatzbezeichnung Notfallmedizin und eventuelle ärztliche Tätigkeiten in anderen Fachgebieten mit Angabe des Faches und der Dauer erfasst. Angaben zu bereits vor Erlangen der Approbation gesammelten Erfahrungen in den Bereichen Rettungsdienst und Anästhesie- oder Intensivpflege mit der zusätzlichen Erfassung der Zeit in Jahren komplettierten die

Erhebung der individuellen Expertise in den Bereichen Anästhesie und Notfallmedizin. Die Kategorisierung wurde jeweils auf drei Jahre genau in den drei Bereichen „anderes Fachgebiet“, „Rettungsdienst vor Approbation“ und „Anästhesie vor Approbation“ erhoben.

Der Fragebogen nach den Szenarien umfasste Fragen in Bezug auf Koniotomien am Patienten. Zuerst wurde abgefragt, ob der Proband bereits bei einer Koniotomie assistiert oder selbst eine Koniotomie durchgeführt hatte. Dann wurde die Anzahl der assistierten und selbstständig durchgeführten Koniotomien erhoben. Hierbei wurde die Anzahl der jeweiligen Koniotomien in den Kategorien „weniger als drei“ (< 3), „drei bis sechs“ ($3 - 6$) und „mehr als sechs“ (> 6) kategorisiert. Des Weiteren wurde das bisher bevorzugte Instrument zur Atemwegssicherung erhoben. Zur Auswahl standen acht Optionen: „konventionelles Laryngoskop“, „Videolaryngoskop“, „flexible Optik“, „starre Optik“, „Intubationslarynxmaske“, „Larynxmaske“, „Larynxtubus“ oder die freie Angabe eines nicht aufgeführten Gerätes. Es war nur jeweils eine Antwort möglich. Der folgende Abschnitt umfasste vier Aussagen zum Atemwegsalgorithmus, die anhand einer fünfstufigen Likert-Skala zu beurteilen waren. Eine Stellungnahme erfolgte zu den Aussagen: „Ich halte den Atemwegsalgorithmus für gut“, „Ich beherrsche den Atemwegsalgorithmus sicher“, „Im Atemwegsalgorithmus fehlt mir etwas“ und „Der Atemwegsalgorithmus ist auch während einer Reanimation problemlos anwendbar“. Den Abschluss des Fragebogens bildeten drei offene Fragen, die mittels Freitextes zu beantworten waren: „Fehlt Ihnen im Ablauf des Atemwegsalgorithmus eine Maßnahme / ein Zwischenschritt?“, „Wie definieren Sie eine Hypoxie?“ und „Weshalb haben Sie sich im Szenario für die Durchführung einer Koniotomie entschieden?“.

3.4 Studiendesign

Jeder Proband durchlief zwei Szenarien, in denen jeweils die Notwendigkeit zur notfallmäßigen Koniotomie gegeben war. In einem der Szenarien war zeitgleich die Durchführung und Koordination einer Reanimation erforderlich, im anderen Szenario wurde eine Notfallsituation mit schwerwiegender Hypoxie ohne Herzkreislaufstillstand simuliert. Beide Szenarien wurden von den Probanden als verantwortlicher Arzt und Teamleiter absolviert.

Um einen Lerneffekt vom einen auf das andere Szenario zu vermeiden, wurden die Abfolgen der Szenarien (Reanimation, dann keine Reanimation und umgekehrt) sowie die simulierte Lokalisation der Szenarien (CT-Raum und OP-Saal) in einem Crossover-Design gewechselt. Gruppen von bis zu sechs Probanden durchliefen zuerst ein Szenario in einer der beiden Umgebungen (CT-Raum oder OP-Saal), um im Anschluss ein Szenario in der zweiten Umgebung zu absolvieren. Die Reihenfolge der Szenario-Umgebung wurde zwischen einer Vormittags- und einer Nachmittagsgruppe, die jeweils aus bis zu sechs Probanden bestanden,

variiert. Zusätzlich wurde zwischen den Probandengruppen die Zuteilung zu einer der Sequenzen (zuerst Reanimation, dann keine Reanimation und umgekehrt) randomisiert (s. Tabelle 1). Durch zufälliges Ziehen der auf identische Papierstreifen geschriebenen Namen der Probanden aus einer undurchsichtigen Box erfolgte die Zuteilung zu einem Untersuchungstag und der Vormittags- oder Nachmittagsgruppe. Eine Verblindung der Probanden wurde dadurch erreicht, dass Informationen über Aufbau und Ziel der Untersuchung bis zum Abschluss der vollständigen Datenerhebung zurückgehalten wurden. Da die Untersuchung im Rahmen der Arbeitszeit stattfand, konnten die Probanden zu Stillschweigen über die Inhalte nach Absolvieren der beiden Szenarien verpflichtet werden.

	Tag 1	Tag 2	Tag 3	Tag 4
Vormittag	OP mit CPR	OP ohne CPR	CT mit CPR	CT ohne CPR
	CT ohne CPR	CT mit CPR	OP ohne CPR	OP mit CPR
Nachmittag	CT ohne CPR	CT mit CPR	OP ohne CPR	OP mit CPR
	OP mit CPR	OP ohne CPR	CT mit CPR	CT ohne CPR

Tabelle 1: Crossover-Blockdesign

3.5 Versuchsaufbau

In den folgenden Unterkapiteln werden zuerst die genutzten Räumlichkeiten, Geräte und Atemweghilfsmittel dargestellt. Zudem wird kurz auf den bereits im Kapitel 2.1.3.2 vorgestellten innerklinischen Atemwegsalgorithmus eingegangen. Es folgt die ausführliche Darstellung der verschiedenen Simulationsszenarien mit den Reaktionen auf Aktionen der Probanden sowie des Weiteren die Darstellung der genutzten Materialien für Bild- und Tonaufzeichnung und die Datenerfassung.

3.5.1 Räumlichkeiten und Geräte

Beide Szenarien wurden in einem ehemaligen OP-Saal durchgeführt, der zu den Räumlichkeiten des Simulationszentrums der Klinik für Anästhesiologie zählt. Als Patientensimulator stand ein Erwachsenenmodell „SimMan“ (Laerdal Medical AS; Stavanger, Norwegen) zur Verfügung. Um einen Patienten mit einer CICO-Situation zu simulieren, wurden für den Atemweg des Simulators die folgenden vorhandenen Einstellungsoptionen aktiviert:

Zungenschwellung, pharyngeale Obstruktion, eingeschränkte Kopfreklination, Laryngospasmus und Trismus. Zur Unterstützung des Laryngospasmus wurden links und rechts der Trachea auf Höhe der Glottisebene jeweils zwei Mullkompressen eingebracht. Hierdurch wurde eine deutliche Verstärkung der Kompression des Atemweges erreicht, um auch gewaltsamen Intubationsversuchen standhalten zu können. Der Patientensimulator war auf einem OP-Tisch gelagert und arretiert. Am Fußende zur rechten Seite befanden sich die Steuerungseinheit des Simulators sowie der zugehörige Überwachungsmonitor, der die Wiedergabe von EKG, invasiver und nicht-invasiver Blutdruckmessung, peripherer Sauerstoffsättigung, Atemfrequenz und endexpiratorischem CO₂ ermöglichte. Auf der rechten Patientenseite auf Höhe des Oberkörpers war das Beatmungsgerät platziert. Für die Umgebung „OP-Saal“ handelte es sich um ein Narkosebeatmungsgerät Pallas (Firma Dräger, Lübeck, Deutschland), für die Umgebung „CT-Raum“ wurde ein Intensivrespirator G5 (Firma Hamilton Bonaduz AG, Bonaduz, Schweiz) genutzt. Beide Geräte werden in der Klinik für Anästhesiologie täglich genutzt und die Probanden sind im Umgang mit ihnen geschult und vertraut. Zur Darstellung der Szenarioumgebung „CT-Raum“ wurde am OP-Tisch auf Höhe der Beine des Patientensimulators ein mit blauen Tüchern umwickeltes Metallgestell angebracht, welches die Gantry des CT darstellte. Sofern das Szenario in der Umgebung „OP-Saal“ simuliert wurde, war der Zugang zur unteren Körperhälfte des Patientensimulators frei. Der Kopf und die linke Seite des Patienten waren in allen Szenarien frei zugänglich. Mit ausreichend Abstand hinter dem Kopf des Patienten, um den freien Zugang zu gewährleisten, waren ein Narkosewagen und ein Difficult Airway-Wagen platziert. Bei beiden Wagen handelt es sich um Rollschränke mit mehreren Schubladen sowie einer Arbeitsfläche und der Möglichkeit, weiteres Material oberhalb der Arbeitsfläche anzubringen. Die Narkosewagen in der Klinik für Anästhesiologie der Universitätsmedizin Mainz sind in allen Arbeitsbereichen nach einem klinikinternen Standard mit grundlegenden Arbeitsmaterialien und Medikamenten zur Narkoseeinleitung, -aufrechterhaltung und -ausleitung sowie zur Atemwegssicherung ausgestattet. Der Difficult Airway-Wagen ist ebenfalls standardisiert ausgestattet und beinhaltet Material zur Behandlung des schwierigen Atemwegs (s. Kapitel 3.5.3). Als Defibrillator stand ein Gerät der R Series (Firma Zoll, Chelmsford, MA, USA) zur Verfügung, sofern dieser im Rahmen eines Reanimationsszenarios durch den Probanden angefordert wurde. Auch dieses Gerät wird in sämtlichen OP-Bereichen der Universitätsmedizin Mainz vorgehalten, so dass die Probanden in die Handhabung eingewiesen sind. Um Problemen mit der Nutzung des Simulators und den verfügbaren Geräten und Materialien vorzubeugen, erhielten die Probanden eine fünfzehnminütige Einführung in die Gegebenheiten der Simulationsumgebung vor Beginn der Szenarien.

3.5.2 Innerklinischer Atemwegsalgorithmus

Bereits seit dem Jahr 2008 wird ein Algorithmus zur Behandlung des unerwartet schwierigen Atemwegs an der Klinik für Anästhesiologie der Universitätsmedizin Mainz vorgehalten. Dieser wurde im Jahr 2015 entsprechend der S1-Leitlinie Atemwegsmanagement aktualisiert (vgl. Kapitel 2.1.3.2). Als Ultima Ratio bei drohender Asphyxie ist in diesem Algorithmus die notfallmäßige Koniotomie implementiert. Jährlich findet an der Klinik ein mehrtägiges Training zum Atemwegsmanagement statt, in dem alle im Algorithmus implementierten Maßnahmen der Atemwegssicherung regelmäßig an Modellen trainiert werden. In simulatorbasierten Szenarien wird zudem das Befolgen des Algorithmus geübt und vertieft. Im Durchschnitt wird den Mitarbeitern eine Teilnahme alle zwei bis drei Jahre ermöglicht. Ergänzend sind Poster mit dem Algorithmus zur Behandlung des unerwartet schwierigen Atemwegs in allen Narkoseeinleitungsräumen der Universitätsmedizin Mainz angebracht und es stehen Kitteltaschenkarten zur Verfügung.

3.5.3 Verfügbare Atemwegshilfsmittel

Zur Lösung der beiden Szenarien, in denen die Probanden mit der Behandlung eines unerwartet schwierigen Atemwegs konfrontiert wurden, standen verschiedene Atemwegshilfsmittel zur Verfügung. Diese entsprachen den nach klinikinternem Standard im Narkosewagen und Difficult Airway-Wagen vorgehaltenen Instrumenten, in deren Nutzung die Probanden regelhaft geschult wurden. Zur Optimierung der Masken-Beutel-Beatmung standen Guedel- und Wendltuben in passenden Größen zur Verfügung. Neben einem konventionellen Laryngoskop mit Macintosh-Spateln in verschiedenen Größen stand ein Videolaryngoskop (VL) „C-MAC“ (Firma Karl Storz SE & Co. KG, Tuttlingen, Baden-Württemberg, Deutschland) mit verschieden großen Macintosh-Spateln sowie einem hyperangulierten Spatel bereit. Als extraglottisches Atemwegshilfsmittel (EGA) wurden Larynxmasken (LMA) der ersten und zweiten Generation („Ambu AuraOnce“ und „Ambu AuraGain“; Firma Ambu, Ballerup, Hovedstaden, Dänemark) in verschiedenen für den Simulator potenziell passenden Größen bereitgehalten. Da der Larynxtrachealtubus (LT) in den Difficult Airway-Wagen der Klinik für Anästhesiologie nicht vorgehalten wird, wurde dieser auch im Rahmen der Studie nicht als Option angeboten. Bei Anforderung eines LT durch den Probanden wurde auf die fehlende Verfügbarkeit hingewiesen und als Alternative eine LMA angeboten. Zusätzlich wurde eine Intubationslarynxmaske (ILMA) „Fastrach“ (Firma Teleflex Incorporated, Wayne, PA, USA) vorgehalten. Außerdem waren ein starres Intubationsendoskop „Bonfils“ (Firma Karl Storz SE & Co. KG, Tuttlingen, Baden-Württemberg, Deutschland) sowie zwei verschiedene flexible Fiberoptiken (Firma Ambu und Firma Karl Storz SE) mit zugehörigen Monitorsystemen verfügbar. Als Endotrachealtuben (ET) lagen sowohl Murphy-Tuben als auch Woodbridge-Tuben in verschiedenen Größen und passende starre

Führungsstäbe bereit. Zur Durchführung einer chirurgischen Koniotomie waren Skalpelle und Spekula verfügbar. Zudem wurde für die perkutane Dilatationskoniotomie ein Melker-Katheter-Set (Melker Emergency Cricothyrotomy Catheter Set, Firma Cook, Bloomington, IN, USA) vorgehalten. Die Materialien wurden, sofern keine offensichtlichen Beschädigungen vorlagen, mehrfach wiederverwendet und nur bei Bedarf ausgetauscht.

3.5.4 Szenarien

In beiden Szenarien simulierten zwei Instruktoren jeweils einen Assistenzarzt und eine Anästhesie-Fachpflegekraft. Das zur Verfügung stehende Material umfasste den standardisierten Inhalt des Difficult Airway-Wagens wie in Kapitel 3.5.3 beschrieben.

Vor jedem Szenario erhielt der Proband vor Betreten des Raumes ein standardisiertes Briefing mit Hintergrundinformationen zum bevorstehenden Fall (s. Anhänge III - VI). Der Proband wurde von dem durch einen Instruktor simulierten Assistenzarzt zur Hilfe gerufen und musste die Situation fachlich und organisatorisch übernehmen. Es wurde keinerlei Hilfestellung von den Instruktoren zu medizinischen Fragen gegeben. Die Maßnahmen im Rahmen der Atemwegssicherung waren vom Probanden selbst durchzuführen, wobei das Material durch die Instruktoren auf Anweisung korrekt vorbereitet und angereicht wurde. Im Anschluss an das absolvierte Szenario fand eine kurze, strukturierte Nachbesprechung durch einen erfahrenen Instruktor statt. Der Fokus dieser Nachbesprechungen lag auf dem Atemwegsalgorithmus und der vorherigen Performance des Probanden mit möglichen Optimierungsvorschlägen und Denkanstößen.

3.5.4.1 Szenario im OP-Saal

In einem Szenario wurde eine Narkoseeinleitung im OP-Saal simuliert. Die Kurzeinweisung für den Probanden umfasste folgende Informationen: „Sie sind aufsichtführender Facharzt im OP-Bereich. Herr André Becker, ein 1967 geborener Patient der Kategorie 3 nach ASA-Klassifikation, hat sich zur medialen Leistenhernien-OP mit Netzeinlage unter Vollnarkose vorgestellt. Als Vorerkrankungen hat er eine Pollenallergie, eine Adipositas mit einem BMI von 33 kg/m² sowie einen Nikotinabusus mit ca. 20 pack years. Die Narkose wurde soeben eingeleitet, der Patient lässt sich aber nicht adäquat beatmen. Daher werden Sie zu Hilfe gerufen.“

3.5.4.1.1 Szenario im OP-Saal ohne Reanimation

Ein Instruktor hatte die Rolle des narkoseführenden Assistenzarztes inne, der am Beatmungsgerät stand und dem Probanden erneut die Information gab, dass die Narkoseinduktion soeben stattgefunden habe und eine Beutel-Masken-Beatmung nicht adäquat möglich sei. Auf Nachfrage erhielt der Proband die zusätzliche Information, dass die

Induktion mit 40 µg Sufentanyl, 300 mg Propofol und 50 mg Atracurium vorgenommen worden sei und das Muskelrelaxans bereits vor mehr als vier Minuten verabreicht wurde. Das Narkosegerät war auf den Modus „Manuell / Spontanatmung“ und auf einen Frischgasfluss von 8 Litern Sauerstoff pro Minute eingestellt. Die Ausgangswerte der Vitalparameter des Patienten waren eine periphere Sauerstoffsättigung (SpO₂) von 70%, eine Herzfrequenz von 50 Schlägen pro Minute und ein aktuell gemessener NIBP von 110/60 mmHg.

Der zweite Instruktor in der Rolle der Anästhesie-Fachpflegekraft stand für weitere Anweisungen zur Verfügung und befolgte diese prompt und kompetent.

3.5.4.1.2 Szenario im OP-Saal mit Reanimation

Handelte es sich im OP-Saal um ein Szenario mit Reanimation, waren die applizierten Medikamentendosierungen und die bisher frustrane Beutel-Masken-Beatmung identisch zum Szenario ohne Reanimation. Zusätzlich erhielt der Proband im Rahmen des standardisierten Briefings die Information, dass der Puls des Patienten nicht mehr palpabel gewesen sei und man deshalb gerade eben mit der Herzdruckmassage begonnen habe. Die periphere Sauerstoffsättigung (SpO₂) war nicht messbar, die Herzfrequenz im EKG lag bei 20 Schlägen pro Minute und der letzte gemessene NIBP lag bei 60/30 mmHg, danach waren nur noch frustrane Messversuche erfolgt. Ein etCO₂ konnte nicht detektiert werden.

Der zweite Instruktor in der Rolle der Anästhesie-Fachpflegekraft führte eine leitliniengerechte Herzdruckmassage durch.

3.5.4.2 Szenario im CT-Raum

Im alternativen Szenario wurde ein intensivmedizinisch betreuter und analgosedierter Patient simuliert, der zu einer CT-Untersuchung auf den CT-Tisch umgelagert worden war. Hierbei erhielt der Teilnehmer folgende Hintergrundinformationen: „Sie sind diensthabender Facharzt in der Klinik. Eine Patientin der Kategorie 3 nach ASA-Klassifikation wurde arztbegleitet von der anästhesiologischen Intensivstation in die Radiologie transportiert, da bei Verdacht auf eine beginnende Sepsis eine CT-Untersuchung zur Fokussuche vorgenommen werden soll. Bei der Patientin ist vor vier Tagen eine ausgedehnte Resektion eines Kolonkarzinoms durchgeführt worden. Sie hat einen arteriellen Hypertonus und einen Diabetes mellitus Typ 2 als Vorerkrankungen. Die Patientin ist sediert und bei der Umlagerung auf den CT-Tisch dislozierte der Endotrachealtubus. Eine Replatzierung durch den begleitenden Assistenzarzt war nicht erfolgreich und die überbrückende Beutel-Masken-Beatmung ist nicht adäquat möglich. Daher werden Sie zu Hilfe gerufen.“

3.5.4.2.1 Szenario im CT-Raum ohne Reanimation

Ein Instruktor hatte die Rolle des transportbegleitenden Assistenzarztes inne, der am Kopf des Patienten stand und dem Probanden erneut die Information gab, dass der Tubus disloziert und

eine Beutel-Masken-Beatmung nicht adäquat möglich sei. Auf Nachfrage erhielt der Proband die zusätzliche Information, dass die Patientin mit einem zentralen Venenkatheter (ZVK) und einer arteriellen Kanüle zur invasiven Blutdruckmessung versorgt sei. Zur Sedierung liefen ein Perfusor mit Propofol 2% mit einer Laufrate von acht Milliliter pro Stunde sowie ein weiterer Perfusor mit Sufentanyl 10 µg/ml mit einer Laufrate von einem Milliliter pro Stunde. Zusätzlich werde zur Kreislaufunterstützung Noradrenalin mit einer Laufrate von 500 Mikrogramm pro Stunde per Perfusor appliziert. Das Transportbeatmungsgerät stand mit dem aus dem Patienten dislozierten Endotrachealtubus über den Beatmungsschlauch verbunden neben dem Patienten und alarmierte aufgrund der Leckage. Die Beatmung war im Modus „DuoPAP“ (kontrollierte Beatmung auf zwei unterschiedlichen Druckniveaus mit der Option der zusätzlichen Spontanatmung des Patienten auf beiden Druckniveaus) mit einem positiv endexpiratorischen Druck (PEEP) von 7 mmHg, einem Spitzendruck von 22 mmHg, einer inspiratorischen Sauerstofffraktion von 60 Prozent und einer Atemfrequenz von 16 Atemzügen pro Minute eingestellt. Die Vitalparameter zu Beginn des Szenarios zeigten eine SpO₂ von 70%, eine Herzfrequenz von 50 Schlägen pro Minute und einen invasiv gemessenen Blutdruck von 110/60 mmHg. Der Instruktor, der den transportbegleitenden Arzt simulierte, versuchte frustriert, den Patienten mittels eines Beatmungsbeutels mit angeschlossenem Reservoir und einem Sauerstofffluss von 15 Litern pro Minute zu beatmen.

Der zweite Instruktor in der Rolle der Anästhesie-Fachpflegekraft stand für weitere Anweisungen zur Verfügung und befolgte diese prompt und kompetent.

3.5.4.2.2 Szenario im CT-Raum mit Reanimation

Sofern das Szenario im CT-Raum mit einem reanimationspflichtigen Patienten simuliert wurde, waren die applizierten Medikamente und die Einstellungen des Beatmungsgerätes identisch zum Szenario ohne Reanimation. Ebenso waren ein ZVK und die invasive Blutdruckmessung verfügbar. Die Vitalparameter zeigten initial eine SpO₂ von 70%, eine Herzfrequenz von 50 Schlägen pro Minute und einen invasiv gemessenen Blutdruck von 20/0 mmHg unter laufenden Thoraxkompressionen. Der den transportierenden Arzt simulierende Instruktor versuchte frustriert eine Beutel-Masken-Beatmung.

Der zweite Instruktor in der Rolle der Anästhesie-Fachpflegekraft führte eine leitliniengerechte Herzdruckmassage durch.

3.5.4.3 Programmierte Reaktionen des Simulators

Abhängig von der Tatsache, ob es sich bei dem aktuellen Simulationsszenario um eines mit oder ohne Reanimation handelte, waren initiale Vitalparameter des Patientensimulators und die programmierten Veränderungen im Verlauf des Szenarios unterschiedlich und sollen in den folgenden zwei Unterkapiteln dargelegt werden.

3.5.4.3.1 Szenario ohne Reanimation

Die Sequenz zur Simulation der Vitalparameter war wie folgt aufgebaut: Die SpO₂ lag zu Beginn bei 70% und fiel innerhalb der ersten fünf Minuten kontinuierlich auf 50%, bei einer Bearbeitungsdauer von mehr als fünf Minuten war sie ab der fünften Minute nicht mehr messbar. Das EKG zeigte initial eine Sinusbradykardie mit 50 Schlägen pro Minute. Im Verlauf der ersten fünf Minuten ab Szenariobeginn fiel die Herzfrequenz stetig auf zuletzt 20 Schläge pro Minute, bei einem benötigten Zeitrahmen von mehr als fünf Minuten für die Lösung des Szenarios blieb die Herzfrequenz bei 20 Schlägen pro Minute fixiert. Der Verlauf der erhobenen Blutdruckwerte in den beiden möglichen Umgebungen CT-Raum und OP-Saal war trotz unterschiedlicher Messverfahren identisch. Die initiale Messung ergab einen Blutdruck von 110/60 mmHg, über die folgenden fünf Minuten fiel der Wert sukzessive auf 70/30 mmHg und persistierte dort, sofern die Lösung des Szenarios mehr als fünf Minuten beanspruchte. Die Erfassung eines endtidalen CO₂ war bis zur Sicherung der Atemwege nicht möglich. Ordnete der Proband aufgrund der Bradykardie die Gabe von Atropin an, veränderten sich die Vitalparameter nicht. Erfolgte die Anordnung der Gabe von niedrigdosiertem Adrenalin intravenös (z.B. 10 µg-weise titriert), stiegen Herzfrequenz und Blutdruck kurzfristig an, fielen aber zügig auf die vorherigen Werte zurück.

Sobald die Koniotomie erfolgreich durchgeführt worden war, begann der simulierte Patient sich zu stabilisieren. Innerhalb einer Minute stiegen die SpO₂ auf 90%, die Herzfrequenz auf 120 Schläge pro Minute und der Blutdruck auf einen Wert von 150/80 mmHg. Das endtidal gemessene CO₂ erreichte einen Wert von 80 mmHg.

3.5.4.3.2 Szenario mit Reanimation

Im Szenario mit Reanimation war die initiale periphere Sauerstoffsättigung nicht messbar. Die Herzfrequenz lag bei 20 Schlägen pro Minute. In der Umgebung OP-Saal lag der zuletzt gemessene nicht-invasive Blutdruck bei 60/30 mmHg und zum Zeitpunkt des Szenariobeginns lief eine erfolglose Messung. Die invasive Blutdruckmessung in der Umgebung CT-Raum zeigte unter Thoraxkompressionen Werte um 20/0 mmHg an. Das endtidale CO₂ war in beiden Umgebungen nicht messbar. Die Werte änderten sich über den Verlauf des Szenarios nicht, solange der Atemweg nicht gesichert war. Einzig die Herzfrequenz stieg für zwei Minuten auf 50 Schläge pro Minute, sofern die Gabe von einem Milligramm Adrenalin intravenös durch den Probanden angeordnet wurde.

Sobald der Atemweg durch die erfolgreiche Koniotomie gesichert war, erzielten die Probanden einen „Return of Spontaneous Circulation“ (ROSC) und die Vitalparameter besserten sich im Verlauf der folgenden Minute analog zu den Werten in den Szenarien ohne Reanimation.

3.5.5 Bild- und Tonaufzeichnung

Während des kompletten Szenarios fand eine Videoaufzeichnung aus zwei unterschiedlichen Perspektiven statt. Genutzt wurden zwei Kameras und ein zugehöriges Serversystem der Produktlinie METIVision (Firma CAE Healthcare, Montreal, Québec, Kanada). Kamera 1 war schräg oberhalb des Kopfes des Simulators platziert, um so eine Großaufnahme des Probanden in Rückansicht sowie des Patientenoberkörpers zu ermöglichen. Kamera 2 war hinter der Kontrolleinheit des Simulators am Fußende des Patienten positioniert, um so eine Übersichtsaufnahme über Patienten, Probanden, Instruktoren und Material zu gewährleisten. Die Tonaufzeichnung erfolgte mittels zweier tragbarer Mikrofone mit Taschensender der Marke Shure GLDX1 Z2 (Fa. Shure Incorporated, Niles, Illinois, USA), mit denen der Proband und der das Szenario leitende Instruktor ausgestattet wurden. Beide Sender übertrugen auf unterschiedlichen Kanälen an den Funkempfänger Shure GLDX4 und so wurden zu jedem Szenario zwei separate Tonspuren aufgezeichnet. Somit konnte gewährleistet werden, dass trotz störender Geräuschkulisse im Hintergrund keine relevanten Anordnungen und Informationen für die spätere Auswertung verloren gingen. Die Aufnahmen wurden unter dem vierstelligen Zahlencode des Probanden auf einem lokalen Server gespeichert.

3.5.6 Datenerfassung

Die ersten zwölf Videosequenzen wertete ein Instruktor unter Supervision eines erfahrenen Instruktors aus. Die Auswertung der folgenden 68 Videosequenzen erfolgte durch den zuvor supervidierten Instruktor allein, bei Unklarheiten ergänzt durch eine gemeinsame Auswertung mit dem zuvor supervidierenden Instruktor. Eine Stoppuhr wurde gestartet, sobald der Proband das Sichtfeld von Kamera 1 betrat. In allen Szenarien erfolgte die Dokumentation der folgenden Zeiten: Die „Zeit bis Entscheidung“ war die Zeitspanne vom Szenariobeginn bis zu dem Moment, in dem der Proband die Entscheidung zur Koniotomie verbalisierte. Der „Zeitpunkt Beginn“ war definiert als der Moment, in dem das gewählte Instrument zur Koniotomie den Hals des Simulators berührte. Die „Zeit bis zur Ventilation“ war die Zeitspanne vom Szenariobeginn bis zur ersten Thoraxexkursion des Patienten nach Durchführung der Koniotomie. Die „Zeit der Durchführung“ der Koniotomie wurde durch Subtraktion des „Zeitpunkts Beginn“ von der „Zeit bis zur Ventilation“ errechnet. Außerdem wurden die Atemweghilfsmittel, die der Proband bis zur Koniotomie benutzt hatte, und der Zeitpunkt ihres Einsatzes erfasst. Auch die folgenden Anweisungen und Aussagen wurden mit zugehörigem Zeitpunkt protokolliert: „Hilferuf“, „Prüfung oder Anordnung einer Relaxierung“, „Kontrolle der Beatmungsschläuche“, „Anforderung Defibrillator“ und „Adrenalingabe“. Außerdem wurde evaluiert, ob der Proband die Zeit, bis alle Hilfsmittel für die Koniotomie bereitlagen, mittels versuchter Beutel-Masken-Beatmung überbrückte. Die Treue zum innerklinischen Algorithmus zur Behandlung des unerwartet schwierigen Atemwegs wurde anhand der Anzahl und

Reihenfolge der benutzten Instrumente evaluiert. Die Treue zum Algorithmus wurde als dogmatisch klassifiziert, sofern die verschiedenen Atemwegshilfsmittel in der folgenden Reihenfolge genutzt wurden: Beutel-Masken-Beatmung → EGA → Laryngoskopie (direkt oder mittels Videolaryngoskop) → alternatives Verfahren (starre / flexible Intubationsendoskopie, EGA oder Videolaryngoskop, sofern vorher noch nicht benutzt) → Koniotomie. Wurde hiervon abgewichen, erfolgte die Klassifikation als pragmatische Nutzung des Algorithmus.

In einem Szenario mit Reanimation wurde zusätzlich protokolliert, ob der Proband die Leitung der Reanimationsmaßnahmen aktiv übernahm, die Leitung klar an ein anderes Teammitglied delegierte oder die Basismaßnahmen dem Instruktorenteam ohne jegliche Einmischung überließ. Die Qualität des Ablaufes der Reanimationsmaßnahmen wurde zudem unterteilt in die Kategorien „ERC“, sofern sie den zum Zeitpunkt der Datenerhebung gültigen ERC-Leitlinien von 2015 entsprach, „Airway 1. Priorität“, sofern gelegentlich Kontrollen des Herzrhythmus oder adäquate Medikamentengaben erfolgten und der Fokus auf der Sicherung des Atemweges lag, und „nicht suffizient“, sofern die Reanimationsmaßnahmen überhaupt nicht beachtet wurden und nur die durch das Instruktorenteam bereits begonnenen Thoraxkompressionen stattfanden. Sobald ein ROSC erreicht war, wurde protokolliert, durch die Kontrolle welcher Vitalparameter der Proband diesen verifizierte: „Puls“, „arterielle Druckkurve“, „etCO₂“, „SpO₂“ oder durch sonstige Maßnahmen.

In einem Szenario ohne Reanimation wurde stattdessen zusätzlich erfasst, ob der Proband eine niedrigdosierte Adrenalingabe zur Behandlung der Bradykardie des Patienten anordnete oder nicht.

Alle Zeiten wurden auf volle Sekunden gerundet, wobei ab 500 Millisekunden auf- und unter 500 Millisekunden abgerundet wurde. Die Zeiten wurden mit der integrierten Stoppuhr eines Mobiltelefons der Marke Samsung Galaxy S3 Mini (Samsung Group, Seoul, Südkorea) erfasst.

3.6 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung teilte sich in die Auswertung der Fragebögen und die Auswertung der Simulationsszenarien auf und wird im Folgenden dargestellt.

3.6.1 Auswertung des Fragebogens

Die Auswertung kategorialer Variablen erfolgte durch die Angabe absoluter und relativer Häufigkeiten. Stetige Variablen wurden anhand von Median, erstem und drittem Quartil sowie Minimum und Maximum beschrieben. Zur Auswertung der Fragen zum Atemwegsalgorithmus wurde jeder Aussage der Likert-Skala ein Zahlenwert von 0 bis 4 zugeordnet. Hierbei wurde

von gleichmäßigen Abständen zwischen den Items ausgegangen. Zur quantitativen Beschreibung wurden Median, erstes und drittes Quartil sowie Minimum und Maximum genutzt. Die Auswertung der Freitextantworten erfolgte rein qualitativ, wobei identische Antworten in Gruppen zusammengefasst und ihre Anzahl in absoluten und relativen Häufigkeiten wiedergegeben wurden.

3.6.2 Auswertung der Simulationsszenarien

Die statistische Auswertung der Simulationsszenarien wurde mit Unterstützung durch [REDACTED] (IMBEI – Institut für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik, Mainz) durchgeführt. Die Nullhypothese der Untersuchung besagte, dass es keinen Zeitunterschied bis zur Koniotomie zwischen den Szenarien mit CPR (Interventionsgruppe) und ohne CPR (Kontrollgruppe) gäbe. Ziel war es, die Nullhypothese abzulehnen und die Alternativhypothese, dass es einen Zeitunterschied zwischen den beiden Gruppen gäbe, statistisch nachzuweisen. Dies stellte also den primären Endpunkt der vorliegenden Untersuchung dar. Um den Einfluss störender Effekte zu minimieren, wurde ein Crossover-Design zur Beurteilung des Zeitunterschiedes genutzt. Zur Planung der benötigten Fallzahl wurde sowohl für den Mittelwert als auch die Standardabweichungen ein Zeitunterschied von 20 Sekunden und somit eine Effektgröße von 1 angenommen. Dieser Wert wurde auf der Basis von klinischer Erfahrung geschätzt, eine Pilotstudie wurde nicht durchgeführt. Die Studie wurde in beiden Gruppen mit jeweils 20 Probanden durchgeführt, da diese Populationsgröße in einer Power von über 85% resultieren würde, sofern die obigen Annahmen sich bestätigten. Die Analyse jedes einzelnen Endpunktes, der durch die Zeit bis zu einem Ereignis beschrieben wurde, erfolgte auf die gleiche Art. Zuerst wurden für jeden Probanden Übertragungseffekte zwischen den beiden nacheinander absolvierten Szenarien mit und ohne CPR (bzw. ohne und mit CPR) ausgeschlossen, da die weiteren Berechnungen sonst keine Gültigkeit gehabt hätten. Hierzu wurde als Vortest ein Mann-Whitney-U-Test durchgeführt, mit dem die Gesamtzeit der Probanden über die beiden Untersuchungssequenzen („mit CPR – ohne CPR“ und „ohne CPR – mit CPR“) verglichen wurde. Sofern dieser Vortest kein signifikantes Ergebnis lieferte, konnte davon ausgegangen werden, dass keine Übertragungseffekte zwischen den beiden Szenarien innerhalb der Untersuchungssequenz bestanden. Um dann den Zeitunterschied eines einzelnen Probanden zwischen den beiden Szenarien zu evaluieren, wurde intraindividuell die benötigte Zeit in Szenario 1 mit der benötigten Zeit in Szenario 2 zwischen den beiden Sequenzen (zuerst mit CPR, dann ohne CPR und umgekehrt) mittels Mann-Whitney-U-Test verglichen. Der mediane Zeitunterschied aller Probanden zwischen den CPR-Szenarien und den Szenarien ohne CPR wurde sodann mittels Hodges-Lehmann-Schätzer und der zugehörigen Konfidenzintervalle bestimmt. Eine einfachere

Analyse mittels Standardmethoden zum Vergleich zweier verbundener Stichproben, wie z.B. einem t-Test, hätte zu falschen Ergebnissen führen können.

Der primäre Endpunkt (konfirmatorische Analyse) der Untersuchung war die „Zeit bis zur Ventilation“ nach Koniotomie, die zwischen den Szenarien mit und ohne CPR verglichen wurde. Die sekundären Endpunkte (deskriptive Analyse) waren die „Zeit bis zur Entscheidung zur Koniotomie“, „Zeit bis zum Beginn der Koniotomie“ und die „Dauer der Durchführung der Koniotomie“. Entsprechend der Sequenz („mit CPR – ohne CPR“ und „ohne CPR – mit CPR“) und dem Szenario wurden die Ergebnisse der „Zeit bis zum Ereignis“-Untersuchungen aller Endpunkte in vier Gruppen aufgeschlüsselt. Als zusätzlicher sekundärer Endpunkt wurde zwischen Szenarien mit und ohne CPR die Verteilung der beiden Koniotomieverfahren (chirurgische Koniotomie bzw. Punktionskoniotomie) erfasst und mittels McNemar-Tests verglichen.

In der Subgruppe der ersten durch jeden Probanden absolvierten Szenarien (n=40) wurden drei zusätzliche Fragestellungen untersucht: Hat die Erfahrung in der Anästhesiologie Einfluss auf die Zeit bis zur erfolgreichen Ventilation durch eine Koniotomie? Hat die Tatsache, dass ein Proband bereits eine Koniotomie am realen Patienten durchgeführt hat, Einfluss auf die Zeit bis zur erfolgreichen Ventilation durch eine Koniotomie? Und hat die Wahl der Methode zwischen chirurgischer Koniotomie und Punktionskoniotomie Einfluss auf die Dauer der Durchführung der Koniotomie? Da das initiale Studiendesign nicht auf diese Fragestellungen ausgelegt war und statistische Verzerrungen vermieden werden sollten, wurden diese drei Fragestellungen nur an der oben genannten Subgruppe untersucht. Mittels Vier-Felder-Tafel und anschließendem exaktem Fisher-Test wurde untersucht, ob zwischen den Szenarien mit und ohne CPR die Erfahrung in der Anästhesiologie, die bereits am realen Patienten durchgeführten Koniotomien und die Wahl der Koniotomiemethode gleichmäßig verteilt waren. Sofern dies nicht gegeben war, wurde die Subgruppe erneut unterteilt in Szenarien mit und ohne CPR. Anschließend wurden die Gruppen mittels Mann-Whitney-U-Test verglichen.

Des Weiteren wurden zwischen allen 80 Szenarien mit und ohne CPR die folgenden Faktoren verglichen: Das erste und das letzte genutzte Atemwegshilfsmittel vor Koniotomie, die Anzahl der genutzten Atemwegshilfsmittel, die Nähe zum Atemwegsalgorithmus, die Nutzung einer Relaxierung, das Absetzen eines Hilferufes, die Kontrolle der Beatmungsschläuche sowie die überbrückende Nutzung der Beutel-Masken-Beatmung während der Vorbereitung der Koniotomie. Zudem wurde verglichen, ob als Methode eine chirurgische Koniotomie oder eine Punktionskoniotomie genutzt wurde. Innerhalb der Szenarien mit CPR wurden ergänzend die Anforderung eines Defibrillators, die Anordnung einer Adrenalingabe, die Leitung und die Qualität der Reanimation sowie die Art der Überprüfung eines ROSC ausgewertet. Innerhalb der Szenarien ohne CPR wurde die Häufigkeit der Anordnung einer Adrenalingabe zur

Behandlung einer Bradykardie analysiert. Die Daten wurden anhand von Median, Minimum, Maximum, erstem und drittem Quartil oder dem prozentualen Anteil an der gesamten Stichprobe beschrieben.

Alle dargestellten p-Werte resultierten aus zweiseitigen Tests. Für den primären Endpunkt wurde ein $p \leq 0,05$ im Vergleich zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe als statistisch signifikant angenommen. Alle mit sekundären Endpunkten verknüpften Tests hatten explorativen Charakter, so dass die zugehörigen p-Werte als deskriptiv zu verstehen sind.

Zur Datenverwaltung und statistischen Auswertung wurden R V.3.3.1 (R Foundation for Statistical Computing, Wien, Österreich), IBM SPSS Statistics 23 (IBM Corporation, Armonk, New York, USA) und Microsoft Excel 2016 sowie Microsoft Excel 2019 (Microsoft Corporation, Redmond, Washington, USA) genutzt.

4. Ergebnisse

4.1 Demographische Daten und Auswertung des Fragebogens

Das untersuchte Kollektiv wurde ausschließlich aus ärztlichen Mitarbeitern der Klinik für Anästhesiologie der Universitätsmedizin Mainz rekrutiert. Es wurden insgesamt 40 Probanden in die Untersuchung eingeschlossen. 23 Probanden (57,5%) waren männlich, 17 Probanden (42,5%) waren weiblich.

4.1.1 Medizinische Erfahrung und Zusatzqualifikation

4.1.1.1 Erfahrung in der Anästhesiologie und Notfallmedizin

Von den 40 Probanden waren 32 (80%) bereits Fachärzte für Anästhesiologie, während acht (20%) sich in der fortgeschrittenen Weiterbildung (mindestens drittes Jahr bei einer minimalen Weiterbildungszeit von fünf Jahren) zum Facharzt für Anästhesiologie befanden. Der Median der Arbeitszeit in der Anästhesiologie lag bei 7,5 Jahren mit einem Interquartilsabstand von sechs bis elf Jahren. Die minimale Erfahrung betrug drei Jahre, die maximale Erfahrung eines Probanden betrug >20 Jahre (in Abbildung 5 durch einen Kreis markiert). Der Median der Tätigkeit als Facharzt betrug 3,00 Jahre mit einem Interquartilsabstand von 1,25 bis 7,0 Jahren. Das Minimum lag bei 0 Jahren (noch kein volles Jahr seit der Facharztprüfung vergangen), das Maximum bei >20 Jahren Tätigkeit als Facharzt für Anästhesiologie. Von den 32 Fachärzten waren 24 Probanden (75%) in einer Funktion als aufsichtführender Facharzt in einem OP-Bereich tätig. Die Dauer der Tätigkeit als aufsichtführender Facharzt betrug median 3,50 Jahre mit einem Interquartilsabstand von 2,0 bis 5,75. Das Minimum lag bei einem Jahr, das Maximum bei elf Jahren. Der Proband mit einer Erfahrung als Facharzt von mehr als 20 Jahren beantwortete diese Frage nicht.

39 von 40 Probanden (97,5%) gaben an, die Zusatzbezeichnung Notfallmedizin zu führen. Ein Proband beantwortete diese Frage nicht.

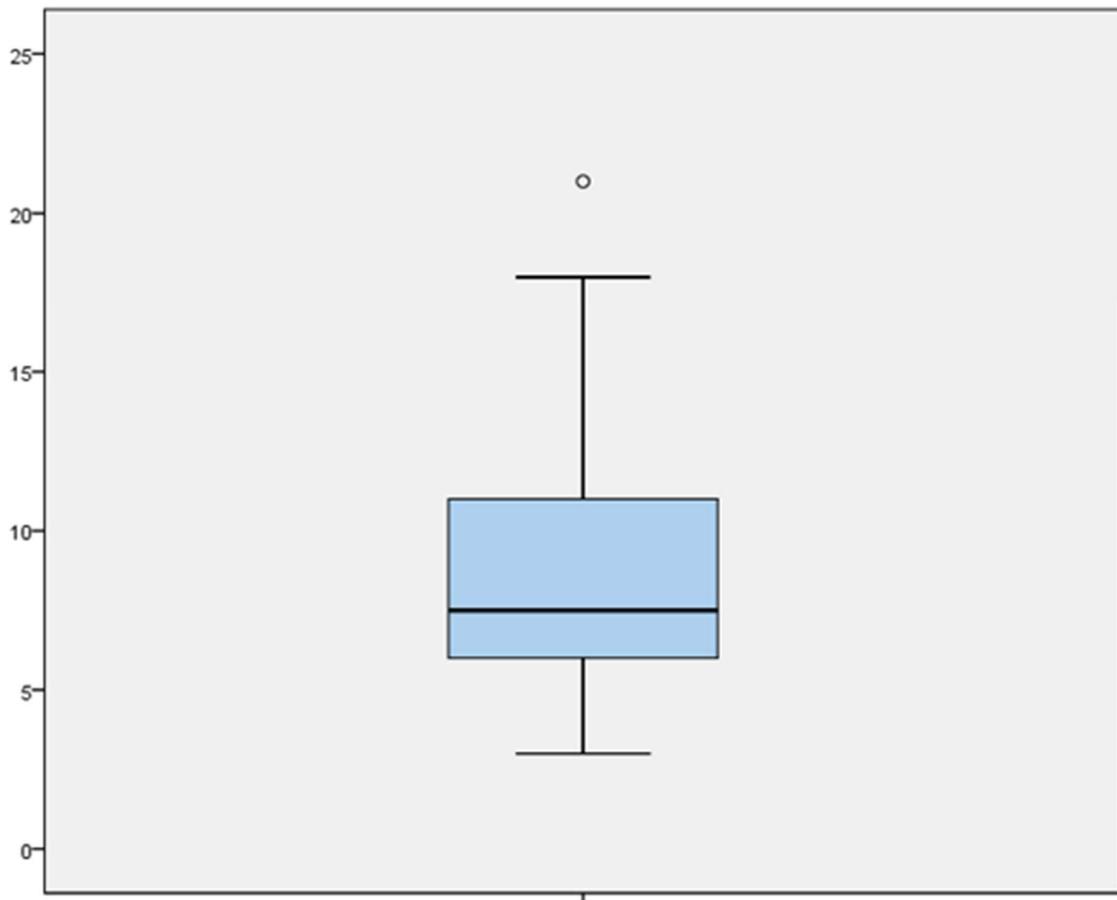


Abbildung 5: Verteilung der Erfahrung in der Anästhesiologie (in Jahren)

4.1.1.2 Erfahrung als Arzt in anderen Fachdisziplinen

Fünf der 40 Probanden (12,5%) gaben an, dass sie bereits Erfahrungen als Arzt in einer anderen Fachdisziplin als der Anästhesiologie gesammelt haben. Jeweils zwei Probanden (jeweils 5% des Gesamtkollektivs) gaben Vorerfahrungen in der Inneren Medizin bzw. in der Allgemeinchirurgie an, ein Proband (2,5%) gab Vorerfahrungen in der Neurochirurgie an. Die Zeit der Tätigkeit in einer anderen Fachdisziplin vor Tätigkeitsbeginn in der Anästhesiologie betrug bei allen fünf Probanden weniger als drei Jahre.

4.1.1.3 Tätigkeit in der Anästhesiologie / im Rettungsdienst vor Approbation

Drei Probanden (7,5%) gaben an, vor Erlangung der Approbation als Arzt bereits in der Anästhesiologie tätig gewesen zu sein. Die Dauer betrug bei diesen drei Probanden weniger als drei Jahre.

20 Probanden (50%) gaben eine Tätigkeit im Rettungsdienst vor ihrer Approbation als Arzt an. Von diesen 20 Probanden waren fünf (12,5%) weniger als drei Jahre im Rettungsdienst tätig, fünf (12,5%) zwischen drei und sechs Jahren und zehn (25%) über sechs Jahre.

4.1.1.4 Erfahrungen mit der Technik der Koniotomie am Patienten

24 Probanden (60%) hatten zum Zeitpunkt der Untersuchung nicht bei einer Koniotomie assistiert. 16 Probanden (40%) gaben an, bereits bei der Durchführung einer Koniotomie am Patienten assistiert zu haben. Von diesen hatten neun (22,5%) bei weniger als drei Koniotomien, vier (10%) bei drei bis sechs Koniotomien und zwei (5%) bei mehr als sechs Koniotomien assistiert. Bei einem Probanden, der bereits bei einer Koniotomie assistiert hat, fehlte die Angabe zur Anzahl der assistierten Koniotomien.

28 Probanden (70%) gaben an, bisher keine selbstständige Koniotomie durchgeführt zu haben. Elf Probanden (27,5%) gaben an, bereits selbstständig eine Koniotomie am Patienten durchgeführt zu haben. Von diesen berichteten neun (22,5%) über eine Anzahl von weniger als drei selbstständig durchgeführten Koniotomien, während einer (2,5%) eine Anzahl von drei bis sechs Koniotomien und ein weiterer (2,5%) eine Anzahl von mehr als sechs Koniotomien angab. Ein Proband (2,5%) machte keine Angabe, ob er bereits eine Koniotomie selbstständig durchgeführt hatte.

4.1.2 Beurteilung von Atemweghilfsmitteln und Algorithmus

4.1.2.1 Favorisierte Art der Atemwegssicherung

Die Befragung der Probanden nach dem bevorzugten Gerät zur Atemwegssicherung ergab, dass 24 Probanden (60%) ein Videolaryngoskop zur Atemwegssicherung favorisierten. Zwölf Probanden (30%) bevorzugten die direkte Laryngoskopie, während drei Probanden (7,5%) bevorzugt die flexible Intubationsendoskopie nutzten. Ein Proband (2,5%) favorisierte die Larynxmaske. Weder die Intubationslarynxmaske noch die starre Intubationsendoskopie oder andere Verfahren wurden von den Probanden als favorisiertes Gerät zur Atemwegssicherung genannt.

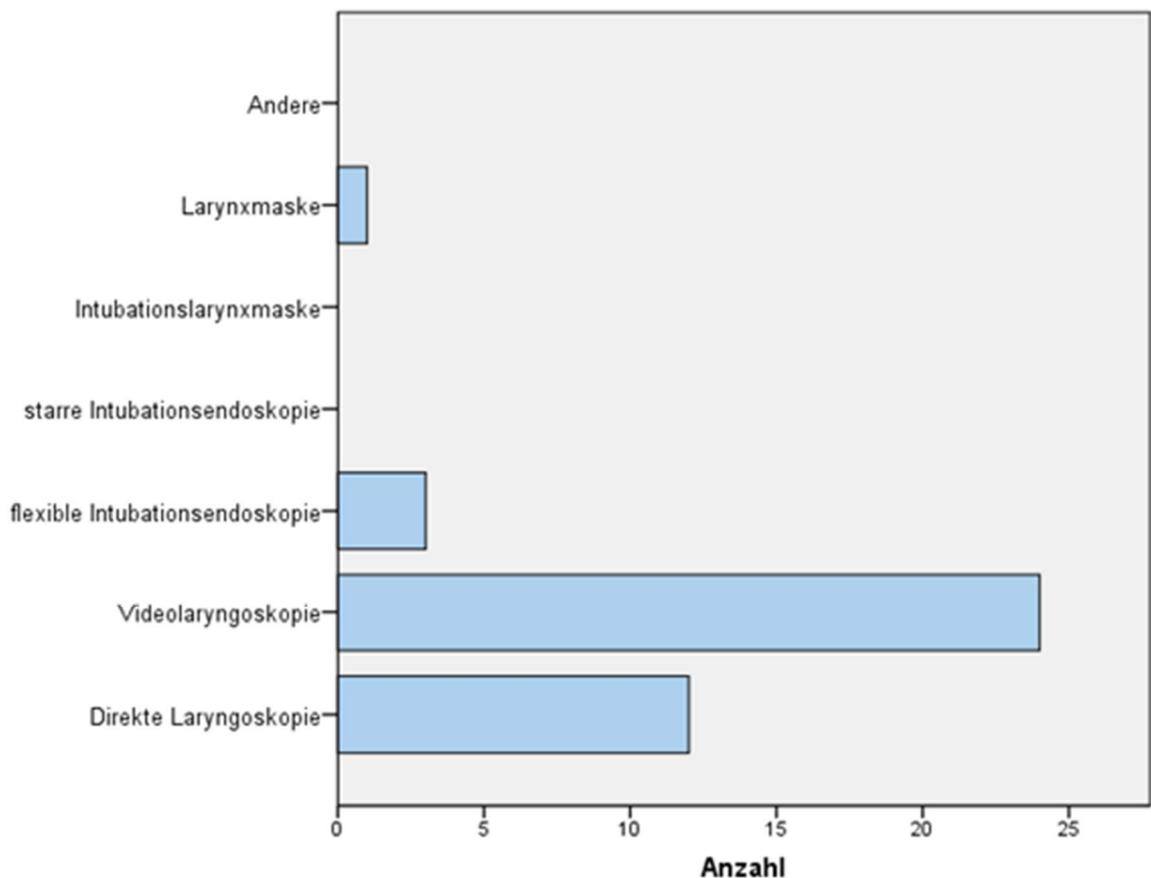


Abbildung 6: Favorisiertes Atemwegshilfsmittel

4.1.2.2 Beurteilung des Atemwegsalgorithmus

Zur Beurteilung des Atemwegsalgorithmus wurde eine fünfstufige Likert-Skala genutzt, wobei den Aussagen von „trifft zu“ bis „trifft nicht zu“ jeweils ein Punktwert von 4 bis 0 zugeordnet wurde. Zur erleichterten Berechnung wurde von gleichen Abständen zwischen den einzelnen Items ausgegangen.

Die Aussage „Ich halte den Atemwegsalgorithmus für gut.“ beurteilten 36 Probanden (90%) mit „trifft zu“, 4 Probanden (10%) mit „trifft eher zu“. Es ergab sich ein Median von 4,0 (Minimum 3,0; 1. Quartil 4,0; 3. Quartil 4,0; Maximum 4,0).

Die Aussage „Ich beherrsche den Atemwegsalgorithmus sicher.“ beurteilten 18 Probanden (45%) als zutreffend, 20 Probanden (50%) als eher zutreffend und zwei Probanden (5%) waren unentschlossen (Punktwert = 2). Der Median lag bei 3,0 (Minimum 2,0; 1. Quartil 3,0; 3. Quartil 4,0; Maximum 4,0).

Die Aussage „Im Atemwegsalgorithmus fehlt mir etwas.“ wurde weniger homogen beantwortet. Drei Probanden (7,5%) beurteilten diese Aussage als zutreffend, vier Probanden (10%) als eher zutreffend und drei Probanden (7,5%) waren unentschlossen. Neun Probanden (22,5%)

hielten diese Aussage für eher unzutreffend, während 21 Probanden (52,5%) sie für unzutreffend befanden. Es ergab sich ein Median von 0 (Minimum 0; 1. Quartil 0; 3. Quartil 1,75; Maximum 4,0).

Die Aussage „Der Atemwegsalgorithmus ist auch während einer Reanimation problemlos anwendbar.“ befanden acht Probanden (20%) als zutreffend und 13 Probanden (32,5%) als eher zutreffend. Vier Probanden (10%) waren unentschlossen, während fünf Probanden (12,5%) die Aussage für eher unzutreffend hielten. Die Aussage wurde von zehn Probanden (25%) nicht beurteilt. So ergab sich ein Median der auswertbaren Antworten von 3,0 (Minimum 1,0; 1. Quartil 2,0; 3. Quartil 4,0; Maximum 4,0).

4.1.3 Auswertung der Freitextantworten

Die genauen Freitextantworten jedes einzelnen Probanden auf die drei offenen Fragen zum Abschluss des Fragebogens finden sich in den Anhängen IX bis XI. Eine Zusammenfassung häufiger bzw. besonders relevanter Antworten findet sich im folgenden Abschnitt.

Die Frage „Fehlt Ihnen im Ablauf des Atemwegsalgorithmus eine Maßnahme / ein Zwischenschritt?“ wurde von 13 Probanden (32,5%) nicht beantwortet. 19 Probanden (47,5%) beantworteten die Frage mit „Nein“. Zwei Probanden (5%) wünschten sich eine Erwähnung von Relaxierung und / oder Narkosevertiefung als Zwischenschritt. Ein Proband (2,5%) gab an, dass es zu viele Schritte seien. Und ein weiterer Proband (2,5%) erachtete einen weiteren Schritt nach einer möglicherweise fehlgeschlagenen Koniotomie als sinnvolle Ergänzung.

Die Frage „Wie definieren Sie eine Hypoxie?“ wurde von allen teilnehmenden Probanden beantwortet. 12 Probanden (30%) gaben mehr als einen Parameter zur Definition einer Hypoxie an. 34 Probanden (85%) definierten eine Hypoxie teilweise oder ausschließlich über einen Abfall der peripher oder im arteriellen Blut gemessenen Sauerstoffsättigung. Hierbei gaben sieben Probanden (17,5%) keinen numerischen Grenzwert an. Ein Proband nannte einen prozentualen Abfall um 10% des Ausgangswertes als Grenzwert für die Definition einer Hypoxie, während 26 Probanden (65%) einen eindeutigen Wert der gemessenen Sauerstoffsättigung als Grenzwert zur Definition einer Hypoxie nannten. Allerdings umfassten die angegebenen Werte eine nicht unerhebliche Spannweite von $< 95\%$ bis $< 70\%$. Als alternativer Messwert zur Definition einer Hypoxie wurde von fünf Probanden (12,5%) der im (arteriellen) Blut gemessene Sauerstoffpartialdruck angegeben. Acht Probanden (20%) nannten einen Sauerstoffmangel im Körper als Definition für eine Hypoxie, während neun Probanden (22,5%) klinische Zeichen wie eine Zyanose oder eine Beeinflussung von Herzfrequenz und Blutdruck durch den Sauerstoffmangel zur Definition der Hypoxie nutzten.

Die Frage, weshalb sich die Probanden im Szenario für die Durchführung einer Koniotomie entschieden hatten, wurde ebenfalls von allen Probanden beantwortet. Es kam zu mehrfachen und sich überschneidenden Antworten. Neun Probanden (22,5%) gaben als Begründung explizit die Abarbeitung des Atemwegsalgorithmus an. Mehrfache frustrane Versuche der Atemwegssicherung mit unterschiedlichen Hilfsmitteln und die potenzielle Aussichtslosigkeit alternativer Verfahren bewogen 21 Probanden (52,5%) zur Durchführung der Koniotomie. 14 Probanden (35%) nannten eine Asphyxie, eine Hypoxie oder die Kreislaufsituation des Patienten mit drohenden bleibenden Schäden als Grund für die Koniotomie. Das Vorliegen einer „Cannot intubate, cannot ventilate“-Situation wurde von drei Probanden (7,5%) explizit als Grund für die Koniotomie benannt.

4.2 Ergebnisse der Simulationsszenarien

4.2.1 Zeit bis zur Ventilation durch Koniotomie (primärer Endpunkt)

In der ersten Sequenz (zuerst Szenario mit CPR, dann Szenario ohne CPR) ergab sich für das Szenario mit CPR eine mediane Zeit von 217 Sekunden (Minimum 105 s; Q1 197,2 s; Q3 248,2 s; Maximum 535 s) und für das Szenario ohne CPR eine mediane Zeit von 196,5 Sekunden (Minimum 138 s; Q1 186 s; Q3 230,2 s; Maximum 352 s) bis zur ersten Ventilation durch Koniotomie.

In der zweiten Sequenz (zuerst Szenario ohne CPR, dann Szenario mit CPR) ergab sich für das Szenario ohne CPR eine mediane Zeit von 173,5 Sekunden (Minimum 112 s; Q1 138 s; Q3 206 s; Maximum 262 s) und für das Szenario mit CPR eine mediane Zeit von 217,5 Sekunden (Minimum 106 s; Q1 206,8 s; Q3 250 s; Maximum 301 s).

Die hieraus mittels Hodges-Lehmann-Schätzer berechnete Zeit bis zur Ventilation durch Koniotomie war in den Szenarien ohne CPR 22,2 Sekunden [95% KI 3; 40,5] kürzer als in den Szenarien mit CPR. Es resultiert $p = 0,03$ für den Einfluss der CPR auf die Zeit bis zur Ventilation durch Koniotomie und damit ein signifikanter Zeitunterschied zwischen den Szenarien mit und ohne CPR. Somit konnte die Alternativhypothese bestätigt werden.

Die Analyse eines möglichen Übertragungseffektes zwischen den beiden Sequenzen mithilfe des Mann-Whitney-U-Tests ergab $p = 0,19$ und bot daher keinen Anhalt für das Vorliegen eines solchen Effektes.

Die mediane Zeit bis zur Ventilation durch Koniotomie über alle Szenarien betrug 204,5 Sekunden (Minimum 109,5 s; Q1 181,5 s; Q3 249,1 s; Maximum 381 s).

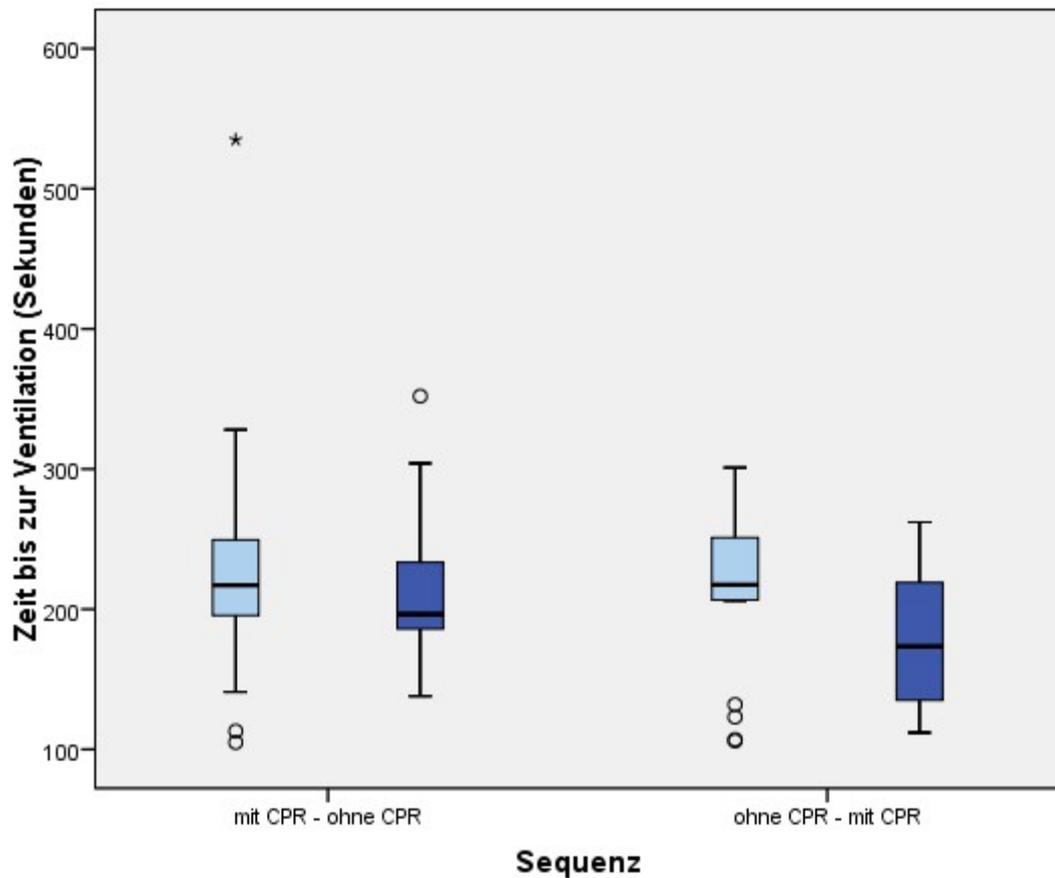


Abbildung 7: Zeit bis zur Ventilation mittels Koniotomie

(hellblauer Boxplot: Szenarien mit CPR, dunkelblauer Boxplot: Szenarien ohne CPR)

4.2.2 Weitere „Zeit bis Ereignis“-Analysen der Koniotomie (sekundäre Endpunkte)

4.2.2.1 Zeit bis zur Entscheidung zur Koniotomie

In der ersten Sequenz (zuerst Szenario mit CPR, dann Szenario ohne CPR) ergab sich für das Szenario mit CPR eine mediane Zeit von 134,5 Sekunden (Minimum 37 s; Q1 104,5 s; Q3 147,2 s; Maximum 460 s) und für das Szenario ohne CPR eine mediane Zeit von 130,5 Sekunden (Minimum 60 s; Q1 107 s; Q3 167 s; Maximum 257 s) bis zur Verbalisierung der Entscheidung zur Koniotomie.

In der zweiten Sequenz (zuerst Szenario ohne CPR, dann Szenario mit CPR) ergab sich für das Szenario ohne CPR eine mediane Zeit von 120 Sekunden (Minimum 71 s; Q1 82,8 s; Q3 143,3 s; Maximum 169 s) und für das Szenario mit CPR eine mediane Zeit von 159 Sekunden (Minimum 46 s; Q1 107,5 s; Q3 178,5 s; Maximum 200 s).

Die hieraus mittels Hodges-Lehmann-Schätzer berechnete Zeit bis zur Entscheidung zur Koniotomie war in den Szenarien ohne CPR 8,5 Sekunden [95% KI -9; 25,5] kürzer als in den

Szenarien mit CPR. Es resultiert $p = 0,27$ für den Einfluss der CPR auf die Zeit bis zur Entscheidung zur Koniotomie.

Die Analyse eines möglichen Übertragungseffektes zwischen den beiden Sequenzen mithilfe des Mann-Whitney-U-Tests ergab $p = 0,73$ und bot daher keinen Anhalt für das Vorliegen eines solchen Effektes.

Die mediane Zeit bis zur Entscheidung zur Koniotomie über alle Szenarien betrug 134 Sekunden (Minimum 64 s; Q1 119,1 s; Q3 153,6 s; Maximum 316,5 s).

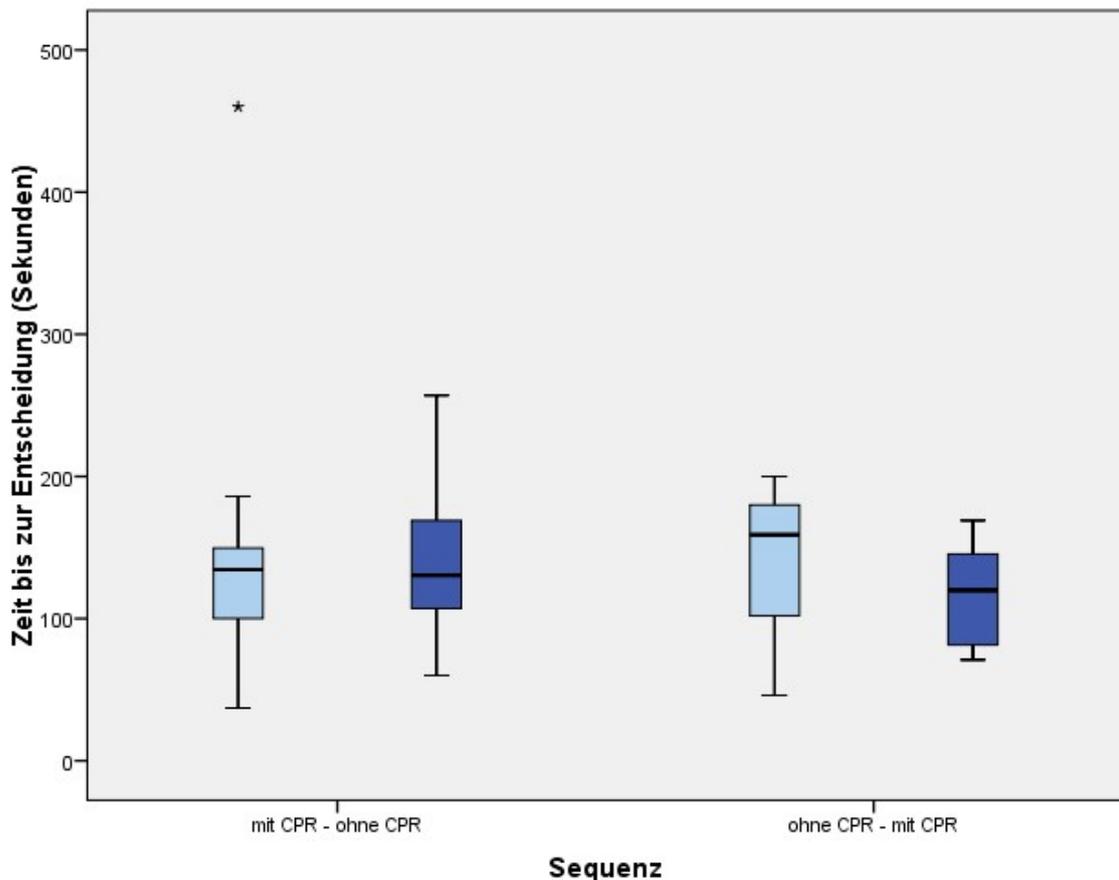


Abbildung 8: Zeit bis zur Entscheidung zur Koniotomie

(hellblauer Boxplot: Szenarien mit CPR, dunkelblauer Boxplot: Szenarien ohne CPR)

4.2.2.2 Zeit bis zum Beginn der Koniotomie

In der ersten Sequenz (zuerst Szenario mit CPR, dann Szenario ohne CPR) ergab sich für das Szenario mit CPR eine mediane Zeit von 162,5 Sekunden (Minimum 64 s; Q1 141,5 s; Q3 175,5 s; Maximum 481 s) und für das Szenario ohne CPR eine mediane Zeit von 150,5 Sekunden (Minimum 68 s; Q1 137,8 s; Q3 171,5 s; Maximum 279 s) bis zum Beginn der Koniotomie.

In der zweiten Sequenz (zuerst Szenario ohne CPR, dann Szenario mit CPR) ergab sich für das Szenario ohne CPR eine mediane Zeit von 141,5 Sekunden (Minimum 83 s; Q1 111 s; Q3 166,2 s; Maximum 190 s) und für das Szenario mit CPR eine mediane Zeit von 183,5 Sekunden (Minimum 70 s; Q1 144 s; Q3 195,2 s; Maximum 223 s).

Die hieraus mittels Hodges-Lehmann-Schätzer berechnete Zeit bis zum Beginn der Koniotomie war in den Szenarien ohne CPR 14 Sekunden [95% KI -2,5; 28] kürzer als in den Szenarien mit CPR. Es resultiert $p = 0,08$ für den Einfluss der CPR auf die Zeit bis zum Beginn der Koniotomie.

Die Analyse eines möglichen Übertragungseffektes zwischen den beiden Sequenzen mittels Mann-Whitney-U-Test ergab $p = 0,39$ und bot daher keinen Anhalt für das Vorliegen eines solchen Effektes.

Die mediane Zeit bis zum Beginn der Koniotomie über alle Szenarien betrug 158 Sekunden (Minimum 81,5 s; Q1 146,5 s; Q3 179,8 s; Maximum 331,5 s).

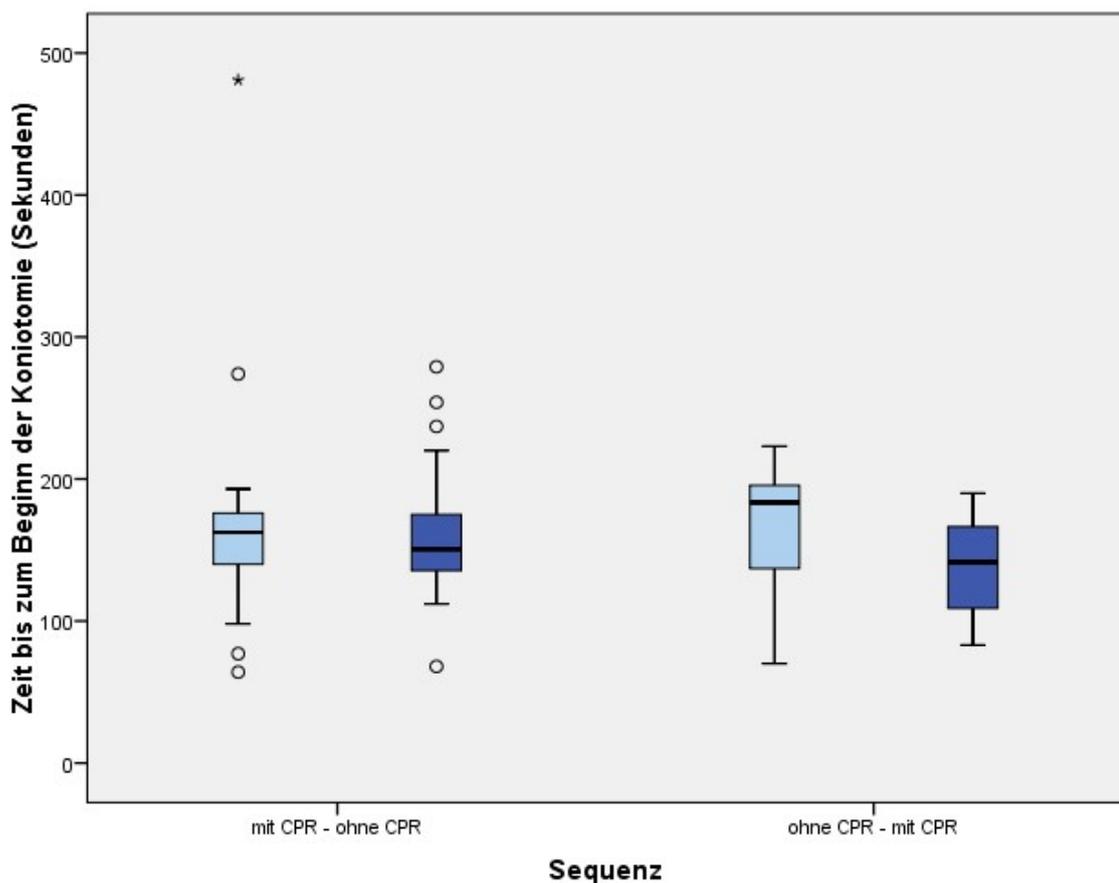


Abbildung 9: Zeit bis zum Beginn der Koniotomie

(hellblauer Boxplot: Szenarien mit CPR, dunkelblauer Boxplot: Szenarien ohne CPR)

4.2.2.3 Dauer der Durchführung der Koniotomie

Die Dauer der Durchführung der Koniotomie wurde berechnet, indem die Zeit bis zum Beginn der Durchführung der Koniotomie von der Zeit bis zur Ventilation durch Koniotomie subtrahiert wurde.

In der ersten Sequenz (zuerst Szenario mit CPR, dann Szenario ohne CPR) ergab sich für das Szenario mit CPR eine mediane Zeit von 43 Sekunden (Minimum 23 s; Q1 29,5 s; Q3 68,8 s; Maximum 160 s) und für das Szenario ohne CPR eine mediane Zeit von 61,5 Sekunden (Minimum 22 s; Q1 35,3 s; Q3 70,5 s; Maximum 79 s) für die Dauer der Durchführung der Koniotomie.

In der zweiten Sequenz (zuerst Szenario ohne CPR, dann Szenario mit CPR) ergab sich für das Szenario ohne CPR eine mediane Zeit von 35,5 Sekunden (Minimum 16 s; Q1 26 s; Q3 58,3 s; Maximum 79 s) und für das Szenario mit CPR eine mediane Zeit von 33,5 Sekunden (Minimum 25 s; Q1 28,8 s; Q3 69,5 s; Maximum 111 s).

Die hieraus mittels Hodges-Lehmann-Schätzer berechnete Dauer der Durchführung der Koniotomie war in den Szenarien ohne CPR 4 Sekunden [95% KI -2,5; 11,5] kürzer als in den Szenarien mit CPR. Es resultierte $p = 0,21$ für den Einfluss der CPR auf die Dauer der Durchführung der Koniotomie.

Die Analyse eines möglichen Übertragungseffektes zwischen den beiden Sequenzen mittels Mann-Whitney-U-Test ergab $p = 0,19$ und bot daher keinen Anhalt für das Vorliegen eines solchen Effektes.

Die mediane Dauer der Durchführung der Koniotomie über alle Szenarien betrug 43,8 Sekunden (Minimum 22,5 s; Q1 30,1 s; Q3 67 s; Maximum 111,5 s).

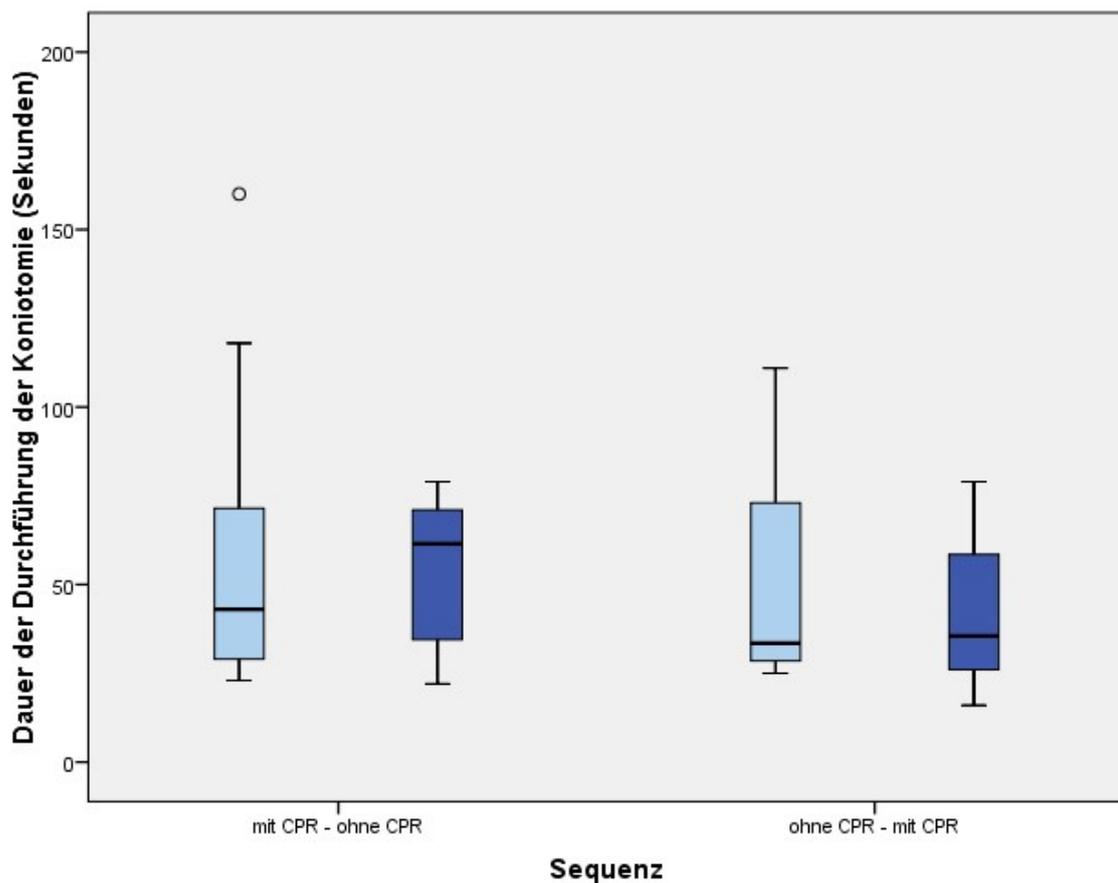


Abbildung 10: Dauer der Durchführung der Koniotomie

(hellblauer Boxplot: Szenarien mit CPR, dunkelblauer Boxplot: Szenarien ohne CPR)

4.2.3 Subgruppenanalyse des ersten absolvierten Szenarios

Zur Vereinfachung der statistischen Analysen und um Ungenauigkeiten zu vermeiden, wurden die drei folgenden, im Kapitel 4.2.3 beschriebenen Fragestellungen ausschließlich deskriptiv an den ersten durch die Probanden absolvierten Szenarien untersucht.

4.2.3.1 Einfluss der anästhesiologischen Erfahrung auf die Zeit bis zur Ventilation

Die Kategorisierung der anästhesiologischen Erfahrung erfolgte in die Gruppen „bis einschließlich sechs Jahre“ und „über sechs Jahre“ Erfahrung in der Anästhesiologie. Grundlage für diese Kategorien war die Tatsache, dass die Weiterbildung zum Facharzt für Anästhesiologie mindestens fünf Jahre dauert und sich das Aufgabenspektrum und die berufliche Verantwortung in diesem Zeitraum und in der Zeit unmittelbar nach der absolvierten Facharztprüfung deutlich verändern.

Die Erfahrung war in den Gruppen mit und ohne CPR vollkommen identisch verteilt, sieben Probanden (35%) wiesen eine Erfahrung bis einschließlich sechs Jahren auf, während 13

Probanden (65%) eine Erfahrung von über sechs Jahren aufwiesen (zweiseitiger exakter Fisher-Test $p = 1,0$). Somit musste das Kollektiv nicht weiter unterteilt werden.

Die Probanden mit einer Erfahrung bis einschließlich sechs Jahre benötigten median 180,5 Sekunden (Minimum 105 s; Q1 135,3 s; Q3 194,5 s; Maximum 247 s) bis zur erfolgreichen Ventilation mittels Koniotomie, während die Probanden mit einer Erfahrung über sechs Jahren median 222 Sekunden (Minimum 112 s; Q1 161 s; Q3 249,8 s; Maximum 535 s) benötigten.

Mittels Mann-Whitney-U-Test wurde berechnet, ob sich die Zeiten bis zur Ventilation unterschieden. Es zeigte sich ein relevanter Unterschied zwischen den beiden untersuchten Gruppen ($U = 99,500$; $Z = -2,340$; $p = 0,018$). Somit benötigten die Probanden mit weniger Erfahrung in der Anästhesiologie weniger Zeit bis zur erfolgreichen Ventilation mittels Koniotomie als die erfahreneren Probanden.

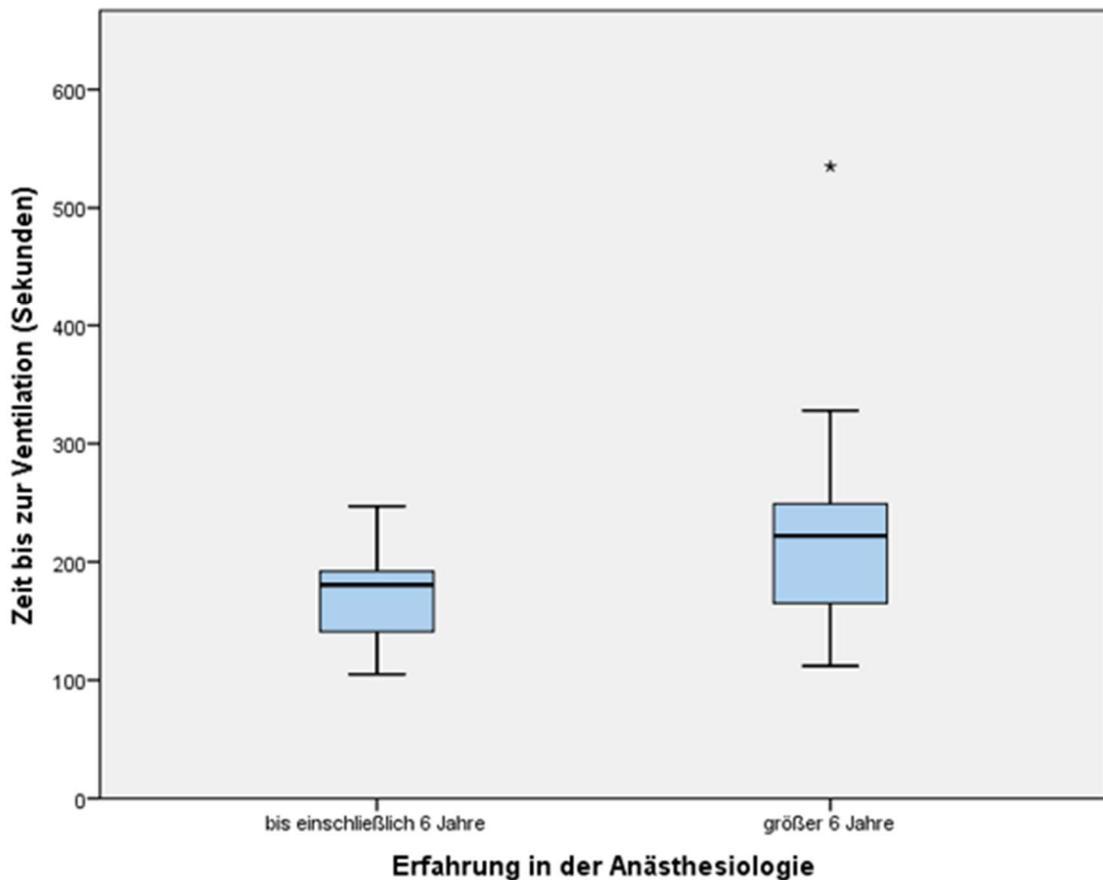


Abbildung 11: Zeit bis zur Ventilation in Abhängigkeit von der Erfahrung in der Anästhesiologie

4.2.3.2 Einfluss der Erfahrung mit Koniotomien am Patienten auf die Zeit bis zur Ventilation

Die Unterscheidung erfolgte in diesem Kollektiv anhand der Tatsache, ob bereits eine Koniotomie am Patienten selbst durchgeführt worden war oder nicht.

In der Gruppe mit CPR hatten 13 Probanden (65%) bisher keine Koniotomie am Patienten durchgeführt, während sieben Probanden (35%) bereits eine Koniotomie durchgeführt hatten. In der Gruppe ohne CPR fehlte von einem Probanden die Antwort auf die Frage nach bereits durchgeführten Koniotomien, so dass nur 19 Probanden in die Auswertung eingingen. Von diesen hatten 15 Probanden (79%) bisher keine Koniotomie durchgeführt und vier Probanden (21%) diese bereits am Patienten vorgenommen. Der zweiseitige exakte Fisher-Test ergab $p = 0,480$. Daher wurde auf eine weitere Unterteilung der untersuchten Gruppe verzichtet.

Probanden, die bereits eine Koniotomie am Patienten durchgeführt hatten, benötigten median 216 Sekunden (Minimum 112 s; Q1 141 s; Q3 247 s; Maximum 297 s) bis zur erfolgreichen Ventilation mittels Koniotomie, während die Probanden ohne vorherige Koniotomie am realen Patienten median 192,5 Sekunden (Minimum 105 s; Q1 153 s; Q3 245,8 s; Maximum 535 s) benötigten.

Mittels Mann-Whitney-U-Test wurde berechnet, ob sich die Zeiten bis zur Ventilation unterschieden. Es zeigte sich kein relevanter Unterschied zwischen den beiden untersuchten Gruppen ($U = 145,500$; $Z = -0,265$; $p = 0,794$). Die Tatsache, ob ein Proband bereits eine Koniotomie am Patienten durchgeführt hatte, beeinflusste also die Zeit bis zur erfolgreichen Ventilation mittels Koniotomie im ersten absolvierten Szenario nicht relevant.

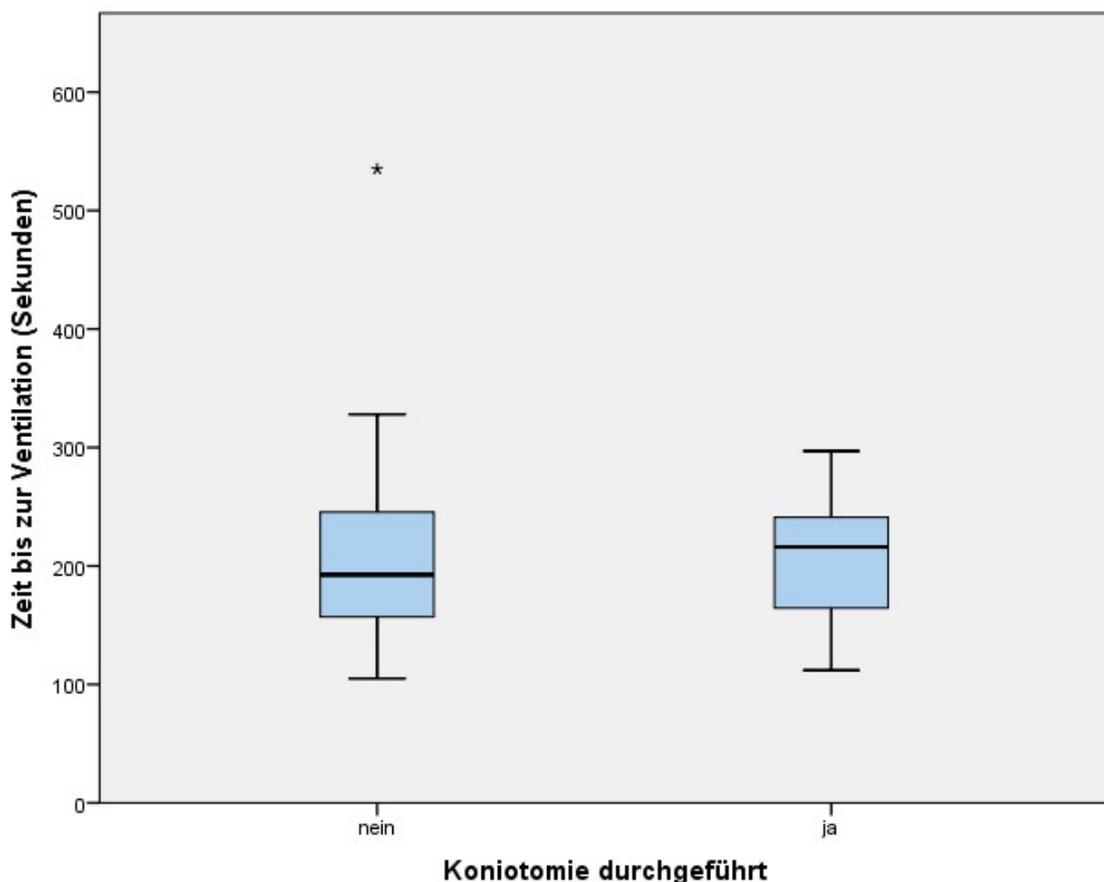


Abbildung 12: Zeit bis zur Ventilation in Abhängigkeit von einer durchgeführten Koniotomie am realen Patienten

4.2.3.3 Einfluss der gewählten Methode auf die Dauer der Durchführung einer Koniotomie

Die gewählte Methode zur Koniotomie im ersten absolvierten Szenario war zwischen den Szenarien mit und ohne CPR sehr ähnlich verteilt. In den Szenarien mit CPR wählten 13 Probanden (65%) eine chirurgische Koniotomie und sieben Probanden (35%) eine Punktionskoniotomie. In den Szenarien ohne CPR wählten 12 Probanden (60%) eine chirurgische Koniotomie und acht Probanden (40%) eine Punktionskoniotomie. Der zweiseitige exakte Fisher-Test ergab $p = 1,000$. Daher wurde auf eine weitere Unterteilung der untersuchten Gruppe verzichtet.

Die Probanden, die eine chirurgische Koniotomie durchführten, benötigten median 30 Sekunden (Minimum 16 s; Q1 25,5 s; Q3 38 s; Maximum 110 s) für die Durchführung der Maßnahme, während die Probanden für eine Punktionskoniotomie median 66 Sekunden (Minimum 45 s; Q1 59 s; Q3 79 s; Maximum 160 s) benötigten.

Mittels Mann-Whitney-U-Test wurde berechnet, ob sich die Durchführungszeiten der Koniotomie unterschieden. Es zeigte sich ein relevanter Unterschied zwischen den beiden untersuchten Gruppen ($U = 15,500$; $Z = -4,808$; $p < 0,001$) zugunsten der chirurgischen Koniotomie.

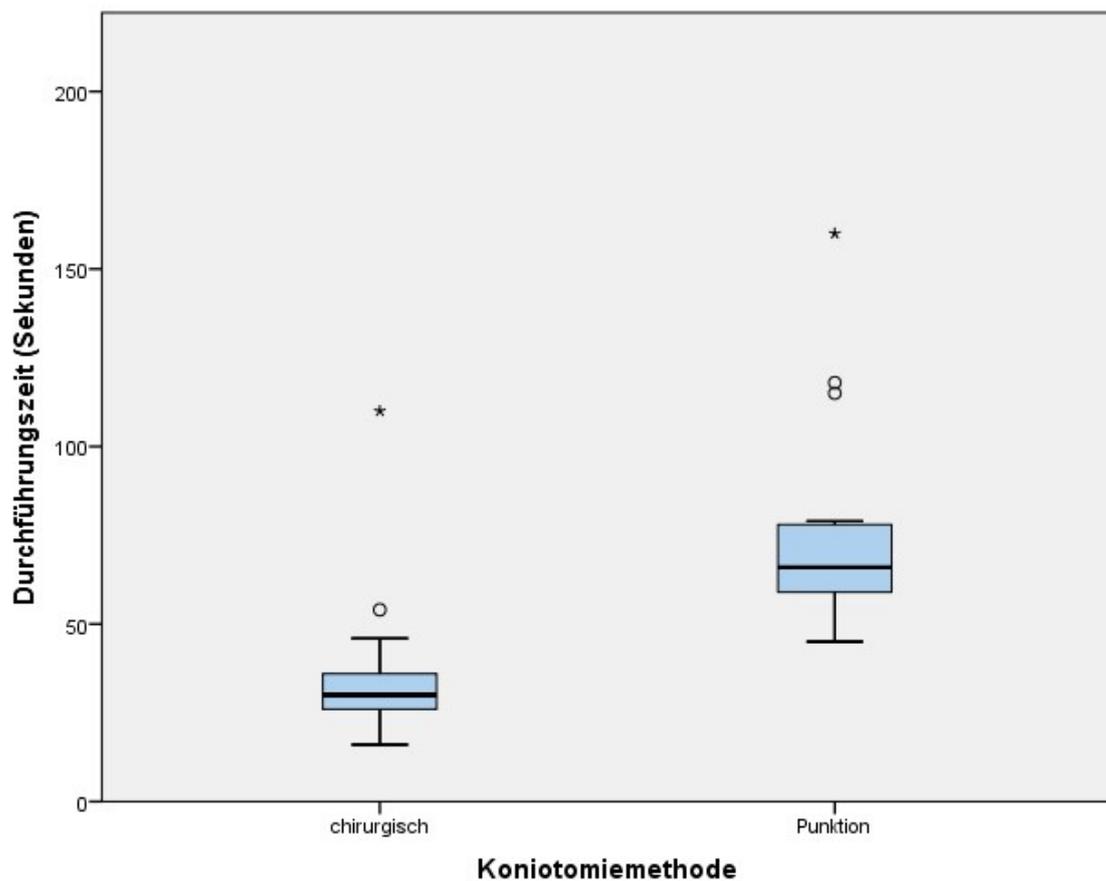


Abbildung 13: Zeit zur Durchführung der Koniotomie abhängig von der gewählten Methode

4.2.4 Einsatz verschiedener Hilfsmittel zur Sicherung der Atemwege

4.2.4.1 Erstes genutztes Atemwegshilfsmittel

In den Szenarien mit CPR nutzten 22 Probanden (55%) die Beutel-Masken-Beatmung als erste Maßnahme zur Beatmung. Elf (27,5%) wählten die direkte Laryngoskopie, drei (7,5%) die Larynxmaske und zwei (5%) ein Videolaryngoskop, während jeweils ein Proband (jeweils 2,5%) ein flexibles Intubationsendoskop bzw. die sofortige Koniotomie wählten.

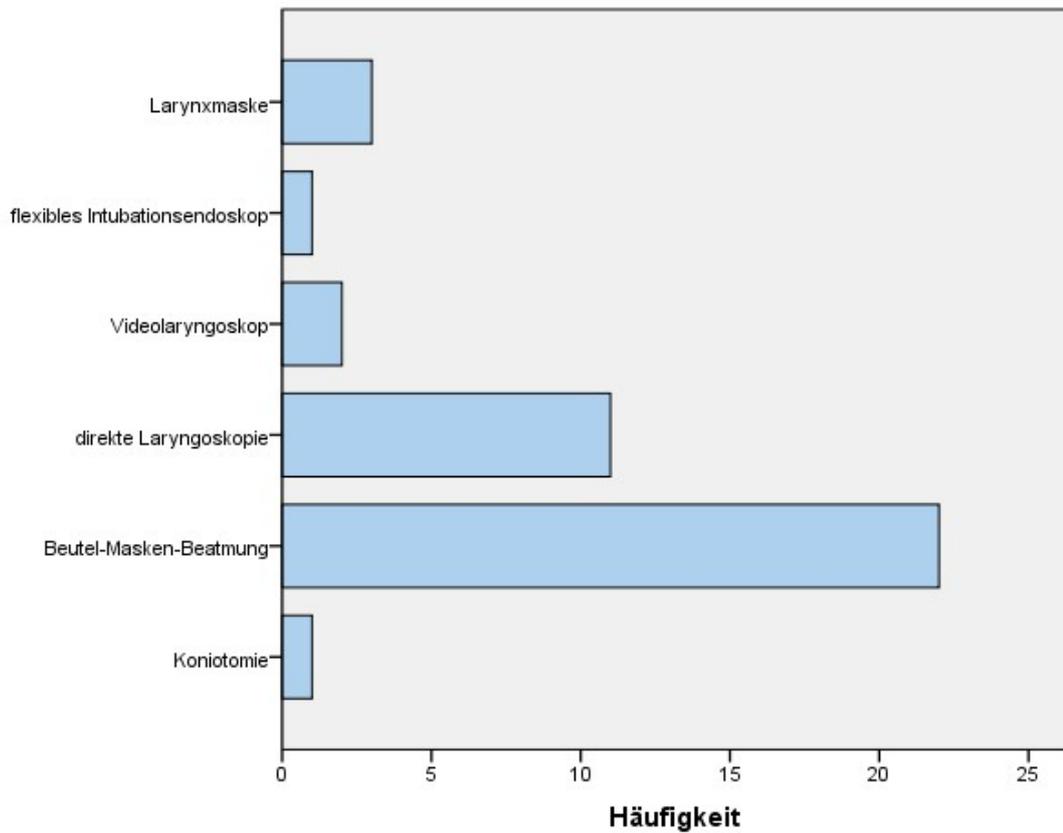


Abbildung 14: Erstes genutztes Atemweghilfsmittel in Szenarien mit Reanimation

In den Szenarien ohne CPR nutzten 25 Probanden (62,5%) die Beutel-Masken-Beatmung als erste Maßnahme zur Beatmung. Sieben (17,5%) wählten die Larynxmaske, fünf (12,5%) die direkte Laryngoskopie und drei (7,5%) ein Videolaryngoskop. Flexibles Intubationsendoskop und sofortige Koniotomie kamen in den Szenarien ohne Reanimation nicht als erste Maßnahme zum Einsatz.

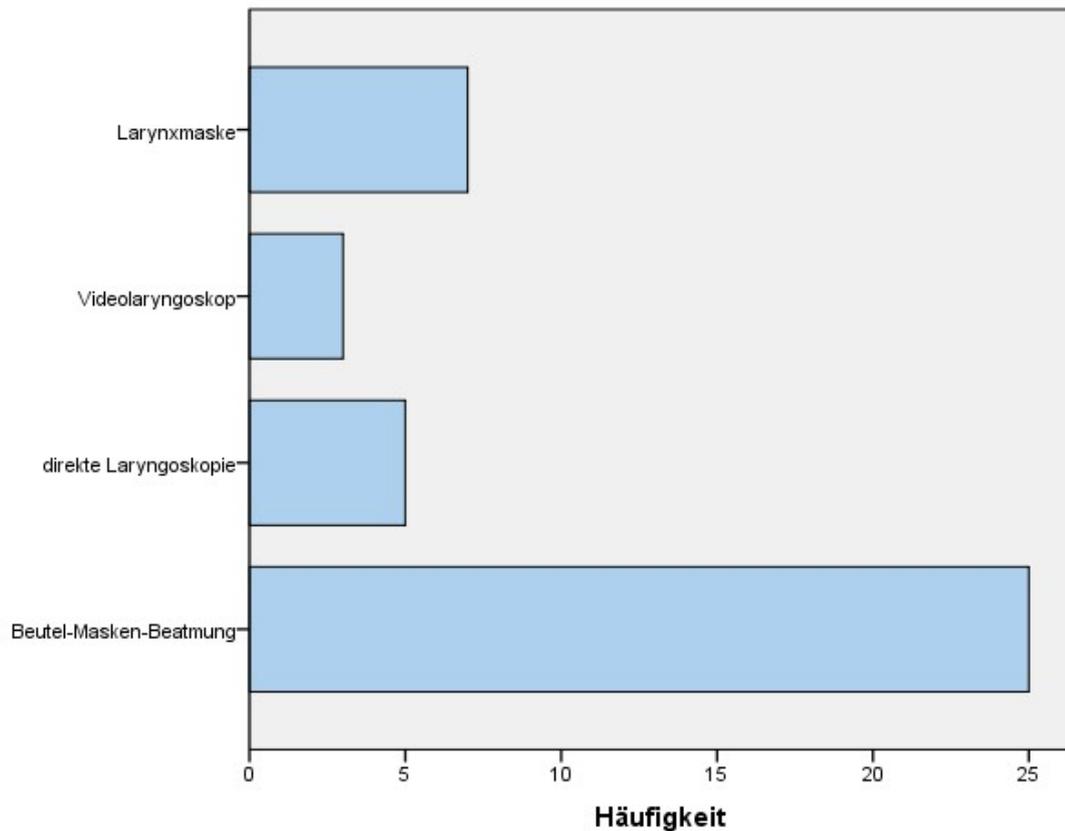


Abbildung 15: Erstes genutztes Atemwegshilfsmittel in Szenarien ohne Reanimation

4.2.4.2 Anzahl der genutzten Atemwegshilfsmittel vor der Koniotomie

In den Szenarien mit CPR nutzten die Probanden median drei Atemwegshilfsmittel vor Beginn der Koniotomie (Minimum 0; Q1 2; Q3 3; Maximum 4). 70% nutzten zwei oder drei Hilfsmittel.

In den Szenarien ohne CPR wurden ebenfalls median drei Atemwegshilfsmittel vor der Koniotomie genutzt (Minimum 1; Q1 2; Q3 3; Maximum 4). 80% der Probanden nutzten zwei oder drei Instrumente.

4.2.4.3 Häufigkeit des Einsatzes verschiedener Atemwegshilfsmittel

Die Beutel-Masken-Beatmung wurde in den Szenarien mit CPR von 28 (70%) der Probanden genutzt. Die mediane Zeit bis zum Einsatz lag bei 27 Sekunden (Minimum 7 s; Q1 18 s; Q3 52 s; Maximum 133 s). In den Szenarien ohne CPR nutzten 32 (80%) der Probanden diese Methode, die mediane Zeit bis zum Einsatz belief sich auf 26 Sekunden (Minimum 10 s; Q1 15,5 s; Q3 36,8 s; Maximum 123 s). Zur potenziellen Optimierung der Maskenbeatmung nutzten in den Szenarien mit CPR vier (10%) der Probanden eine beidhändige Beutel-Masken-Beatmung und acht (20%) einen oropharyngealen Tubus. In den Szenarien ohne CPR setzten zehn (25%) der Probanden die beidhändige Beutel-Masken-Beatmung ein und 14 (35%) versuchten, durch Einsatz eines oropharyngealen Tubus die Beatmung zu ermöglichen.

Die Larynxmaske als extraglottisches Atemweghilfsmittel wurde in den Szenarien mit CPR von 19 (47,5%) der Probanden genutzt. Die mediane Zeit bis zum Einsatz lag bei 100 Sekunden (Minimum 18 s; Q1 44 s; Q3 136 s; Maximum 175 s). In den Szenarien ohne CPR nutzten 27 (67,5%) der Probanden diese Methode, die mediane Zeit bis zum Einsatz belief sich auf 46 Sekunden (Minimum 20 s; Q1 31 s; Q3 82 s; Maximum 110 s).

Die direkte Laryngoskopie wurde in den Szenarien mit CPR von 19 (47,5%) der Probanden genutzt. Die mediane Zeit bis zum Einsatz lag bei 38 Sekunden (Minimum 27 s; Q1 34 s; Q3 55 s; Maximum 138 s). In den Szenarien ohne CPR nutzten 14 (35%) der Probanden diese Methode, die mediane Zeit bis zum Einsatz belief sich auf 67,5 Sekunden (Minimum 16 s; Q1 36,8 s; Q3 78,3 s; Maximum 121 s).

Das Videolaryngoskop wurde in den Szenarien mit CPR von 24 (60%) der Probanden genutzt. Die mediane Zeit bis zum Einsatz lag bei 78,5 Sekunden (Minimum 40 s; Q1 60,8 s; Q3 113,3 s; Maximum 221 s). In den Szenarien ohne CPR nutzten 23 (57,5%) der Probanden diese Methode, die mediane Zeit bis zum Einsatz belief sich auf 65 Sekunden (Minimum 32 s; Q1 56 s; Q3 100 s; Maximum 217 s).

Die flexible Intubationsendoskopie wurde in den Szenarien mit CPR von sieben (17,5%) der Probanden genutzt. Die mediane Zeit bis zum Einsatz lag bei 114 Sekunden (Minimum 89 s; Q1 100 s; Q3 132 s; Maximum 153 s). In den Szenarien ohne CPR nutzten 12 (30%) der Probanden diese Methode, die mediane Zeit bis zum Einsatz belief sich auf 105,5 Sekunden (Minimum 53 s; Q1 67,8 s; Q3 134,8 s; Maximum 173 s).

4.2.4.4 Letztes genutztes Atemweghilfsmittel vor der Koniotomie

In den Szenarien mit CPR nutzten fünf Probanden (12,5%) die Beutel-Masken-Beatmung als letzte Maßnahme vor der Koniotomie. Sechs (15%) wählten die direkte Laryngoskopie, jeweils neun (jeweils 22,5%) die Larynxmaske oder ein Videolaryngoskop, während zehn (25%) der Probanden ein flexibles Intubationsendoskop wählten. Ein Datensatz fehlt, da ein Proband die sofortige Koniotomie wählte und es daher kein zuletzt genutztes Atemweghilfsmittel gab.

In den Szenarien ohne CPR nutzten ebenfalls fünf Probanden (12,5%) die Beutel-Masken-Beatmung als letzte Maßnahme vor der Koniotomie. Vier (10%) wählten die direkte Laryngoskopie, fünf (12,5%) die Larynxmaske und 15 (37,5%) ein Videolaryngoskop, während elf (27,5%) der Probanden ein flexibles Intubationsendoskop wählten.

4.2.4.5 Gewählte Methode zur Koniotomie

In den Szenarien mit CPR wählten 26 (65%) der Probanden eine chirurgische Koniotomie, während 14 (35%) der Probanden eine Punktionskoniotomie nutzten. In den Szenarien ohne CPR nutzten 23 (57,5%) Probanden eine chirurgische Koniotomie und 17 (42,5%) eine

Punktionskoniotomie. Mit $p = 0.453$ ergab sich kein relevanter Unterschied in der Nutzung beider Verfahren zwischen den Szenarien mit oder ohne CPR.

4.2.5 Weitere Maßnahmen zur Behandlung der CICO-Situation

4.2.5.1 Befolgung des Atemwegsalgorithmus

In den Szenarien mit CPR hielt sich nur ein Proband (2,5%) streng dogmatisch an die Abfolge des Algorithmus zur Behandlung des unerwartet schwierigen Atemwegs, während 39 (97,5%) einen pragmatischen Ansatz wählten und einzelne Schritte übergingen. In den Szenarien ohne CPR wählten zwei (5%) der Probanden den dogmatischen Ansatz mit Nutzung aller im Algorithmus hinterlegten Schritte, während 38 (95%) der Probanden sich für den pragmatischen Weg entschieden.

4.2.5.2 Einsatz einer Relaxierung

In den Szenarien mit CPR ordneten 24 (60%) der 40 Probanden eine Relaxierung an, während 16 (40%) darauf verzichteten. In den Szenarien ohne CPR nutzten 31 (77,5%) der Probanden eine Relaxierung, 9 (22,5%) Probanden setzten sie nicht ein.

In den Szenarien, die in der Umgebung OP-Saal stattfanden, in der der Patient laut Fallbeschreibung soeben zur Narkoseeinleitung relaxiert wurde, ordneten 33 (82,5%) der Probanden unabhängig vom Vorliegen einer Reanimationssituation eine erneute Relaxierung an.

4.2.5.3 Anforderung von Hilfe

In den Szenarien mit CPR riefen fünf (12,5%) der Probanden um Hilfe, dies geschah im Median nach 26 Sekunden (Minimum 9 s; Q1 15 s; Q3 248,5 s; Maximum 445 s). In den Szenarien ohne CPR forderte nur ein Proband (2,5%) aktiv Hilfe an, dies geschah nach 127 Sekunden.

4.2.5.4 Kontrolle der Beatmungsschläuche

In den Szenarien mit CPR kontrollierte ein Proband (2,5%) die Schläuche am Beatmungsgerät auf eine mögliche Diskonnektion, wohingegen 39 (97,5%) darauf verzichteten. In den Szenarien ohne CPR wurde das Schlauchsystem von drei (7,5%) Probanden auf eine Diskonnektion untersucht, während 37 (92,5%) diese Maßnahme unterließen.

4.2.5.5 Überbrückende Beutel-Masken-Beatmung

Die Überbrückung der Zeit, die das durch die Instruktoren simulierte Assistenzpersonal benötigte, um das Material für die geplante Koniotomie zu richten, konnte für den Versuch einer Beutel-Masken-Beatmung genutzt werden. In den Szenarien mit CPR setzten 22 (55%) Probanden diese Maßnahme ein, wohingegen 18 (45%) darauf verzichteten. In den Szenarien

ohne CPR war dieses Verhältnis exakt umgekehrt, 18 Probanden (45%) nutzten den Versuch der Beutel-Masken-Beatmung und 22 (55%) unterließen diese Maßnahme.

4.2.5.6 Ergänzende Maßnahmen in den Szenarien mit und ohne CPR

Ein Defibrillator wurde in den Szenarien mit CPR von sieben (17,5%) der Probanden angefordert, 33 (82,5%) verzichteten darauf. Die mediane Zeit bis zur Anforderung eines Defibrillators betrug 54 Sekunden (Minimum 8 s; Q1 18 s; Q3 119 s; Maximum 185 s).

Die Gabe von Adrenalin entsprechend den Reanimationsleitlinien des ERC ordneten 25 (62,5%) Probanden an, während 15 (37,5%) dies unterließen. Die mediane Zeit bis zur Anordnung der Adrenalingabe betrug 65 Sekunden (Minimum 13 s; Q1 38,5 s; Q3 92,5 s; Maximum 238 s).

27 (67,5%) Probanden übernahmen deutlich die Leitung der Reanimation. Von diesen delegierte ein Proband (2,5%) die Leitung im weiteren Verlauf des Szenarios an das Team. Ein (2,5%) weiterer Proband delegierte die Leitung von Beginn an. Die verbliebenen 12 (30%) nahmen keinen Einfluss auf die durch das Instruktorenteam selbstständig begonnenen Basisreanimationsmaßnahmen.

Nur drei (7,5%) der Probanden leiteten die Reanimation erkennbar gemäß den Reanimationsleitlinien des ERC, während bei 37 (92,5%) die Behandlung des schwierigen Atemwegs oberste Priorität hatte.

Nach erfolgreicher Koniotomie und Ventilation setzte bei dem zuvor reanimationspflichtigen Simulationspatienten ein Spontankreislauf ein. Die Kontrolle dieses „Return of Spontaneous Circulation“ (ROSC) unterließen nur 2 (5%) Probanden, während 38 (95%) eine Kontrolle durchführten. Hierzu prüfte ein Proband (2,5%) den Puls, ein weiterer (2,5%) ordnete eine Messung des Blutdrucks an und 36 (90%) nutzten mehrere Maßnahmen gleichzeitig, um einen ROSC zu verifizieren.

Innerhalb der Szenarien ohne CPR nutzten vier Probanden (10%) eine Adrenalingabe zur Behandlung der blutdruckrelevanten Bradykardie des Simulationspatienten. Der Zeitpunkt der Adrenalingabe wurde in diesen Szenarien nicht erfasst.

5. Diskussion

Die vorliegende simulatorbasierte Untersuchung zeigte, dass die erfolgreiche Ventilation mittels Koniotomie, welche den entscheidenden Behandlungsschritt beim Vorliegen einer „Cannot Intubate, Cannot Oxygenate“-Situation darstellt, durch das simultane Auftreten einer Reanimationssituation um 22 Sekunden verzögert wurde. Dieser Zeitunterschied beruhte auf Verzögerungen in den einzelnen Teilschritten wie der Entscheidungsfindung bis zur Koniotomie sowie der manuellen Durchführung der Maßnahme selbst.

5.1 Methodendiskussion

In den folgenden Unterkapiteln werden zunächst die Rekrutierung und Probandenauswahl der vorliegenden Untersuchung diskutiert, bevor die Zusammenstellung des Fragebogens erörtert wird. Abschließend wird das Studiendesign mit mehreren einzelnen Faktoren ausführlich beleuchtet.

5.1.1 Rekrutierung und Probandenauswahl

Die vorliegende Untersuchung wurde im Rahmen eines jährlich stattfindenden klinikinternen simulatorbasierten Trainings über die Behandlung von Atemwegszwischenfällen durchgeführt. Diese Tatsache kann die Ergebnisse beeinflusst haben, da die Probanden aufgrund der Thematik des angebotenen Trainings die Konfrontation mit der Behandlung eines schwierigen Atemweges erwartet haben dürften. Dieselbe Limitation wurde bereits von Ott und Kollegen in einer Vorgängerstudie thematisiert [55]. Die Erwartungshaltung wurde jedoch weder dort noch in der vorliegenden Untersuchung retrospektiv erfragt und lässt sich daher nur vermuten. Dieser Limitation entgegenstellen kann man, dass in keinem der Trainings der vorherigen Jahre ein Szenario mit der Notwendigkeit zur Reanimation durchgeführt wurde, so dass die unterstellte Erwartungshaltung zumindest teilweise relativiert werden kann. Auch der Fakt, dass in beiden absolvierten Szenarien eine Koniotomie zur Lösung der Situation notwendig war, war so für die Probanden nicht zu erwarten.

Bei der hier untersuchten Stichprobe handelte es sich um ein stark selektiertes und hochqualifiziertes Kollektiv in Bezug auf die Durchführung der Atemwegssicherung und Reanimation. Im Median verfügten die Probanden über eine Erfahrung von 7,5 Jahren in der Anästhesiologie, einem Fachgebiet, in dem man täglich mit der Atemwegssicherung bei unterschiedlichsten Patienten konfrontiert ist. 80% der Probanden hatten ihre Weiterbildung bereits abgeschlossen und waren in 75% der Fälle (60% des Gesamtkollektivs) als aufsichtführender Facharzt in unterschiedlichen OP-Bereichen tätig. 97,5% der Probanden verfügten über die Zusatzbezeichnung Notfallmedizin, was zur Tätigkeit als Notarzt im außer-

und innerklinischen Einsatz qualifiziert und die Behandlung reanimationspflichtiger Patienten umfasst, so dass auch in Bezug auf diese komplexe Notfallsituation und die zugehörigen Leitlinien adäquate Kenntnisse und Fertigkeiten vorausgesetzt werden konnten. Die Beschränkung des Studienkollektivs auf erfahrene Anästhesiologen wurde mit Absicht vorgenommen. Nicht die rein technischen Fertigkeiten der Koniotomie wurden untersucht, sondern der Fokus lag auf dem Entscheidungsweg hin zur Koniotomie mit und ohne Ablenkung durch eine laufende Reanimation. Wäre ein Assistenzarzt der Anästhesiologie in den ersten Jahren seiner Weiterbildung mit solch einer Situation konfrontiert, hätte er in kürzester Zeit einen Facharzt an seiner Seite, der die Koordination der Notfallsituation übernehme. Erst mit dem Eintritt in den Notarzdienst nach mindestens zweieinhalbjähriger Weiterbildung erhöht sich die Wahrscheinlichkeit drastisch, dass ein Assistenzarzt als alleiniger Entscheidungsträger mit einer solchen Notfallsituation konfrontiert ist. Außerdem wurde auf ein vorheriges Training und einen Vortrag zu den Algorithmen der Reanimation und der Behandlung des unerwartet schwierigen Atemwegs bewusst verzichtet, um die Erwartungshaltung der Probanden nicht weiter zu beeinflussen. Hätte man die Stichprobe weniger stark selektiert und auch unerfahrene Weiterbildungsassistenten eingeschlossen, wären die gemessenen Zeiten hierdurch mit hoher Wahrscheinlichkeit negativ beeinflusst worden. Durch die Selektion konnte man sicherstellen, dass Verzögerungen in den Szenarien kaum durch Unkenntnis der verfügbaren Materialien oder Abläufe bedingt waren und somit eine mögliche Fehlerquelle eliminieren. Zudem war in diesem Kollektiv die in Studien und Leitlinien geforderte Mindestanzahl von 50 bzw. 100 supervidierten endotrachealen Intubationen bis zu einer regelmäßigen Erfolgsquote von >90% gegeben [82, 83]. Eine ähnliche Beschränkung der Probanden auf erfahrene Anästhesiologen, Intensivmediziner oder Notfallmediziner nutzten auch diverse vorherige Studien [4, 84], die technische und nicht-technische Fertigkeiten in Bezug auf die Behandlung einer CICO-Situation und die Durchführung einer Koniotomie untersuchten. Aufgrund der Komplexität der im Rahmen der vorliegenden Untersuchung geforderten technischen und nicht-technischen Fertigkeiten wäre eine weniger rigide Selektion des Probandenkollektivs nicht zielführend gewesen, eine noch stärkere Selektion hingegen hätte zu Rekrutierungsproblemen geführt.

5.1.2 Fragebogen

Der Fragebogen zur vorliegenden Untersuchung war zweigeteilt und bestand aus jeweils einer Seite vor und nach Durchführung der beiden Szenarien. Der Teil vor der Untersuchung fragte hauptsächlich demographische Informationen und auf die Anästhesiologie und Notfallmedizin bezogene Vorerfahrungen ab, wie es gängige Praxis in vorherigen Studien bezüglich der Koniotomie zur Charakterisierung des Probandenkollektivs war [4, 55, 85]. Erst im zweiten Teil, der nach Absolvieren beider Untersuchungsszenarien beantwortet wurde, waren Fragen

zur Vorerfahrung mit Koniotomien und zu bevorzugten Materialien zur Atemwegssicherung enthalten, um so die Entstehung einer möglichen Erwartungshaltung zu verhindern. Ergänzt wurden diese Fragen um weitere, von den Probanden zu beurteilende Aussagen bezüglich des Atemwegsalgorithmus, die der Selbsteinschätzung dienen. Die abschließenden drei offenen Fragen waren primär zur Selbstreflexion der Probanden gedacht, um die bearbeiteten Szenarien nochmals in ruhiger Umgebung durchdenken zu können.

Obgleich weitere Themen, wie beispielsweise das erlebte Stresslevel während der Szenarien oder die Vertrautheit mit den durchgeführten Maßnahmen mit Sicherheit interessante und untersuchungswürdige Aspekte geboten hätten, wurde hierauf verzichtet, um den Umfang des zu beantwortenden Fragebogens nicht übermäßig auszudehnen. Hieraus ergeben sich mögliche Ansätze für zukünftige Untersuchungen.

5.1.3 Studiendesign

5.1.3.1 Entscheidung für eine Simulationsstudie

Natürlich gilt in der evidenzbasierten Medizin die prospektive, randomisierte, doppelverblindete Studie als Goldstandard. Daher sollte auch die vorliegende Untersuchung diesen Kriterien entsprechen. Wünschenswert, jedoch vollkommen utopisch, wäre eine Untersuchung in der klinischen Praxis an realen Patienten gewesen. Einerseits widersprachen diesem Ansatz grundlegende ethische Bedenken, andererseits organisatorisch-logistische Gründe. Randomisierte Studien in Notfallsituationen sind aufgrund der eingeschränkten Planbarkeit und der Notwendigkeit einer unverzüglichen Intervention organisatorisch kompliziert durchzuführen. Bei einem Auftreten einer CICO-Situation zwischen 0,008% (1:13.000) und 0,004% (1:25.000) [30] und einer angestrebten Fallzahl von jeweils 40 Interventions- und Kontrollszenarien hätte die Untersuchung selbst unter optimalen Bedingungen und bei einer Ausweitung auf mehrere Zentren Jahrzehnte in Anspruch genommen. Für das gleichzeitige Auftreten einer CPR wäre die Wahrscheinlichkeit nochmals deutlich geringer. Daher fiel die Entscheidung zugunsten der Durchführung einer simulatorbasierten Studie mit möglichst großer Realitätsnähe (sogenannte High-Fidelity-Simulation). Dominanteste Gründe für die Nutzung einer Simulationsstudie waren die fehlende Patientengefährdung, die Möglichkeit der Standardisierung der Untersuchungsbedingungen für jeden Probanden sowie die Tatsache, dass man das Szenario der CICO-Situation, welches im klinischen Alltag äußerst selten auftritt, für jeden Probanden generieren konnte. Diese Vorteile der Simulation sind schon lange bekannt und wurden beispielsweise von Fritz und Kollegen in ihrem Review über die Nutzung von simulatorbasierter High-Fidelity-Simulation in der Notfallmedizin aufgezählt [86]. Natürlich existieren auch Nachteile der Simulation, die dazu in der Lage sind, die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung systematisch beeinflusst zu haben. Mehrere Faktoren können

dazu beigetragen haben, dass die gemessenen Zeiten im Vergleich zum Zeitbedarf bei der Versorgung eines realen Patienten mit einer CICO-Situation deutlich kürzer waren. Zum einen geht man davon aus, dass die Hemmschwelle zur Durchführung einer invasiven Maßnahme wie einer Koniotomie an einem Patientensimulator niedriger liegt [87, 88]. Gleichzeitig besteht eine „Hypervigilance“ [88], also eine Überaufmerksamkeit für mögliche negative Ereignisse. Die vereinfachten anatomischen Gegebenheiten der Kopf-Hals-Region am Simulator, fehlende Retraktionskräfte unterschiedlicher Gewebeschichten und das Fehlen von störenden Sekreten wie Blut und Speichel werden zu einer erhöhten Geschwindigkeit bei den verschiedenen Maßnahmen zur versuchten Atemwegssicherung im Vergleich zum realen Patienten geführt haben. Auch bei realen Patienten notwendige Einzelschritte wie die mehrfache Hautdesinfektion und Applikation eines sterilen Lochtuchs, das Anziehen steriler Handschuhe oder die teils aufwendige Vorbereitung von Atemwegshilfsmitteln wie dem flexiblen Intubationsendoskop entfielen bei der Behandlung des Patientensimulators komplett oder wurden nur angedeutet. Da der Fokus der Untersuchung auf der Entscheidungsfindung bis zur Koniotomie in Kombination mit der Durchführung und nicht auf der korrekten sequenziellen Durchführung einer chirurgischen Koniotomie oder einer Punktionskoniotomie lag, wurden diese Abweichungen toleriert. Als letzte Limitation ist die seit langem diskutierte und bisher nicht beantwortete Frage zu nennen, inwieweit im Rahmen von simulatorbasierten Trainings erworbene Fertigkeiten und erhobene Daten auf die klinische Patientenversorgung übertragen werden können. Mit großer Wahrscheinlichkeit ist auch bei qualitativ hochwertiger Simulation keine vollständige Übertragbarkeit möglich, es können aber mit Sicherheit Tendenzen für die reale Patientenversorgung abgeleitet werden. Trotz all dieser erwähnten Einschränkungen bot eine simulatorbasierte Untersuchung die besten Voraussetzungen für die vorliegende Studie.

5.1.3.2 Randomisiertes Crossover-Design

Im Rahmen der Untersuchung durchlief jeder Proband zwei Szenarien mit einem identischen Endpunkt, der erfolgreichen Ventilation mittels Koniotomie. Damit die Probanden einen persönlichen Nutzen aus der Teilnahme an der Studie ziehen konnten, war im Anschluss an jedes Szenario eine kurze, strukturierte Nachbesprechung der behandelten Situation obligat. Hieraus resultierte die Gefahr einer Übertragung von Erfahrungen aus dem ersten auf das zweite Szenario mit daraus resultierendem schnellerem Erreichen des primären Endpunktes. Dieser mögliche Übertragungseffekt wurde im Rahmen der statistischen Auswertung mit einem Mann-Whitney-U-Test ausgeschlossen. Erst danach wurde die Testung des Hodges-Lehmann-Schätzers durchgeführt. So durchlief die Hälfte der Probanden zuerst das Szenario der Interventionsgruppe mit CPR und anschließend das Szenario der Kontrollgruppe ohne CPR. Für die zweite Hälfte der Probanden erfolgte diese Zuteilung umgekehrt. Die

Randomisierung der Gruppenzuteilung verringerte zusätzlich die Gefahr eines Selektionsbias. Ein Crossover-Design verwendeten bereits verschiedene Autoren zum Vergleich von unterschiedlichen Methoden zur Koniotomie [89-91]. Um die Übertragungseffekte zwischen den beiden Szenarien durch das Studiendesign möglichst gering zu halten, wurde von vornherein die Umgebung der Simulation zwischen OP-Saal und CT-Raum variiert. Zusätzlich unterschieden sich in den beiden genutzten Umgebungen auch die Vorgeschichten der Patienten, die den Probanden vor Beginn der Simulationsszenarien vorgestellt wurden.

5.1.3.3 Auswahl des Patientensimulators

In der vorliegenden Untersuchung fiel die Wahl auf eine High Fidelity-Simulation mit dem „SimMan“ der Firma Laerdal und einem möglichst realitätsnahen Arbeitsumfeld. Der Schwerpunkt der Untersuchung lag auf dem schrittweisen Abarbeiten des Algorithmus zur Sicherung des unerwartet schwierigen Atemwegs mit der finalen Entscheidung zur Koniotomie und der Durchführung dieser Maßnahme. In der Untersuchungsgruppe waren darüber hinaus Reanimationsmaßnahmen durchzuführen. Der hieraus resultierende Stressfaktor sollte einer realen Patientenversorgung so nahe wie möglich kommen. Ein vergleichbares Vorgehen mit demselben Patientensimulator wählten Petrosniak et al. Sie ließen 20 Assistenzärzte der Notfallmedizin nach einer Basisevaluation ihrer Koniotomiefertigkeiten und einer anschließenden theoretischen und praktischen Übungsphase eine Koniotomie am „SimMan“ durchführen. Als Steigerung des Realitätsgrades wurde diese Untersuchung nicht in einem separaten Simulationszentrum, sondern als sogenannte „in situ-Simulation“ unangekündigt während einer Schicht der Probanden in der Notaufnahme durchgeführt [92]. Einschränkungen des Realismus durch die Nutzung eines Patientensimulators beruhen insbesondere auf der fehlenden Blutung bei Penetration von Haut und Gewebe, dem Fehlen verschiedener Gewebeschichten mit unterschiedlichen Retraktionskräften und der artifiziellen Haptik im Vergleich zu realen Patienten oder Präparaten. So kann man davon ausgehen, dass die in der vorliegenden Untersuchung gemessenen Zeiten der Durchführungsgeschwindigkeit der Koniotomie im Vergleich zur Durchführung an einem realen Patienten deutlich verkürzt sind.

Gegen eine klinische Studie an realen Patienten zu dieser Fragestellung hätten jedoch verschiedene, bereits in Kapitel 5.1.3.1 ausgeführte Gründe gesprochen. Ethische Bedenken und der Bedarf von 80 Präparaten für die angestrebte Fallzahl sprachen ebenfalls gegen die Verwendung von Leichnamen, die beispielsweise von Takayasu und Kollegen aufgrund der besonders realistischen haptischen Bedingungen als bessere Methode zum Training der Koniotomie im Vergleich zu Atemwegsmodellen propagiert wurde [93].

Viele vorangegangene Untersuchungen, die den Zeitbedarf einer Koniotomie mittels unterschiedlicher Methoden verglichen, nutzten deutlich einfachere Atemwegsmodelle [85, 94]. Da der Fokus in diesen Untersuchungen auf der korrekten Durchführung der verschiedenen Verfahren und der dafür benötigten Zeit lag, waren diese Modelle für die behandelten Fragestellungen vollkommen ausreichend. Den Anforderungen der vorliegenden Untersuchung mit der Option zur Durchführung von Thoraxkompressionen während der Atemwegssicherung wären diese einfachen Modelle nicht gerecht geworden. Dieselben Überlegungen galten für Atemwege von Schweinen, die zwar dem Menschen ähnliche anatomische Bedingungen bieten [95], jedoch den umfangreicheren Anforderungen eines simulierten Patienten nicht genügten und daher für die vorliegende Untersuchung nicht infrage kamen.

Durch die zunehmende Verfügbarkeit von modernen Verfahren wie dem 3D-Druck und der Nutzung zur Erstellung von Difficult Airway-Modellen [96, 97] kann die Realitätsnähe verfügbarer Simulatoren in Zukunft voraussichtlich noch gesteigert werden.

Zum Zeitpunkt der Datenerhebung der vorliegenden Untersuchung in den Jahren 2016 und 2017 bot der genutzte „SimMan“ oder ein vergleichbarer Patientensimulator insgesamt trotz der obengenannten Limitationen die bestmöglichen Bedingungen zur Evaluation der untersuchten Fragestellungen.

5.1.3.4 Theoretische und praktische Einführung vor Untersuchungsbeginn

Zahlreiche Studien, die die Geschwindigkeit der Durchführung einer Koniotomie mit verschiedenen Techniken verglichen, ermöglichten den Probanden vor Beginn der Untersuchung eine theoretische Einführung oder eine praktische Übungsphase mit den verfügbaren Hilfsmitteln. Chrisman und Kollegen beispielsweise untersuchten drei verschiedene Methoden der Koniotomie am Schweinelarynx. Die Probanden sahen vorher zu jeder Technik ein standardisiertes Video und konnten alle drei Techniken einmalig an einem vereinfachten Atemwegstrainer durchführen, bevor die Untersuchung am Schweinelarynx durchgeführt wurde [98]. Ein ähnliches Vorgehen wählten Murphy und Kollegen bei einem Vergleich von drei perkutanen Koniotomietechniken mit der chirurgischen Koniotomie. Hier erhielten die Probanden eine fünfminütige Demonstration entsprechend den Herstellervorgaben und einen einmaligen Trainingsdurchgang [99].

Im Gegensatz dazu wurde in der vorliegenden Untersuchung bewusst auf ein Anwendungstraining oder eine theoretische Einführung, wie die vorgehaltenen Atemwegshilfsmittel und insbesondere die beiden zur Verfügung stehenden Methoden zur Koniotomie genutzt werden müssen, verzichtet. Bei den verfügbaren Materialien handelte es

sich um die Standardausstattung des in der Klinik für Anästhesiologie vorgehaltenen Atemwegswagens. Daher konnte vorausgesetzt werden, dass die Probanden mit der Handhabung der Materialien zumindest in der Theorie vertraut waren. Auch die durchschnittliche Expertise von 7,5 Jahren Tätigkeit in der Anästhesiologie rechtfertigte diese Vorgehensweise. Zusätzlich hatten alle Probanden bereits in vorherigen Jahren an einem Atemwegstraining der Institution teilgenommen. Bei diesem wurde neben der fallbasierten Behandlung von Atemwegsproblemen auch immer ein Kursteil angeboten, in dem der Umgang mit den an der Klinik verfügbaren Atemweghilfsmitteln unter Supervision an Modellen trainiert werden konnte. Ein direkt vor Durchführung der Untersuchung stattfindendes Anwendungstraining der vorgehaltenen Koniotomiemethoden hätte die Probanden dazu verleiten können, sich schneller für die Durchführung einer Koniotomie zu entscheiden und so zu einer Verfälschung der Ergebnisse führen können. Ein weiteres Argument gegen ein Training vor Beginn der eigentlichen Untersuchung lieferten bereits Dimitriadis et al. im Jahr 2008 in der Einführung zu ihrer Untersuchung von vier verschiedenen Methoden zur Koniotomie. Sie führten aus, es sei unwahrscheinlich, dass ein Arzt, der mit einer CICO-Situation konfrontiert wird, ein kurz zurückliegendes Training bezüglich Notfallatemwegstechniken gehabt habe. Zudem habe er in einer solchen realen Situation nicht die Möglichkeit, sich in Ruhe mit dem verfügbaren Material vor Durchführung der Koniotomie vertraut zu machen [94]. Ein Kennenlernen des Simulators und der gegebenen Interaktionsmöglichkeiten wurde den Probanden in der vorliegenden Untersuchung vor Beginn der Szenarien hingegen ermöglicht. Hierdurch sollte möglichen simulatorbedingten Fehlinterpretationen wie z.B. dem Fehlen einer Lippenzyanose bei Sauerstoffsättigungsabfall und daraus resultierenden falschen Folgerungen und Handlungen vorgebeugt werden.

Zusammenfassend lässt sich konstatieren, dass durch das gewählte Vorgehen eine möglichst geringe Beeinflussung der Probanden bei gleichzeitiger Reduktion einer sämtlichen simulatorbasierten Untersuchungen inhärenten Übungskünstlichkeit ermöglicht wurde.

5.1.3.5 Aufbau der Szenarien

In beiden durch die Probanden zu absolvierenden Szenarien hatten diese die Rolle des verantwortlichen Facharztes inne und mussten den durch Instruktoren simulierten Teammitgliedern (Assistenzarzt und Anästhesiepflegekraft) Aufgaben zuweisen. Die Probanden erhielten keinerlei Hilfestellung durch die Instruktoren bezüglich Entscheidungsfindung oder Wahl der Atemweghilfsmittel. Auf Aufforderung wurden den Instruktoren zugewiesene Aufgaben aber kompetent und selbstständig erfüllt und dem Probanden adäquat zugearbeitet. So konnte ein möglichst standardisiertes Vorgehen der Instruktoren ohne Einflussnahme auf die gemessenen Zeiten gesichert werden, wie es auch

in anderen Studien durchgeführt wurde [84, 92]. Die Instruktoren wurden täglich vor Beginn der Szenarien durch einen der beiden Hauptuntersucher entsprechend mündlich instruiert. Für eine maximale Standardisierung hätte man alle Instruktoren vor Beginn der gesamten Untersuchung in mehreren Übungsszenarien ihre Rollen trainieren lassen können oder ein Skript mit erlaubten und unerlaubten Interaktionen mit den Probanden erstellen können. Aufgrund von wechselnden Personalkonstellationen an den verschiedenen Untersuchungstagen wurde hierauf zugunsten der morgendlichen Einweisungen verzichtet.

Die beiden Umgebungen CT-Raum und OP-Saal, in denen die Szenarien jeweils durchgeführt wurden, wurden möglichst realitätsnah mit in der Klinik regelhaft verfügbaren Geräten und Materialien ausgestattet. Sowohl in jedem OP-Bereich als auch im CT-Raum, in dem die Versorgung von Schockraumpatienten in der Universitätsmedizin Mainz stattfindet, sind ein Narkosewagen und ein Difficult Airway-Wagen mit standardisierten Materialien zur Sicherung des schwierigen Atemweges schnell verfügbar. Diese standen auch in den Simulationsszenarien zur Verfügung. Ein zu berücksichtigender Einflussfaktor für die vorliegende Untersuchung stellt die unmittelbare Verfügbarkeit des Difficult Airway-Wagens in den simulierten Szenarien dar. In der realen klinischen Patientenversorgung hätte dieser durch eine Hilfsperson noch vom jeweiligen „Parkplatz“ im CT-Raum bzw. OP-Trakt direkt zum Patienten gebracht werden müssen. Somit kann davon ausgegangen werden, dass die gemessenen Zeiten für Interventionen und Atemwegsmaßnahmen hierdurch im Vergleich zu einer realen Patientenversorgung verkürzt wurden.

Die präsentierten Patienten und ihre Vorgeschichten in den beiden Szenarien entsprachen ebenfalls leicht abgeänderten realen Fällen. Allerdings gab es in den präsentierten Szenarien einige Unterschiede, die in zukünftigen Studien zur weiteren Optimierung vermieden werden sollten. So wurde der Blutdruck bei dem Patienten im OP-Saal mittels nicht-invasiver Blutdruckmessung im Intervall gemessen, während die Patientin im CT-Raum mit einer arteriellen Kanüle zur kontinuierlichen Blutdruckmessung versorgt war. Da aber in beiden simulierten Umgebungen mit den entsprechenden Patienten eine gleiche Anzahl an Interventions- und Kontrolluntersuchungen durchgeführt wurde, hätten sich hierdurch entstandene Verzerrungen auf alle Gruppen gleichermaßen ausgewirkt und sind daher zu vernachlässigen. Ein weiterer Unterschied zwischen den beiden präsentierten Fallvignetten war die Tatsache, dass der Patient im OP-Saal zur Narkoseeinleitung Muskelrelaxantien erhalten hatte, während die Patientin im CT-Raum für den Transport nicht relaxiert worden war. Unter anderem in den aktuellen deutschen und britischen Leitlinien zur Behandlung des schwierigen Atemweges wird die Relaxierung zur Optimierung der Beatmungs- und Intubationsbedingungen empfohlen [3, 30]. Auch durch diesen Unterschied der beiden Szenarien bestand die Gefahr einer systematischen Abweichung in der Behandlung der beiden Simulationspatienten. Allerdings hätte sich auch hier der Fehler gleichermaßen auf

Kontroll- und Interventionsgruppe ausgewirkt und kann somit vernachlässigt werden. Dies spiegelt sich auch in der Analyse der Nutzung einer Relaxierung in den verschiedenen Umgebungen. Hier zeigte sich, dass in den Szenarien im OP-Saal 33 Probanden (82,5%) eine Relaxierung anordneten, obwohl der Patient in der Fallvignette als bereits relaxiert beschrieben wurde. Ein letzter Unterschied zwischen den beiden Szenarien lag in der Vorgeschichte bezüglich der versuchten Atemwegssicherung. Im Szenario im OP-Saal war die Narkoseeinleitung durchgeführt worden und die Maskenbeatmung nicht möglich, es hatte jedoch noch kein Versuch der endotrachealen Intubation stattgefunden. Somit war – zumindest formal – die Atemwegssicherung an diesem Punkt noch nicht fehlgeschlagen, da noch kein Intubationsversuch stattgefunden hatte. Im Szenario im CT-Raum hatte der transportbegleitende Assistenzarzt einen Versuch unternommen, den dislozierten Endotrachealtubus zu replatzieren. Es wurde nicht näher ausgeführt, ob hierunter ein adäquater Intubationsversuch mittels Laryngoskopie zu verstehen war oder ein „blindes“ Vorschieben des Tubus ohne laryngoskopische Kontrolle. Somit könnte dieser Replatzierungsversuch – zumindest formal – als fehlgeschlagene Atemwegssicherung interpretiert werden. Aufgrund des Scheiterns sollte die Simulationspatientin mittels Beutel-Masken-Beatmung oxygeniert werden, was jedoch nicht möglich war. Somit war die Ausgangssituation, die der Proband in den simulierten Szenarien vorfand, wieder identisch. Durch die Dringlichkeit der simulierten Situation mit einem Assistenzarzt, dem die Beatmung des Patienten nicht gelingt, einer niedrigen SpO₂ sowie visuellen und akustischen Alarmen am Patientenmonitor blieb den Probanden jedoch keine Zeit, diese Differenz in den Ausgangssituationen zu hinterfragen. Selbst wenn hierdurch in allen untersuchten Szenarien ein Unterschied in der Vorgehensweise entstanden wäre, hätte dieser sich wiederum auf Interventions- und Kontrollgruppe gleichermaßen ausgewirkt und kann damit vernachlässigt werden. Für nachfolgende Studien sollte trotz der Nutzung von Fallvignetten aus dem klinischen Alltag mit noch größerer Sorgfalt dafür Sorge getragen werden, dass die präsentierten Simulationspatienten und -situationen im Hinblick auf das Patientenmonitoring, die applizierten Medikamente und die bereits vorgenommenen Interventionen möglichst identisch sind. Hierdurch können potenzielle systematische Verzerrungen in den unternommenen Messungen vermieden werden.

5.2 Ergebnisdiskussion

5.2.1 Erhobene Zeiten zur Koniotomie

In den folgenden Unterkapiteln wird zuerst der primäre Endpunkt, die Zeit bis zur Ventilation mittels Koniotomie mit und ohne Reanimation erörtert und diskutiert. Im Anschluss wird auf die drei Zeiten der sekundären Endpunkte eingegangen, aus denen sich der primäre Endpunkt zusammensetzt: Die Zeit bis zur Entscheidung zur Koniotomie, die Zeit bis zum Beginn der Koniotomie und schließlich die Dauer der Koniotomie.

5.2.1.1 Zeit bis zur Ventilation mittels Koniotomie

In der vorliegenden Studie wurde die Lösung einer CICO-Situation mit allen zugehörigen Schritten und Entscheidungen sowie der praktischen Durchführung der einzelnen Maßnahmen am Patientensimulator untersucht. Für die Szenarien mit CPR benötigten die Probanden in der ersten Sequenz (erst mit CPR, dann ohne CPR) median 217 Sekunden und in der zweiten Sequenz (erst ohne CPR, dann mit CPR) 217,5 Sekunden. Die Zeiten in den Szenarien ohne CPR lagen median bei 173,5 Sekunden in Sequenz 1 und 196,5 Sekunden in Sequenz 2. Die Zeit bis zur Ventilation war in den Szenarien, in denen zeitgleich eine CPR stattfand, im Mittel 22 Sekunden langsamer als in der Kontrollgruppe. Dieser Unterschied in der Zeit bis zur Ventilation lässt sich nicht ausschließlich auf einen einzelnen Teilbereich des Entscheidungsweges zurückführen, sondern summiert sich aus durch die Reanimation verursachten Verzögerungen bei der Zeit bis zur Entscheidung zur Koniotomie, der Zeit bis zum Beginn der Koniotomie und der Durchführung der Koniotomie. Eine Reanimation, die parallel zur Sicherung eines schwierigen Atemweges durchgeführt werden muss, verzögert also die Atemwegssicherung in relevantem Ausmaß. Da bisher keine Untersuchung publiziert wurde, die einen vergleichbaren Ansatz mit dem Distraktor einer laufenden CPR während einer schwierigen Atemwegssicherung mit dem vollständigen Entscheidungsweg bis hin zur Koniotomie verfolgte, stehen keinerlei identische Daten zum direkten Vergleich zur Verfügung. Es existieren aber mehrere Studien, die die Nutzung verschiedener Atemwegshilfsmittel am Modell mit und ohne Thoraxkompressionen verglichen und dabei zu unterschiedlichen Ergebnissen kamen [100-102]. Chloros et al. konnten 2014 bei zwei verschiedenen Larynxmasken keinen signifikanten Zeitunterschied zwischen der Platzierung mit und ohne Thoraxkompressionen feststellen, wobei die benötigten Zeiten in den Szenarien mit CPR tendenziell kürzer waren. Als mögliche – und naheliegende – Begründung nennen die Autoren die fehlende Randomisierung, durch die alle Probanden zuerst beide Larynxmasken ohne CPR und danach mit CPR anwandten. Maruyama et al. verglichen unter 23 Anästhesisten die konventionelle Laryngoskopie mit dem Videolaryngoskop AirWay Scope und der konventionellen Laryngoskopie unter Zuhilfenahme eines Gum Elastic Bougie, eines flexiblen Führungsstabes zur Erleichterung der Intubation in jeweils drei Szenarien am Modell (ohne CPR, mit CPR, mit CPR und externer Fixierung der Halswirbelsäule). Während die Intubation

mittels konventioneller Laryngoskopie in den Szenarien mit CPR und mit CPR mit Fixierung der Halswirbelsäule von den Probanden jeweils subjektiv als schwieriger beurteilt wurde, benötigte sie im Szenario mit CPR weniger Zeit als im Szenario ohne CPR. Im Szenario mit CPR und externer HWS-Fixierung wurde dagegen mehr Zeit benötigt als in den anderen beiden Szenarien. Die Zeiten über die drei Szenarien verhielten sich mit dem AirWay Scope ähnlich, wobei die Handhabung durchgehend als einfacher beurteilt wurde und die Zeiten jeweils etwas schneller waren als bei der konventionellen Laryngoskopie. Die Nutzung des Gum Elastic Bougie kostete in allen drei Szenarien jeweils die längste Zeit, was durch die zusätzlich notwendigen Handgriffe zu erklären war. Obwohl die Atemwegssicherung unter Thoraxkompressionen als schwieriger beurteilt wurde als ohne CPR, waren die Zeiten in dieser Untersuchung eher gleich oder sogar verkürzt. Die Studie, die der hier vorliegenden Untersuchung am nächsten kommt, verglich den Zeitbedarf der Koniotomie am Modell unter laufender Thoraxkompression mit zwei verschiedenen Methoden zur Punktionskoniotomie, dem Melker-Set und dem System Quick Trach II [101]. Das untersuchte Kollektiv bestand aus 23 Notfallmedizinerinnen und Anästhesisten mit einer durchschnittlichen Berufserfahrung von sieben Jahren. Bei beiden untersuchten Methoden verlängerte sich die Durchführungszeit unter Thoraxkompression signifikant (Melker: 19.7 vs. 29.4 Sekunden, Quick Trach II: 15.8 vs. 23.5 Sekunden). Die Zahl der misslungenen Versuche stieg ebenfalls bei beiden Methoden an, wobei sie nur für das Melker-Set signifikant war. Diese Ergebnisse decken sich mit den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung, dass laufende Thoraxkompressionen die Durchführung einer Koniotomie erschweren und verzögern.

Ergänzend zu diesen Studien bezüglich der Atemwegssicherung unter laufenden Thoraxkompressionen existiert eine Untersuchung von Ott und Kollegen [55], die als Vorgängerstudie zu der vorliegenden Untersuchung angesehen werden kann und die Anwendung des Algorithmus zur Sicherung des unerwartet schwierigen Atemwegs am Simulator untersuchte. Hier wurde ebenfalls eine CICV-Situation simuliert, die mittels Koniotomie gelöst werden konnte und der gesamte Entscheidungsprozess betrachtet. Die Facharztquote lag mit 58% im Vergleich zu 80% in der vorliegenden Studie deutlich niedriger. Gesamtzeiten vom Beginn des Szenarios bis zur erfolgreichen Ventilation mittels Koniotomie wurden zwar nicht berichtet, dafür aber die Zeit bis zur Entscheidung zur Koniotomie und die für die Durchführung benötigte Zeitspanne. Mit median 129 Sekunden bis zur Entscheidung zur Koniotomie war die benötigte Zeit nahezu identisch zum Ergebnis der vorliegenden Untersuchung, in der die Zeit bis zur Entscheidung zur Koniotomie über alle Szenarien median 134 Sekunden beanspruchte (vgl. Kapitel 5.2.1.2). Die Durchführung der Koniotomie benötigte bei Ott et al. median 63 Sekunden unabhängig von der gewählten Methode. Hier war die Zeit in der vorliegenden Studie mit 43,8 Sekunden deutlich kürzer, was einerseits an der größeren Erfahrung des Gesamtkollektivs und andererseits an möglichen Unterschieden in der

Zeitmessung liegen kann. Während in der vorliegenden Studie die Messung der Durchführungszeit der Koniotomie erst begann, als das gewählte Instrument den Hals des Patientensimulators berührte, war der genaue Beginn der Zeitmessung in der Studie von Ott et al. nicht angegeben. Zahlreiche vorherige Studien, die die Nutzung verschiedener Techniken zur Koniotomie verglichen, begannen ihre Messungen aber bereits mit dem Griff zum Instrument bzw. dem Öffnen von verpackten Materialien und erhoben damit tendenziell längere Durchführungszeiten [90, 92, 98]. In einer weiteren, ansatzweise vergleichbaren Studie untersuchten Borges et al. im Jahr 2010 an einem Patientensimulator die Algorithmustreue zum damals gültigen Atemwegsalgorithmus zur Sicherung des unerwartet schwierigen Atemwegs der ASA bei der Behandlung einer CICO-Situation durch 38 Fachärzte für Anästhesiologie, von denen immerhin 16% bereits eine Koniotomie am realen Patienten durchgeführt hatten [103]. Zwischen zwei identischen Szenarien, in denen die Probanden eine CICO-Situation lösen mussten, fand eine individuelle, einstündige Nachbesprechung mit Videoanalyse, Expertengespräch zum Atemwegsalgorithmus und praktischer Übung einer Koniotomie statt. Während das Hauptaugenmerk auf den Abweichungen vom Algorithmus lag, die interessanterweise in beiden Durchgängen weit über 50% lagen, wurden auch die Zeiten bis zum Beginn der Koniotomie und bis zur Ventilation mittels Koniotomie erhoben. Die Zeit bis zur Ventilation mittels Koniotomie lag bei Borges et al. im ersten Szenario bei 356,9 Sekunden und im zweiten Szenario nach Schulung der Probanden bei 269,4 Sekunden. Während die Probanden 2010 im ersten Szenario über 170% der Zeit bis zur Ventilation im Vergleich zur vorliegenden Untersuchung benötigten, verringerte sich der zusätzliche Zeitbedarf im zweiten Szenario deutlich. Mit etwa 30% mehr Zeit bis zur erfolgreichen Ventilation als in der vorliegenden Untersuchung blieb der Zeitbedarf aber dennoch größer. Ursächlich hierfür können Unterschiede im Studiendesign wie der Beginn der Zeitmessung schon bei Betreten des Raumes durch den Probanden sowie die verzögerte Verfügbarkeit von Videolaryngoskop und weiteren Materialien zur schwierigen Atemwegssicherung sein. Außerdem stand zur Koniotomie ausschließlich ein Melker-Set zur Verfügung, dessen Nutzung in verschiedenen anderen Studien mehr Zeit beanspruchte als eine chirurgische Koniotomie. Zudem waren die initialen Vitalparameter des Patientensimulators weniger bedrohlich gewählt und fielen im Verlauf langsamer ab als in der vorliegenden Untersuchung, was möglicherweise die Dringlichkeit der zu treffenden Maßnahmen in der subjektiven Wahrnehmung der Probanden beeinflusste. Auch eine recht geringe Erfahrung mit Simulationstraining allgemein (58.3%) und insbesondere im Zusammenhang mit Atemwegssicherung (16.6%) im untersuchten Kollektiv von Borges et al. können eine Erklärung für den deutlich erhöhten Zeitbedarf im Vergleich zur vorliegenden Untersuchung liefern. Eine letzte in Teilen vergleichbare Studie stammt von Marshall et al. aus dem Jahr 2014 und untersuchte den Einfluss der Nutzung einer Entscheidungshilfe zur Lösung einer CICO-Situation am Patientensimulator [84]. Eine Gruppe von 64 Anästhesiologen,

Intensivmedizinern und Notfallmedizinern absolvierte ein CICO-Szenario entweder mit oder ohne Nutzung einer Entscheidungshilfe. Die klinische Erfahrung lag mit 9,8 Jahren in der Interventionsgruppe bzw. 14 Jahren in der Kontrollgruppe über der durchschnittlichen Erfahrung der Probanden in der vorliegenden Studie. Die Zeiten bis zur erfolgreichen Ventilation mittels Koniotomie lagen mit 183,8 Sekunden in der Kontrollgruppe und 165,4 Sekunden in der Interventionsgruppe deutlich unter den in der vorliegenden Studie erreichten Zeiten. Als ursächlich für die kürzere Zeit bis zur Ventilation können die Unterschiede im Studiendesign und dem vorgegebenen Szenario angesehen werden. Marshall et al. gaben ihren Probanden direkt zu Beginn des Szenarios die Information, dass es sich um eine CICO-Situation handelte, zudem hatte der durch einen Instruktor simulierte Assistenzarzt bereits eine Intubation und die Platzierung einer Larynxmaske frustriert versucht. Bei Eintreffen des Probanden versuchte der Assistenzarzt frustriert eine beidhändige Beutel-Masken-Beatmung unter Einsatz eines Guedeltubus. Auch die verfügbaren Atemweghilfsmittel waren in ihrer Anzahl limitiert, es fehlten Videolaryngoskop und flexibles Intubationsendoskop. Somit lässt sich die kürzere Zeit bis zur Ventilation auf ein bereits weiter fortgeschrittenes CICO-Szenario und die geringere Verfügbarkeit von alternativen Hilfsmitteln zurückführen.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass die erhobenen Zeiten bis zur Ventilation durch Koniotomie mit und ohne Reanimation im Vergleich zu anderen Untersuchungen an Patientensimulatoren plausibel erscheinen, wenn auch exakte Vergleichsmöglichkeiten aufgrund der Originalität des Themas nicht gegeben sind. Der signifikant höhere Zeitbedarf für eine schwierige Atemwegssicherung bei gleichzeitiger Reanimationspflichtigkeit des Patienten wäre im Rahmen einer Untersuchung an realen Patienten mit hoher Wahrscheinlichkeit noch weitaus deutlicher ausgefallen als an einem Patientensimulator (vgl. Kapitel 5.1.3.1 und 5.1.3.3). Zudem wurde die Basisreanimation durch die Instrukturen, die einen Assistenzarzt und eine Anästhesiepflegekraft simulierten, adäquat durchgeführt und nur erweiterte Maßnahmen wie das Anschließen eines Defibrillators, Rhythmuskontrollen und Medikamentengaben bedurften der Anforderung durch den Probanden. Übertragen auf eine reale Patientenversorgung mit potenziell weniger geschulten Teammitgliedern kann hier eine weitere Zunahme des in der vorliegenden Untersuchung nachgewiesenen Effektes vermutet werden. Diese Ergebnisse sind nicht überraschend, da sowohl eine Reanimation als auch eine schwierige Atemwegssicherung mit konsekutiver CICO-Situation und Koniotomie Situationen sind, die in erheblichem Maße technische, kommunikative, kognitive und nicht-technische Fertigkeiten fordern. Zudem kann keine der beiden Situationen von einer Einzelperson adäquat behandelt werden, so dass eine ausreichende Teamstärke mit möglichst hochqualifizierten Teammitgliedern erforderlich ist. Während Algorithmen und Leitlinien eigentlich dazu gedacht sind, gerade solche herausfordernden und kritischen Situationen durch das Befolgen eines „roten Fadens“ zu vereinfachen, kann es bei der Kollision von

verschiedenen Algorithmen bei der Behandlung eines Patienten zu Unstimmigkeiten, Verzögerungen oder sogar Fehlern kommen.

Im hier konkret durchgeführten Szenario liegen die Prioritäten der Leitlinie zur kardiopulmonalen Reanimation des ERC auf hochqualitativen und ununterbrochenen Thoraxkompressionen sowie der frühzeitigen Defibrillation, wohingegen die Sicherung des Atemweges eher zurückgestellt wird und eine potenzielle CICO-Situation nur am Rande Erwähnung findet [7, 72]. Die S1-Leitlinie zum Atemwegsmanagement fokussiert auf ein schrittweises Vorgehen mit dem Ziel der Oxygenierung des Patienten und der abschließenden Atemwegssicherung [30]. Gerade bei knappen personellen Ressourcen und fehlender Qualifikation des Teams muss eine Abwägung stattfinden. Aus pathophysiologischer Sicht ist davon auszugehen, dass im Sonderfall eines durch Hypoxie verursachten Kreislaufstillstandes selbst bei adäquaten Thoraxkompressionen nur desoxygeniertes Blut durch den Körper transportiert wird und diese Maßnahme daher ineffizient ist. Daher beurteilen die ERC-Leitlinien in diesem speziellen Fall die Behandlung der Hypoxie als potenziell reversible Ursache des Kreislaufstillstands mit höchster Priorität, ohne eine genaue Handlungsempfehlung für eine schwierige Atemwegssicherung zu geben [80, 81]. Diese Überlegungen legen nahe, dass im seltenen Fall einer CICO-Situation mit gleichzeitiger oder sogar durch diese bedingter Reanimationspflichtigkeit des Patienten der Fokus auf der Sicherung des Atemweges und der Behebung der Hypoxie liegen muss. Im Falle von mangelnden personellen Ressourcen für die simultane und angemessene Behandlung beider Probleme muss erwogen werden, die Durchführung einer Koniotomie zu priorisieren, selbst wenn dafür die Reanimationsmaßnahmen vernachlässigt oder sogar kurzfristig unterbrochen werden.

5.2.1.2 Zeit bis zur Entscheidung zur Koniotomie

In der vorliegenden Untersuchung wurde die Zeit bis zur Entscheidung zur Koniotomie vom Zeitpunkt des Erscheinens des Probanden in der Über-Kopf-Kameraperspektive bis zur Verbalisierung, eine Koniotomie durchführen zu wollen, bestimmt. Für die Szenarien mit CPR benötigten die Probanden in der ersten Sequenz (erst mit CPR, dann ohne CPR) median 134,5 Sekunden und in der zweiten Sequenz (erst ohne CPR, dann mit CPR) 159 Sekunden. Die medianen Zeiten in den Szenarien ohne CPR lagen bei 130,5 Sekunden in Sequenz 1 und 120 Sekunden in Sequenz 2. Der hieraus über alle Szenarien bestimmte Abweichung von 8,5 Sekunden mehr Zeitbedarf bei den Szenarien mit CPR hatte einzeln betrachtet keine statistische Relevanz. Trotzdem lässt sich eine Tendenz hin zu einer Verzögerung der Atemwegssicherung aufgrund der gleichzeitig stattfindenden Reanimation erkennen. Analog zu den Überlegungen bezüglich der Zeit bis zur Ventilation mittels Koniotomie kann davon ausgegangen werden, dass im Rahmen einer realen Patientenversorgung diese Zeiten insgesamt länger gewesen wären und wahrscheinlich auch der Unterschied zwischen

Szenarien mit und ohne CPR deutlicher ausgefallen wäre. Die mediane Zeit bis zur Entscheidung unabhängig vom Vorliegen oder Fehlen einer Reanimation lag bei 134 Sekunden. Hier bietet die bereits im vorangegangenen Kapitel ausführlich besprochene Untersuchung von Ott et al. einen nahezu identischen Zeitbedarf von 129 Sekunden bei ähnlichem Versuchsaufbau und fehlendem Distraktor der CPR [55]. Hinweise auf Einflussfaktoren auf die Zeit bis zur Entscheidung in der vorliegenden Untersuchung ergeben sich aus den Antworten der Probanden auf die Freitextfragen des zweiten Fragebogens. So gaben 22,5% der Probanden an, sich aufgrund ihres Vorgehens nach Atemwegsalgorithmus für eine Koniotomie entschieden zu haben. Hierfür mussten bis zur Entscheidung zur Koniotomie zuvor verschiedene Atemwegshilfsmittel benutzt werden. 52,5% entschieden sich wegen vorheriger frustrierender Versuche der Atemwegssicherung mit alternativen Verfahren und aufgrund des Fehlens von Alternativen zur Koniotomie, was ebenfalls einen gewissen Zeitverzug bis zur Entscheidung zur Koniotomie mit sich bringt. 35% der Probanden entschieden sich aufgrund der Vitalparameter und klinischen Situation des Patienten zur Koniotomie, was gerade in den Szenarien ohne CPR mit der schrittweisen Verschlechterung der Patientensituation zu einer Verzögerung beigetragen haben könnte. Das Vorliegen einer Reanimationssituation könnte die benötigte Zeit sowohl reduziert als auch verlängert haben. Eine schnellere Entscheidung zur Koniotomie wäre aufgrund der bereits hochkritischen Patientensituation durchaus denkbar, gleichzeitig kann aber eine Ablenkung durch die laufende Reanimation zur Verzögerung der Entscheidung geführt haben. In zukünftigen Untersuchungen könnten sowohl der Weg der Entscheidungsfindung als auch die Einflussfaktoren beispielsweise anhand von umfassenderen Fragebögen oder intensiveren Nachbesprechungen genauer eruiert werden.

5.2.1.3 Zeit bis zum Beginn der Koniotomie

Die Zeit bis zum Beginn der Koniotomie wurde als Zeitraum zwischen dem Erscheinen des Probanden in der Über-Kopf-Kameraperspektive bis zum ersten Kontakt des zur Koniotomie gewählten Instruments mit dem Hals des Patientensimulators definiert. Hierdurch sollten mögliche Verzögerungen durch Vorbereiten von Materialien und parallel ablaufende Prozeduren wie die Reanimation erfasst werden, ohne sich auf die initiale Zeit bis zur Entscheidung zur Koniotomie oder die tatsächliche praktische Durchführung der Maßnahme selbst auszuwirken. Insbesondere für die anschließende Berechnung der Dauer der Durchführung der Koniotomie waren die erhobenen Zeiten von Bedeutung. Eine ähnlich differenzierte Aufschlüsselung von gemessenen Zeiten während der Bearbeitung eines CICO-Szenarios liegt in der aktuellen Literatur nicht vor, so dass Vergleichsdaten fehlen. Bei median gemessenen Zeiten von 162,5 Sekunden (Sequenz 1) und 183,5 Sekunden (Sequenz 2) in den Szenarien mit CPR sowie 150,5 Sekunden (Sequenz 1) und 141,4 Sekunden (Sequenz 2) in den Szenarien ohne CPR ergab sich eine Verzögerung von 14 Sekunden in den

Szenarien mit Reanimation. Es bestand also auch im Zeitraum bis zum effektiven Beginn der Koniotomie selbst eine Tendenz zur Verzögerung der Maßnahmen durch parallel stattfindende Reanimationsmaßnahmen. Dieses Ergebnis unterstreicht die Tatsache, dass sich parallel zur schwierigen Atemwegssicherung ablaufende Reanimationsmaßnahmen auf den Gesamtablauf der Atemwegssicherung negativ auswirken und nicht nur in Teilschritten wie der Entscheidungsfindung zur Koniotomie oder der Durchführung der Maßnahme einen Einfluss ausüben.

5.2.1.4 Dauer der Durchführung der Koniotomie

Die Dauer der Durchführung der Koniotomie berechnete sich aus der Differenz zwischen der Zeit bis zur Ventilation durch Koniotomie und der Zeit bis zum Beginn der Durchführung der Koniotomie. Die Probanden benötigten in Szenarien mit CPR median 43 Sekunden (Sequenz 1) bzw. 33,5 Sekunden (Sequenz 2), während die Durchführung der Koniotomie in Szenarien ohne CPR median 61,5 Sekunden (Sequenz 1) bzw. 35,5 Sekunden (Sequenz 2) beanspruchte. Mit durchschnittlich 4 Sekunden mehr Zeitbedarf in den Szenarien mit CPR zeigte sich in diesem Teilschritt der gesamten Patientenversorgung ebenfalls eine leichte Tendenz zur Verzögerung der Maßnahmen durch die Reanimation. In der initialen Datenanalyse wurde nicht zwischen chirurgischer Koniotomie und Punktionskoniotomie unterschieden, da der Einsatz beider Verfahren über die Szenarien mit bzw. ohne CPR sehr gleichmäßig verteilt war (Punktionskoniotomie 35% bzw. 42,5%; chirurgische Koniotomie 65% bzw. 57,5%; $p = 0.453$). Somit hätte sich ein potenziell durch einen Zeitunterschied zwischen den beiden Verfahren bestehender Effekt auf Interventions- und Kontrollgruppe gleichermaßen ausgewirkt. Die Verfügbarkeit von zwei unterschiedlichen Verfahren zur Koniotomie war beabsichtigt, da in den Atemwegswagen der Klinik für Anästhesiologie ebenfalls Materialien für beide Verfahren zur Verfügung stehen und die Probanden eine möglichst alltagsnahe Arbeitsumgebung erleben sollten. Außerdem stand so jedem Probanden auch bei fehlender Sicherheit mit einem Verfahren direkt ein als gleichwertig anzusehendes Alternativverfahren zur Verfügung, so dass Unterschiede in den erhobenen Zeiten nicht allein durch fehlende Kompetenzen und Erfahrung bedingt sein können. Zudem ist die Datenlage zu den verschiedenen Verfahren der Koniotomie und einer möglichen Bevorzugung einer bestimmten Methode inhomogen [58] und potenziell von Vorerfahrungen, Vorlieben und Fertigkeiten des Anwenders abhängig. Auch in den unterschiedlichen Leitlinien zur Behandlung des unerwartet schwierigen Atemweges herrscht daher keine einheitliche Empfehlung vor. Exemplarisch sei hier auf die deutsche Leitlinie, die kein Verfahren explizit favorisiert, verwiesen, und im Kontrast dazu auf die Empfehlungen der Difficult Airway Society, die der chirurgischen Koniotomie den Vorzug geben [3, 30]. Eine genauere Ausführung zu unterschiedlichen Durchführungszeiten einer Koniotomie in Abhängigkeit vom genutzten Verfahren findet sich in Kapitel 5.2.2.3 im Zusammenhang mit der Subgruppenanalyse der

ersten 40 absolvierten Szenarien. Die in der vorliegenden Untersuchung von den Probanden benötigte Zeitspanne zwischen median 33,5 und 61,5 Sekunden in den unterschiedlichen Sequenzen liegt in einem Bereich, der den Ergebnissen vorheriger Studien zur Koniotomie am Patientensimulator durch Anästhesisten entspricht [55, 104, 105] und daher als plausibel gewertet werden kann. Wie bereits in den beiden vorherigen Unterkapiteln erörtert, sprechen auch die Ergebnisse zur Durchführung der Koniotomie dafür, dass sich eine Reanimation verzögernd auf den gesamten Prozess der schwierigen Atemwegssicherung auswirkt und nicht nur bestimmte Einzelschritte behindert.

5.2.2 Einfluss von medizinischer Vorerfahrung und Koniotomiemethode

In den folgenden drei Unterkapiteln wird auf die Ergebnisse der Subgruppenanalyse des jeweils ersten von einem Probanden absolvierten Szenarios ($n = 40$) eingegangen. Diese Szenarien wurden hinsichtlich der Fragestellungen untersucht, ob sich eine größere Erfahrung in der Anästhesiologie oder bereits vorhandene Erfahrungen mit einer Koniotomie am realen Patienten auf die Zeit bis zur Ventilation mittels Koniotomie auswirken. Zudem wurde untersucht, ob die Wahl des Koniotomieverfahrens einen Einfluss auf die Zeit der Durchführung hat, wie es in zahlreichen anderen Studien der Fall war.

5.2.2.1 Einfluss der Erfahrung in der Anästhesiologie

Die Probanden wurden anhand ihrer Erfahrung in der Anästhesiologie in eine erfahrene und eine unerfahrene Gruppe kategorisiert. Die Schwelle zur Diskriminierung lag bei sechs Jahren Erfahrung, da frühestens nach fünf Jahren die Prüfung zum Facharzt für Anästhesiologie absolviert werden kann und im Zeitraum nach erfolgter Prüfung das Aufgabenspektrum und die Eigenverantwortung deutlich erweitert werden. Die Verteilung über Szenarien mit und ohne CPR waren für diesen Parameter identisch. Im Ergebnis benötigten Probanden mit geringerer Erfahrung in der Anästhesie deutlich weniger Zeit bis zur erfolgreichen Ventilation mittels Koniotomie als erfahrene Probanden (median 180,5 vs. 222 Sekunden, $p = 0.018$). Dieses Ergebnis steht einerseits im Gegensatz zu mehreren Studien, die die Durchführungsgeschwindigkeit einer Koniotomie bei unterschiedlich erfahrenen Anästhesisten und Notfallmedizinern untersuchten [55, 94, 106, 107], weist aber andererseits auch Parallelen zu vorherigen Untersuchungen auf [108, 109]. John et al. stellten 2007 in einer Untersuchung verschiedener Koniotomiemethoden an einem Patientensimulator unter 70 Anästhesisten bei Fachärzten eine deutlich schnellere Geschwindigkeit bei der Durchführung fest. Shetty et al. zeigten 2017 an einem Kollektiv von 30 Intensivmedizinern, dass die benötigte Zeit der Koniotomie mit einem Melker-Set an einem Koniotomietrainer über fünf aufeinanderfolgende Versuche deutlich abnimmt. In dieser Untersuchung wurde unter anderem nach Alter und klinischer Erfahrung unterschieden und ebenfalls eine Tendenz zum schnelleren Erfolg der

Durchführung bei größerer klinischer Erfahrung gefunden. In der bereits zuvor zitierten Untersuchung von Ott et al. zeigte sich kein Unterschied bei der benötigten Zeit bis zur erfolgreichen Ventilation mittels Koniotomie zwischen Fach- und Assistenzärzten der Anästhesiologie. Auch Dimitriadis et al. konnten in ihrer Untersuchung von 23 Notfallmedizinern unterschiedlichen Ausbildungsstandes keinen Unterschied in der Geschwindigkeit der Durchführung einer Koniotomie mit verschiedenen Methoden an einem rudimentären Atemwegsmodell feststellen. Im Gegensatz zu diesen Ergebnissen steht die Untersuchung von Wong et al. aus dem Jahr 2003, in der sie 102 Anästhesisten zehn aufeinanderfolgende Koniotomien an einem Koniotomietrainer durchführen ließen und die Zeiten erfassten. Die Probanden waren nach Alter, Funktion in der Klinik sowie ihren Jahren praktischer Erfahrung kategorisiert. Eine Dauer unter 40 Sekunden für die Punktionkoniotomie mittels Melker-Set wurde als erfolgreich bewertet. Während der Status als Assistenz- oder Oberarzt keinen Einfluss auf die Zeiten der Durchführung und die Erfolgsrate hatte, wirkte sich eine Erfahrung von mehr als 20 Jahren im Vergleich zu unerfahreneren Probanden negativ auf die benötigten Zeiten aus. Gleiches galt für ein Alter über 45 Jahren. Diese Beobachtung stützten auch Siu et al. mit ihrer Untersuchung an 36 Anästhesisten, die sie unter anderem nach Alter (unter bzw. über 45 Jahre) und Jahren nach Facharztprüfung in der Anästhesiologie kategorisierten. Die Probanden mussten vor und nach einer einstündigen standardisierten Übungssitzung jeweils ein CICO-Szenario absolvieren. Sowohl ein Alter über 45 Jahren als auch eine längere Zeit seit der Facharztprüfung wirkten sich negativ auf die benötigte Zeit und die zu erfüllenden Schritte einer Checkliste aus. Die beiden letztgenannten Untersuchungen stellten die Hypothese auf, dass ein höheres Alter sowohl psychomotorische als auch kognitive Fähigkeiten, die zur erfolgreichen Bearbeitung einer komplexen und aufreibenden Aufgabe wie einer CICO-Situation notwendig sind, beeinträchtigen können.

Diese Hypothese auf die vorliegende Untersuchung anzuwenden, wäre etwas zu weitgreifend, da einerseits das Alter der Probanden nicht erhoben wurde und es sich andererseits um ein Ergebnis im Rahmen von Subgruppenanalysen handelt, auf die das Studiendesign nicht primär ausgelegt war. Eine mögliche Erklärung für die höhere Geschwindigkeit bei der Lösung des Szenarios durch Probanden mit geringerer Erfahrung in der Anästhesiologie könnte in der Qualifikation des untersuchten Kollektivs liegen. Bis auf jeweils eine Person verfügten alle Probanden über die Zusatzbezeichnung Notfallmedizin und hatten in den vorherigen Jahren an einem Atemwegstraining der Klinik für Anästhesiologie teilgenommen, so dass eine gewisse Expertise auch bei den unerfahrenen Probanden vorausgesetzt werden konnte. Da es sich bei den Probanden mit der geringsten Erfahrung noch immer um Assistenzärzte in fortgeschrittener Weiterbildung von mindestens drei Jahren handelte, ist der Effekt fehlender Erfahrung und Trainings, der in vorherigen Untersuchungen mit großer Wahrscheinlichkeit zu

besseren Ergebnissen bei den erfahreneren Probanden beigetragen haben wird, in der vorliegenden Untersuchung als geringer zu werten. Möglicherweise bestand bei den weniger erfahrenen Probanden auch eine größere Offenheit gegenüber der Tatsache, dass die eigenen Fähigkeiten zur Atemwegssicherung limitiert waren und ein alternatives Verfahren angewandt werden musste, als dies bei sehr erfahrenen Anwendern der Fall war. Zuletzt kann auch die Einbettung der Untersuchung in ein klinikinternes Atemwegstraining zu diesem Unterschied beigetragen haben. Bereits Ott et al. thematisierten die fachliche Entäußerung gegenüber Kollegen und den hieraus resultierenden Druck, sich vor Absolvieren des Trainings mit der zu erwartenden Thematik der schwierigen Atemwegssicherung auseinanderzusetzen. Dieser Druck zur Vorbereitung könnte bei weniger erfahrenen Probanden größer gewesen sein als bei Probanden mit langjähriger Erfahrung. Entsprechende Untersuchungen zu Effekten von Erwartungshaltung und Vorbereitung bei der Teilnahme an solchen Trainings könnten der Gegenstand künftiger Untersuchungen sein, wie bereits Ott et al. erwähnten.

5.2.2.2 Einfluss der Erfahrung mit Koniotomien am realen Patienten

Im Fragebogen zur Vorerfahrung mit Koniotomien war explizit die Notfallmaßnahme einer Koniotomie erfragt wurden. Erfahrungen mit chirurgischen oder dilatativen Tracheotomien, wie sie im Rahmen von Langzeitbeatmungen auf Intensivstationen als elektive Maßnahme durchgeführt werden, waren explizit ausgenommen. Insgesamt wies das untersuchte Kollektiv eine recht hohe Erfahrung mit Koniotomien am Patienten auf. Es hatten elf Probanden (27,5%) bereits mindestens eine Koniotomie am Patienten selbstständig durchgeführt. Von diesen hatten neun Probanden eine bis drei, ein Proband zwischen drei und sechs und ein Proband mehr als sechs Koniotomien am realen Patienten vorzuweisen. Die Verteilung der Erfahrung über die Szenarien mit und ohne CPR war ausreichend homogen, um eine weitere Aufteilung der untersuchten Subgruppe zu vermeiden. Es ergab sich zwischen Probanden mit und ohne Vorerfahrung kein relevanter Unterschied in der Zeit bis zur Ventilation mittels Koniotomie (216 vs. 192,5 Sekunden, $p = 0,794$) mit einer leichten Tendenz zugunsten der schnelleren Ventilation bei Probanden ohne Vorerfahrung am realen Patienten. Auch in weiteren Untersuchungen, die Geschwindigkeiten und Erfolgsraten einer Koniotomie am Simulator verglichen und die Vorerfahrung der Probanden mit dieser Maßnahme miterfassten, zeigten keinen nennenswerten Einfluss vorhandener Erfahrung auf die Ergebnisse [106, 108]. In beiden Untersuchungen wurde allerdings auch Vorerfahrung am Atemwegsmodell oder tierischen Präparaten als Vorerfahrung mit der Koniotomie gewertet. Einen Erklärungsansatz für diesen Umstand bietet die bereits langjährig bekannte These, dass Erfahrung nicht zwangsweise auch Expertise bedeutet und die Leistung - auch in Simulationsszenarien - von vielen weiteren Faktoren, wie etwa der verstrichenen Zeit seit dem letzten Training abhängig ist [110, 111]. Dieser These folgend bedingt die bereits erfolgte Durchführung einer oder sogar mehrerer Koniotomien an realen Patienten bei einem Probanden nicht automatisch eine

höhere Qualifikation in Bezug auf Entscheidungsfindung in einer CICO-Situation und Durchführung der Maßnahme selbst. Die reine klinische Erfahrung kann nur in Teilen regelmäßige Übungen von insbesondere seltenen Fällen ersetzen. Daher sollte auch bei sehr erfahrenen Anwendern der Fokus auf regelmäßigen Trainings solcher Fälle liegen, um neben der Erfahrung auch die Expertise zu wahren und zu fördern, wie es auch in verschiedenen Leitlinien zum Atemwegsmanagement gefordert wird [14, 30]. Im Hinblick auf zukünftige Studien wäre eine noch genauere Differenzierung bezüglich der Vorerfahrungen und stattgehabten Trainings den Untersuchungsgegenstand betreffend sicherlich hilfreich, um potenzielle Einflussfaktoren besser diskriminieren zu können und weitere Erkenntnisse zu erlangen.

5.2.2.3 Einfluss der gewählten Methode auf die Durchführungszeit der Koniotomie

Um den Probanden in der vorliegenden Untersuchung Simulationsbedingungen zu präsentieren, die sich möglichst nah am klinischen Arbeitsalltag orientierten, standen für die Koniotomie sowohl Materialien für eine chirurgische Koniotomie als auch für eine Punktionskoniotomie mittels Melker-Set zur Verfügung. Diese Ausstattung findet sich auch in den OP-Bereichen der Klinik. Zudem hatten die Probanden so die Option, das von ihnen präferierte Verfahren zu wählen. Die Verteilung von chirurgischer Technik und Punktionskoniotomie zwischen den Szenarien mit und ohne CPR war ähnlich (chirurgisch vs. Punktion: 65% vs. 35% mit CPR und 57,5% vs. 42,5% ohne CPR, $p = 0.453$), so dass auch bei einem potenziell deutlich unterschiedlichen Zeitbedarf zwischen den beiden Methoden der Einfluss auf das Gesamtergebnis zu vernachlässigen ist.

In der Literatur liegen bei insgesamt heterogener Studienlage [58] jedoch zahlreiche Untersuchungen vor, die der chirurgischen Koniotomie einen deutlich geringeren Zeitbedarf zur Durchführung attestieren als verschiedenen Alternativverfahren [85, 90, 94, 98] und zudem propagiert unter anderem die Leitlinie der Difficult Airway Society aus dem Jahr 2015 die chirurgische Technik als Methode der Wahl zur Koniotomie [3]. Daher wurde in der vorliegenden Studie zusätzlich an der Subgruppe der ersten 40 absolvierten Simulationsszenarien exemplarisch die benötigte Zeit für die Durchführung der Koniotomie abhängig von der gewählten Methode untersucht. Es zeigte sich, dass die Probanden zur Durchführung einer Punktionskoniotomie mehr als doppelt so viel Zeit benötigten wie zur Durchführung einer chirurgischen Koniotomie (66 vs. 30 Sekunden, $p < 0.001$). Ähnlich ausgeprägte Unterschiede finden sich auch in der Literatur. Eine vergleichbare Stichprobe von 27 Anästhesiologen unterschiedlichen Ausbildungsstandes mit einem Anteil von 41% aufsichtführenden Fachärzten wurde an einem deutlich vereinfachten Simulationsmodell bezüglich der Durchführungsgeschwindigkeit einer chirurgischen Koniotomie und zweier Arten einer Punktionskoniotomie (Kanüle mit bzw. ohne Cuff) in randomisierter Reihenfolge untersucht [90]. Vor der Durchführung wurden im Gegensatz zur vorliegenden Untersuchung

ein Anleitungsvideo und eine Live-Demonstration am Modell gezeigt. Begonnen wurde die Zeitmessung bei Entfernung des Abdecktuches über dem benötigten Material, somit früher als in der vorliegenden Untersuchung. Es ergab sich ein signifikanter Zeitunterschied zugunsten der chirurgischen Koniotomie (median 44,3 Sekunden) im Vergleich zur Punktionskoniotomie ohne Cuff (median 87,8 Sekunden) und mit Cuff (median 87,2 Sekunden). Während die Durchführung aller drei untersuchten Verfahren im Vergleich zur vorliegenden Untersuchung mehr Zeit beanspruchte, was durch den früheren Beginn der Messung erklärt werden kann, wies auch diese Untersuchung für die Methode der Punktionskoniotomie einen nahezu verdoppelten Zeitbedarf im Verhältnis zur chirurgischen Koniotomie auf [90]. Auch Dimitriadis et al. erhoben in ihrem Vergleich von vier verschiedenen Methoden an einem rudimentären Atemwegsmodell durch 23 angehende oder fertig ausgebildete Notfallmediziner einen zur vorliegenden Untersuchung vergleichbaren Zeitbedarf von 34 Sekunden für die chirurgische Koniotomie. Die benötigte Zeit bis zur Ventilation mittels zweier kommerzieller Punktionskoniotomie-Sets (Minitrach II und Quicktrach) lag jeweils bei 48 Sekunden, während mit einem Melker-Set mit 126 Sekunden ein sogar nochmals deutlich höherer Zeitaufwand als in der vorliegenden Untersuchung nötig war [94]. Im Vergleich von drei verschiedenen Methoden zur Koniotomie an einem mit künstlicher Haut überzogenen Schweinelarynx zeigten Chrisman et al. 2016 ebenfalls einen signifikanten Zeitunterschied zwischen chirurgischer Koniotomie und Nutzung eines Melker-Sets (62 vs. 138 Sekunden). Die zusätzlich untersuchte Methode zur Punktionskoniotomie (Surgicric) lag bei 86 Sekunden. Das untersuchte Kollektiv bestand aus 26 Anästhesiologen in mindestens fortgeschrittener Weiterbildung und mit einem Facharztanteil von 60%, so dass es mit dem Kollektiv der vorliegenden Untersuchung sehr gut vergleichbar ist. Diesen Studien entgegenstehende Ergebnisse lieferte eine Untersuchung von Murphy et al., bei der 20 Anästhesisten mit mindestens vierjähriger Erfahrung an einem Atemwegsmodell drei verschiedene Punktionskoniotomie-Sets und die chirurgische Koniotomie anwenden mussten [99]. Hier wurden dem Melker-Set trotz eines größeren Zeitbedarfs zur Applikation im Vergleich zur chirurgischen Koniotomie (94 vs. 59 Sekunden) Vorteile attestiert, die einerseits mit einer Erfolgsrate von 100% innerhalb von drei konsekutiven Platzierungsversuchen und andererseits mit der höchsten Anwenderzufriedenheit unter den Probanden begründet wurde.

Zusammenfassend lässt sich in zahlreichen Untersuchungen am Modell ein deutlich erhöhter Zeitbedarf zur Durchführung einer Koniotomie mittels Melker-Set feststellen, der sich auch in der vorliegenden Untersuchung zeigte. Ursachen hierfür können die größere Anzahl notwendiger Arbeitsschritte im Vergleich zur chirurgischen Koniotomie sowie Handhabungsprobleme durch Knicken der Kanüle und Schwierigkeiten beim Vorschieben des Drahtes sein [98]. Seit Erscheinen der ersten Studien zu diesem Set zur Punktionskoniotomie wurde das Produkt zudem bereits überarbeitet. In der Klinik für Anästhesiologie der

Universitätsmedizin Mainz ist es mittlerweile in den Difficult Airway-Wagen durch ein Set zur Punktionkoniotomie eines anderen Herstellers ersetzt. Trotzdem darf ein wichtiger Diskussionspunkt mehrerer Untersuchungen zum Methodenvergleich nicht unerwähnt bleiben: In einigen Untersuchungen wurden mehrere aufeinanderfolgende Versuche durchgeführt, die bei allen genutzten Methoden eine Verbesserung der Durchführung zur Folge hatten [85, 106]. Auch mit einem längeren Zeitraum zwischen verschiedenen Versuchen konnte ein positiver Effekt nachgewiesen werden [4, 92, 105]. Somit bleibt abschließend festzuhalten, dass unabhängig vom gewählten Verfahren regelmäßiges Training notwendig ist und nach Möglichkeit die Methode genutzt werden sollte, die dem Anwender am vertrautesten ist.

5.2.3 Anwendung des Atemwegsalgorithmus

In der vorliegenden Untersuchung wurde das Vorgehen entsprechend dem Atemwegsalgorithmus der Klinik für Anästhesiologie innerhalb der Szenarien entweder als dogmatisch oder pragmatisch klassifiziert. Als dogmatisch wurde das Vorgehen angesehen, wenn die Hilfsmittel zur versuchten Atemwegssicherung in der Reihenfolge: 1. Beutel-Masken-Beatmung → 2. EGA → 3. Laryngoskopie (direkt oder mittels Videolaryngoskop) → 4. Alternatives Verfahren (starre / flexible Intubationsendoskopie, EGA oder Videolaryngoskop, sofern vorher noch nicht benutzt) → 5. Koniotomie genutzt wurden (vergleiche Kapitel 3.5.6 Datenerfassung). Bei Auslassen eines oder mehrerer dieser Schritte wurde das Vorgehen als pragmatisch gewertet. Auch das pragmatische Vorgehen ist von der S1-Leitlinie zum Atemwegsmanagement der DGAI gedeckt [2]. Zwar bildet der Atemwegsalgorithmus grafisch eine Reihenfolge nacheinander vorzunehmender Schritte ab, in den Erläuterungen und Empfehlungen im Text der Leitlinie wird aber darauf hingewiesen, dass bei „Aussichtslosigkeit oder drohender Asphyxie“ Schritte übersprungen werden können. Somit kann ein pragmatisches Vorgehen nicht als falsch, sondern im Gegenteil eher als situationsadaptiert gewertet werden. Bei insgesamt 80 auszuwertenden Szenarien konnte nur in drei Fällen (3,75%) ein streng dogmatisches Vorgehen identifiziert werden, das jeden der vorgegebenen Schritte des Atemwegsalgorithmus in der empfohlenen Reihenfolge beachtete. Die große Mehrheit der Probanden wählte in der Bearbeitung der CICO-Situation ein pragmatisches Vorgehen. Interessanterweise war gleichzeitig die subjektive Zufriedenheit und Vertrautheit mit dem Algorithmus zur Sicherung des unerwartet schwierigen Atemwegs in dem nach Bearbeitung der Szenarien auszufüllenden Fragebogen insgesamt als hoch bis sehr hoch angegeben worden (vgl. Kapitel 4.1.2.2). Auch unter den Bedingungen einer Reanimation wurde der Atemwegsalgorithmus bei etwas weniger eindeutiger Zustimmung insgesamt als hilfreich und nutzbar bewertet. Zusätzlich darf nicht unerwähnt bleiben, dass mit den Probanden nach Beendigung des ersten Szenarios eine strukturierte Nachbesprechung

durchgeführt wurde, in der unter anderem die Schritte des Algorithmus zur Sicherung des unerwartet schwierigen Atemwegs thematisiert wurden. Somit hätte man tendenziell häufiger einen dogmatischen Ansatz der Nutzung des Algorithmus erwarten können, da dieser nach dem ersten absolvierten Szenario für das Folgeszenario präsenter hätte sein dürfen. Eine mögliche Erklärung für das Überspringen von Einzelschritten des Algorithmus kann in der Wahl der simulierten Vitalparameter des Patienten und der Rollenbeschreibung der simulierenden Instruktoren liegen, die darauf ausgelegt waren, eine realitätsnahe und hochkritische Situation zu erschaffen, die den Probanden nachhaltig in Stress versetzen sollte. Auch die gewählten Einstellungen des Patientensimulators mit einer maximalen Kompromittierung des Atemweges, die unter anderem durch die Nutzung einer Zungenschwellung und eines Trismus erreicht wurde, kann die Probanden dazu bewogen haben, dass einige Atemwegshilfsmittel aufgrund sehr geringer Erfolgsaussichten überhaupt nicht in Betracht gezogen wurden. Dieses situationsadaptierte Vorgehen entspricht, wie bereits erläutert, ebenfalls den aktuellen Leitlinien. Zuletzt kann auch der hohe Anteil an Fachärzten dazu beigetragen haben, dass häufiger ein pragmatischer Ansatz gewählt wurde. Wie bereits Borges et al. in der Diskussion ihrer Untersuchung zur Algorithmustreue der ASA schrieben, tendieren erfahrene Kliniker zu einer heuristischen Herangehensweise mit Auslassung einzelner Schritte [103]. Denn auch in dieser Untersuchung aus dem Jahr 2010 zeigten sich vor und nach einer individuellen, einstündigen Nachbesprechung eines CICO-Szenarios eine oder sogar mehrere Abweichungen vom damals aktuellen ASA-Algorithmus zur Sicherung des unerwartet schwierigen Atemweges bei vierzig Fachärzten für Anästhesiologie. Die Anzahl der Probanden mit mindestens einer Abweichung vom Algorithmus stieg sogar von 63,9% im ersten auf 75% im zweiten Szenario. Neben dem oben genannten Erklärungsansatz führten Borges et al. wenig Zeit zur Verarbeitung und Umsetzung der Inhalte der Nachbesprechung vor Beginn des zweiten Szenarios und verschiedene weitere Gründe an, die das Verhalten erwachsener Lernender negativ beeinflussen können.

Diesen Ergebnissen stehen zwei Studien gegenüber, die sich ebenfalls mit der Genauigkeit der Nutzung eines Atemwegsalgorithmus befasst haben. Die bereits mehrfach zitierte Studie von Ott et al. erfasste bei beiden zu absolvierenden Szenarien [einer „Cannot Intubate“-Situation (CI) und einer CICO-Situation] die Algorithmustreue der Probanden zur Leitlinie der DGAI [55]. In dieser Untersuchung wurde die Algorithmustreue retrospektiv anhand der Reihenfolge und Anzahl der genutzten Atemwegshilfsmittel bestimmt. Es hielten sich im CI-Szenario 93% und im CICO-Szenario 91% der Probanden streng an den Algorithmus. Gründe für die hohe Algorithmustreue werden in der Diskussion unter anderem mit dem Trainingsstand des Kollektivs, der Erwartungshaltung an den Kurs und eine daraus resultierende Vorbereitung auf den Kurs gefunden. Die deutlichen Differenzen der Algorithmustreue in dieser und der hier vorliegenden Untersuchung können einerseits dadurch erklärt werden, dass in der Studie von

Ott et al. vor Durchführung der Szenarien ein Vortrag zum Atemwegsalgorithmus stattfand und dieser den Probanden so während der Szenarien präsenter war. Außerdem scheint die Feststellung der Algorithmustreue etwas großzügiger ausgelegt als in der vorliegenden Untersuchung, in der nur bei Nutzung von mindestens vier Hilfsmitteln vor Beginn der Koniotomie eine dogmatische Algorithmustreue attestiert wurde, während bei Ott et al. bereits die Nutzung von drei Instrumenten ausreichend war. Doch auch Hubert et al. konnten in ihrer Untersuchung von 27 Anästhesisten im dritten Weiterbildungsjahr eine beeindruckend große Algorithmustreue bei der Lösung eines CICO-Szenarios durch Anwendung einer Punktionskoniotomie mittels Melker-Set nachweisen [105]. Die Probanden absolvierten zuerst ein CICO-Szenario ohne vorherige Erfahrung mit einer Koniotomie oder Training der Methode. Im Anschluss daran fand ein intensiver, zweitägiger Kurs mit Seminaren und Praxistrainings zum Thema schwieriges Atemwegsmanagement statt. Auch der Algorithmus der französischen Gesellschaft für Anästhesiologie wurde geschult. Abhängig von der Randomisierung absolvierten die Probanden daraufhin nach drei, sechs oder zwölf Monaten ein erneutes CICO-Szenario. Während die Algorithmustreue im Szenario vor dem Intensivkurs bei 63% lag, hielten sich im erneuten CICO-Szenario 100% an den Algorithmus. Auch die Dauer der Koniotomie und die Leistung in Bezug auf die durchzuführenden Schritte war nach dem Training signifikant besser, unabhängig von der Zeitspanne zwischen Training und erneutem CICO-Szenario. Eine Begründung für diese hervorragende Leistung kann in der Intensität des zweitägigen Kurses liegen, in dem die Probanden umfassend praktisch und theoretisch geschult wurden. Diese Untersuchung unterstützt eindeutig die bereits in vorherigen Kapiteln herausgearbeitete Argumentation für die Nutzung regelmäßiger Trainings, um ein hohes Qualifikationsniveau in der Patientenversorgung aufrechtzuerhalten.

6. Zusammenfassung

Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass die Behandlung einer schwierigen Atemwegssicherung mit der letztendlichen Notwendigkeit einer Koniotomie an einem Patientensimulator durch das gleichzeitige Vorliegen einer Reanimationssituation bedeutend verzögert wird. Hierbei werden sowohl die initialen Versuche der Atemwegssicherung mit verschiedenen Hilfsmitteln als auch die Entscheidung zur Koniotomie und die praktische Durchführung der Maßnahme selbst negativ beeinflusst. Unter realen Bedingungen, bei einem weniger hoch qualifizierten Probandenkollektiv und bei Modifikation der Simulationsbedingungen hin zu weniger eigenständig agierenden Teammitgliedern wäre die gemessene Verzögerung mit Sicherheit noch weitaus größer ausgefallen. Aufgrund der Kollision zweier unabhängig voneinander zu berücksichtigender Behandlungsalgorithmen ist dieses Ergebnis nicht überraschend.

Das Vorgehen der meisten Probanden, den Algorithmus zur Atemwegssicherung in dieser Situation eher pragmatisch als streng dogmatisch anzuwenden und beim gleichzeitigen Vorliegen einer Reanimationssituation und den nur eingeschränkt vorhandenen personellen Ressourcen die Teamleitung im Hinblick auf die kardiopulmonale Reanimation der Lösung des Atemwegsproblems unterzuordnen, entspricht nicht den Leitlinien zur kardiopulmonalen Reanimation. Jedoch spiegelt dieses Vorgehen auch die Schwachstelle von Leitlinien und Algorithmen wider, die für zahlreiche Situationen im klinischen Alltag einen hilfreichen Handlungsrahmen vorgeben und somit die Patientensicherheit erhöhen. In Einzelfällen ist ein Abweichen von diesen Hilfestellungen aber nicht nur statthaft, sondern sogar notwendig, um die Patienten bestmöglich versorgen zu können. Natürlich sollten diese Abweichungen gut begründet und sinnvoll sein. Um eine generelle Modifikation der Reanimationsleitlinien und die Integration eines dezidierten Behandlungsalgorithmus für den unerwartet schwierigen Atemweg unter Reanimation zu fordern, sind die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung mit Sicherheit nicht ausreichend. Sie sollten aber das Situationsbewusstsein aller Behandler für das potenzielle Auftreten einer solchen Kollision zweier Behandlungsnotwendigkeiten schärfen. Beim Auftreten einer solchen Situation in der realen Patientenversorgung mit eingeschränkten personellen Ressourcen sollte das behandelnde Team den Versorgungsschwerpunkt auf die Atemwegssicherung legen und die kardiopulmonale Reanimation zurückstellen.

7. Literaturverzeichnis

1. *BDA Pressemitteilungen - Moderne Narkose wird 175 Jahre alt.* 04.06.2022]; Available from: <https://www.bda.de/presse/pressemitteilungen/2811-moderne-narkose-wird-175-jahre-alt.html>.
2. Piepho, T., et al., [*S1 guidelines on airway management*]. *Anaesthesist*, 2015. **64**(11): p. 859-73.
3. Frerk, C., et al., *Difficult Airway Society 2015 guidelines for management of unanticipated difficult intubation in adults*. *Br J Anaesth*, 2015. **115**(6): p. 827-48.
4. Kuduvalli, P.M., et al., *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): p. 364-369.
5. Hamaekers, A.E. and J.J. Henderson, *Equipment and strategies for emergency tracheal access in the adult patient*. *Anaesthesia*, 2011. **66 Suppl 2**: p. 65-80.
6. Striebel, H.W., *Nebenerkrankungen, fachspezifische Anästhesie, Aufwachraum, lebensrettende Sofortmaßnahmen*, in *Die Anästhesie / von Hans Walter Striebel*. 2019: Stuttgart.
7. Soar, J., et al., *European Resuscitation Council Guidelines 2021: Adult advanced life support*. *Resuscitation*, 2021. **161**: p. 115-151.
8. Panchal, A.R., et al., *Part 3: Adult Basic and Advanced Life Support: 2020 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care*. *Circulation*, 2020. **142**(16_suppl_2): p. S366-S468.
9. Henderson, J., et al., *Difficult Airway Society Guidelines*. *Anaesthesia*, 2004. **59**(12): p. 1242-1243.
10. Apfelbaum, J.L., et al., *Practice guidelines for management of the difficult airway: an updated report by the American Society of Anesthesiologists Task Force on Management of the Difficult Airway*. *Anesthesiology*, 2013. **118**(2): p. 251-70.
11. JSA, *JSA airway management guideline 2014: to improve the safety of induction of anesthesia*. *J Anesth*, 2014. **28**(4): p. 482-93.
12. Langeron, O., et al., *Difficult intubation and extubation in adult anaesthesia*. *Anaesth Crit Care Pain Med*, 2018. **37**(6): p. 639-651.

13. Myatra, S.N., et al., *All India Difficult Airway Association 2016 guidelines for the management of unanticipated difficult tracheal intubation in adults*. Indian J Anaesth, 2016. **60**(12): p. 885-898.
14. Law, J.A., et al., *The difficult airway with recommendations for management - Part 1- Difficult tracheal intubation encountered in an unconscious/induced patient*. Canadian Journal of Anesthesia-Journal Canadien D Anesthesie, 2013. **60**(11): p. 1089-1118.
15. Cook, T.M., et al., *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): p. 617-31.
16. Mallampati, S.R., et al., *A clinical sign to predict difficult tracheal intubation: a prospective study*. Can Anaesth Soc J, 1985. **32**(4): p. 429-34.
17. Samsoon, G.L. and J.R. Young, *Difficult tracheal intubation: a retrospective study*. Anaesthesia, 1987. **42**(5): p. 487-90.
18. Reissell, E., et al., *Predictability of difficult laryngoscopy in patients with long-term diabetes mellitus*. Anaesthesia, 1990. **45**(12): p. 1024-7.
19. Hashim, K. and M. Thomas, *Sensitivity of palm print sign in prediction of difficult laryngoscopy in diabetes: A comparison with other airway indices*. Indian J Anaesth, 2014. **58**(3): p. 298-302.
20. Nadal, J.L., et al., *The palm print as a sensitive predictor of difficult laryngoscopy in diabetics*. Acta Anaesthesiol Scand, 1998. **42**(2): p. 199-203.
21. Vani, V., S.K. Kamath, and L.D. Naik, *The palm print as a sensitive predictor of difficult laryngoscopy in diabetics: a comparison with other airway evaluation indices*. J Postgrad Med, 2000. **46**(2): p. 75-9.
22. Lundstrom, L.H., et al., *Poor prognostic value of the modified Mallampati score: a meta-analysis involving 177 088 patients*. Br J Anaesth, 2011. **107**(5): p. 659-67.
23. Lundstrom, L.H., et al., *High body mass index is a weak predictor for difficult and failed tracheal intubation: a cohort study of 91,332 consecutive patients scheduled for direct laryngoscopy registered in the Danish Anesthesia Database*. Anesthesiology, 2009. **110**(2): p. 266-74.
24. Norskov, A.K., et al., *Detailed statistical analysis plan for the difficult airway management (DIFFICAIR) trial*. Trials, 2014. **15**: p. 173.

25. Shiga, T., et al., *Predicting difficult intubation in apparently normal patients: a meta-analysis of bedside screening test performance*. *Anesthesiology*, 2005. **103**(2): p. 429-37.
26. El-Ganzouri, A.R., et al., *Preoperative airway assessment: predictive value of a multivariate risk index*. *Anesth Analg*, 1996. **82**(6): p. 1197-204.
27. Wilson, M.E., et al., *Predicting difficult intubation*. *Br J Anaesth*, 1988. **61**(2): p. 211-6.
28. Eberhart, L.H., et al., *A simplified risk score to predict difficult intubation: development and prospective evaluation in 3763 patients*. *Eur J Anaesthesiol*, 2010. **27**(11): p. 935-40.
29. Arne, J., et al., *Preoperative assessment for difficult intubation in general and ENT surgery: predictive value of a clinical multivariate risk index*. *Br J Anaesth*, 1998. **80**(2): p. 140-6.
30. Piepho, T., et al., *S1 guidelines on airway management : Guideline of the German Society of Anesthesiology and Intensive Care Medicine*. *Anaesthesist*, 2015. **64 Suppl 1**: p. 27-40.
31. Lundstrom, L.H., et al., *A documented previous difficult tracheal intubation as a prognostic test for a subsequent difficult tracheal intubation in adults*. *Anaesthesia*, 2009. **64**(10): p. 1081-8.
32. Kheterpal, S., 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): p. 1360-9.
33. Ahmad, I., et al., *Difficult Airway Society guidelines for awake tracheal intubation (ATI) in adults*. *Anaesthesia*, 2020. **75**(4): p. 509-528.
34. Law, J.A., et al., *The difficult airway with recommendations for management--part 2--the anticipated difficult airway*. *Can J Anaesth*, 2013. **60**(11): p. 1119-38.
35. Quinn, A.C., et al., *Failed tracheal intubation in obstetric anaesthesia: 2 yr national case-control study in the UK*. *Br J Anaesth*, 2013. **110**(1): p. 74-80.
36. Langeron, O., et al., *Prediction of difficult mask ventilation*. *Anesthesiology*, 2000. **92**(5): p. 1229-36.

37. Kheterpal, S., et al., *Incidence and predictors of difficult and impossible mask ventilation*. *Anesthesiology*, 2006. **105**(5): p. 885-91.
38. Kheterpal, S., et al., *Prediction and outcomes of impossible mask ventilation: a review of 50,000 anesthetics*. *Anesthesiology*, 2009. **110**(4): p. 891-7.
39. Saito, T., et al., *Incidence of and risk factors for difficult ventilation via a supraglottic airway device in a population of 14,480 patients from South-East Asia*. *Anaesthesia*, 2015. **70**(9): p. 1079-83.
40. Ramachandran, S.K., et al., *Predictors and clinical outcomes from failed Laryngeal Mask Airway Unique: a study of 15,795 patients*. *Anesthesiology*, 2012. **116**(6): p. 1217-26.
41. Adnet, F., et al., *A survey of tracheal intubation difficulty in the operating room: a prospective observational study*. *Acta Anaesthesiol Scand*, 2001. **45**(3): p. 327-32.
42. Combes, X., et al., *Unanticipated difficult airway in anesthetized patients: prospective validation of a management algorithm*. *Anesthesiology*, 2004. **100**(5): p. 1146-50.
43. Heinrich, S., et al., *Incidence and predictors of difficult laryngoscopy in adult patients undergoing general anesthesia : a single-center analysis of 102,305 cases*. *J Anesth*, 2013. **27**(6): p. 815-21.
44. Norskov, A.K., et al., *Diagnostic accuracy of anaesthesiologists' prediction of difficult airway management in daily clinical practice: a cohort study of 188 064 patients registered in the Danish Anaesthesia Database*. *Anaesthesia*, 2015. **70**(3): p. 272-81.
45. Lewis, S.R., et al., *Videolaryngoscopy versus direct laryngoscopy for adult patients requiring tracheal intubation*. *Cochrane Database Syst Rev*, 2016. **11**: p. CD011136.
46. Tachibana, N., Y. Niiyama, and M. Yamakage, *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): p. 326-330.
47. Fei, M., et al., *Association between the availability of videolaryngoscopes and the incidence of emergency surgical airway in the perioperative setting of a large academic medical centre: a retrospective observational study*. *Br J Anaesth*, 2016. **117**(6): p. 824-826.

48. Rosenstock, C.V., et al., *Emergency surgical airway management in Denmark: a cohort study of 452 461 patients registered in the Danish Anaesthesia Database*. Br J Anaesth, 2016. **117 Suppl 1**: p. i75-i82.
49. Lotz, G., [*Atemwegsmanagement- Vergleich verschiedener Leitlinien zum Management des schwierigen Atemwegs*]. Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther, 2016. **51(4)**: p. 244-51; quiz 252.
50. Edelman, D.A., E.J. Perkins, and D.J. Brewster, *Difficult airway management algorithms: a directed review*. Anaesthesia, 2019. **74(9)**: p. 1175-1185.
51. Benumof, J.L., *Management of the difficult adult airway. With special emphasis on awake tracheal intubation*. Anesthesiology, 1991. **75(6)**: p. 1087-110.
52. *Practice guidelines for management of the difficult airway. A report by the American Society of Anesthesiologists Task Force on Management of the Difficult Airway*. Anesthesiology, 1993. **78(3)**: p. 597-602.
53. American Society of Anesthesiologists Task Force on Management of the Difficult, A., *Practice guidelines for management of the difficult airway: an updated report by the American Society of Anesthesiologists Task Force on Management of the Difficult Airway*. Anesthesiology, 2003. **98(5)**: p. 1269-77.
54. Enterlein, G. and C. Byhahn, *Guidelines for Management of the Difficult Airway. Update by the American Society of Anesthesiologists Task Force*. Anaesthesist, 2013. **62(10)**: p. 832-835.
55. Ott, T., et al., [*Algorithm for securing an unexpected difficult airway : User analysis on a simulator*]. Anaesthesist, 2017.
56. Chrimes, N., et al., *Project for Universal Management of Airways - part 1: concept and methods*. Anaesthesia, 2020. **75(12)**: p. 1671-1682.
57. Cook, T.M. and S.R. MacDougall-Davis, *Complications and failure of airway management*. Br J Anaesth, 2012. **109 Suppl 1**: p. i68-i85.
58. Langvad, S., et al., *Emergency cricothyrotomy--a systematic review*. Scand J Trauma Resusc Emerg Med, 2013. **21**: p. 43.
59. Striebel, H.W., ed. *Grundlagen, Formen der Allgemeinanästhesie, Lokal- und Regionalanästhesie, Besonderheiten, Narkoseprobleme*. 4., vollständig überarbeitete

Auflage ed. Die Anästhesie / von Hans Walter Striebel. Vol. Band 1. 2019: Stuttgart.

60. Holmes, J.F., et al., *Comparison of 2 cricothyrotomy techniques: standard method versus rapid 4-step technique*. Ann Emerg Med, 1998. **32**(4): p. 442-6.
61. Price, T.M. and E.P. McCoy, *Emergency front of neck access in airway management*. BJA Educ, 2019. **19**(8): p. 246-253.
62. Safar, P. and J. Penninckx, *Cricothyroid membrane puncture with special cannula*. Anesthesiology, 1967. **28**(5): p. 943-8.
63. Price, R.J. and C. Laird, *A survey of surgical airway experiences and equipment among immediate care doctors*. Emerg Med J, 2009. **26**(6): p. 438-41.
64. Helm, M., et al., *Emergency cricothyroidotomy performed by inexperienced clinicians--surgical technique versus indicator-guided puncture technique*. Emerg Med J, 2013. **30**(8): p. 646-9.
65. Schober, P., et al., *Emergency cricothyrotomy-A comparative study of different techniques in human cadavers*. Resuscitation, 2009. **80**(2): p. 204-209.
66. Schaumann, N., et al., *Evaluation of Seldinger technique emergency cricothyroidotomy versus standard surgical cricothyroidotomy in 200 cadavers*. Anesthesiology, 2005. **102**(1): p. 7-11.
67. Hess, T., et al., *[Invasive emergency techniques--cricothyroidotomy]*. Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther, 2014. **49**(4): p. 230-6.
68. Peterson, G.N., et al., *Management of the difficult airway: a closed claims analysis*. Anesthesiology, 2005. **103**(1): p. 33-9.
69. DeVore, E.K., et al., *Best practices for emergency surgical airway: A systematic review*. Laryngoscope Investig Otolaryngol, 2019. **4**(6): p. 602-608.
70. Joffe, A.M., et al., *Management of Difficult Tracheal Intubation: A Closed Claims Analysis*. Anesthesiology, 2019. **131**(4): p. 818-829.
71. Hermreck, A.S., *The history of cardiopulmonary resuscitation*. Am J Surg, 1988. **156**(6): p. 430-6.
72. Soar, J., et al., *European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015: Section 3. Adult advanced life support*. Resuscitation, 2015. **95**: p. 100-47.

73. Soar, J., et al., *Erweiterte lebensrettende Maßnahmen für Erwachsene*. Notfall + Rettungsmedizin, 2021. **24**(4): p. 406-446.
74. *History of CPR - American Heart Association CPR & First Aid*. 25.01.2022]; Available from: <https://cpr.heart.org/en/resources/history-of-cpr>.
75. Link, M.S., et al., *Part 7: Adult Advanced Cardiovascular Life Support: 2015 American Heart Association Guidelines Update for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care*. Circulation, 2015. **132**(18 Suppl 2): p. S444-64.
76. Granfeldt, A., et al., *Advanced airway management during adult cardiac arrest: A systematic review*. Resuscitation, 2019. **139**: p. 133-143.
77. Wang, H.E., et al., *Interruptions in cardiopulmonary resuscitation from paramedic endotracheal intubation*. Ann Emerg Med, 2009. **54**(5): p. 645-652 e1.
78. Khandelwal, N., et al., *Cardiac arrest is a predictor of difficult tracheal intubation independent of operator experience in hospitalized patients*. BMC Anesthesiol, 2014. **14**: p. 38.
79. Varvarousis, D., et al., *The pathophysiologies of asphyxial vs dysrhythmic cardiac arrest: implications for resuscitation and post-event management*. Am J Emerg Med, 2015. **33**(9): p. 1297-304.
80. Lott, C., et al., *European Resuscitation Council Guidelines 2021: Cardiac arrest in special circumstances*. Resuscitation, 2021. **161**: p. 152-219.
81. Truhlar, A., et al., *European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015: Section 4. Cardiac arrest in special circumstances*. Resuscitation, 2015. **95**: p. 148-201.
82. Buis, M.L., et al., *Defining the learning curve for endotracheal intubation using direct laryngoscopy: A systematic review*. Resuscitation, 2016. **99**: p. 63-71.
83. Timmermann A., B.B.W., Byhahn C., Döriges V., Eich C., Gräsner J. T., Hoffmann F., Hossfeld B., Landsleitner B., Piepho T., Noppens R., Russo S. G., Wenzel V., Zwißler B., Bernhard M., *AWMF Leitlinie "Prähospitales Atemwegsmanagement"*. 2019.
84. Marshall, S.D. and R. Mehra, *The effects of a displayed cognitive aid on non-technical skills in a simulated 'can't intubate, can't oxygenate' crisis*. Anaesthesia, 2014. **69**(7): p. 669-77.

85. Salah, N., et al., *A comparison of four techniques of emergency transcricoid oxygenation in a manikin*. *Anesth Analg*, 2010. **110**(4): p. 1083-5.
86. Fritz, P.Z., T. Gray, and B. Flanagan, *Review of mannequin-based high-fidelity simulation in emergency medicine*. *Emerg Med Australas*, 2008. **20**(1): p. 1-9.
87. Gaba, D.M., *Improving Anesthesiologists Performance by Simulating Reality*. *Anesthesiology*, 1992. **76**(4): p. 491-494.
88. Flanagan, B., D. Nestel, and M. Joseph, *Making patient safety the focus: crisis resource management in the undergraduate curriculum*. *Med Educ*, 2004. **38**(1): p. 56-66.
89. Fikkers, B.G., et al., *Emergency cricothyrotomy: a randomised crossover trial comparing the wire-guided and catheter-over-needle techniques*. *Anaesthesia*, 2004. **59**(10): p. 1008-11.
90. Sulaiman, L., S.Q. Tighe, and R.A. Nelson, *Surgical vs wire-guided cricothyroidotomy: a randomised crossover study of cuffed and uncuffed tracheal tube insertion*. *Anaesthesia*, 2006. **61**(6): p. 565-70.
91. Heymans, F., et al., *Emergency Cricothyrotomy Performed by Surgical Airway-naive Medical Personnel: A Randomized Crossover Study in Cadavers Comparing Three Commonly Used Techniques*. *Anesthesiology*, 2016. **125**(2): p. 295-303.
92. Petrosioniak, A., et al., *Cricothyroidotomy In Situ Simulation Curriculum (CRIC Study) Training Residents for Rare Procedures*. *Simulation in Healthcare-Journal of the Society for Simulation in Healthcare*, 2017. **12**(2): p. 76-82.
93. Takayesu, J.K., D. Peak, and D. Stearns, *Cadaver-based training is superior to simulation training for cricothyrotomy and tube thoracostomy*. *Intern Emerg Med*, 2016.
94. Dimitriadis, J.C. and R. Paoloni, *Emergency cricothyroidotomy: a randomised crossover study of four methods*. *Anaesthesia*, 2008. **63**(11): p. 1204-8.
95. Cho, J., et al., *Comparison of manikin versus porcine models in cricothyrotomy procedure training*. *Emerg Med J*, 2008. **25**(11): p. 732-4.
96. Ock, J., et al., *Patient-specific and hyper-realistic phantom for an intubation simulator with a replaceable difficult airway of a toddler using 3D printing*. *Sci Rep*, 2020. **10**(1): p. 10631.

97. Kovatch, K.J., et al., *Development and Multidisciplinary Preliminary Validation of a 3-Dimensional-Printed Pediatric Airway Model for Emergency Airway Front-of-Neck Access Procedures*. *Anesth Analg*, 2020. **130**(2): p. 445-451.
98. Chrisman, L., et al., *Surgicric 2: A comparative bench study with two established emergency cricothyroidotomy techniques in a porcine model*. *Br J Anaesth*, 2016. **117**(2): p. 236-42.
99. Murphy, C., et al., *Comparison of three cuffed emergency percutaneous cricothyroidotomy devices to conventional surgical cricothyroidotomy in a porcine model*. *Br J Anaesth*, 2011. **106**(1): p. 57-64.
100. Chloros, T., et al., *Supreme Laryngeal Mask Airway achieves faster insertion times than Classic LMA during chest compressions in manikins*. *Am J Emerg Med*, 2014. **32**(2): p. 156-9.
101. Komasaawa, N., et al., *Comparison of Quick Track and Melker for emergent invasive airway management during chest compression A crossover simulation trial*. *European Journal of Anaesthesiology*, 2015. **32**(6): p. 440-442.
102. Maruyama, K., et al., *Effect of cardiopulmonary resuscitation on intubation using a Macintosh laryngoscope, the AirWay Scope, and the gum elastic bougie: A manikin study*. *Resuscitation*, 2010. **81**(8): p. 1014-8.
103. Borges, B.C.R., et al., *Incomplete adherence to the ASA difficult airway algorithm is unchanged after a high-fidelity simulation session*. *Canadian Journal of Anaesthesia- Journal Canadien D Anesthesie*, 2010. **57**(7): p. 644-649.
104. Vadodaria, B.S., S.D. Gandhi, and A.K. McIndoe, *Comparison of four different emergency airway access equipment sets on a human patient simulator*. *Anaesthesia*, 2004. **59**(1): p. 73-9.
105. Hubert, V., et al., *Effect of simulation training on compliance with difficult airway management algorithms, technical ability, and skills retention for emergency cricothyrotomy*. *Anesthesiology*, 2014. **120**(4): p. 999-1008.
106. Shetty, K., et al., *Training for cricothyroidotomy*. *Anaesth Intensive Care*, 2013. **41**(5): p. 623-30.
107. John, B., et al., *Comparison of cricothyroidotomy on manikin vs. simulator: a randomised cross-over study*. *Anaesthesia*, 2007. **62**(10): p. 1029-32.

108. Wong, D.T., et al., *What is the minimum training required for successful cricothyroidotomy?: a study in mannequins*. *Anesthesiology*, 2003. **98**(2): p. 349-53.
109. Siu, L.W., et al., *High-Fidelity Simulation Demonstrates the Influence of Anesthesiologists' Age and Years from Residency on Emergency Cricothyroidotomy Skills*. *Anesthesia and Analgesia*, 2010. **111**(4): p. 955-960.
110. Ericsson, K.A., *Deliberate practice and acquisition of expert performance: a general overview*. *Acad Emerg Med*, 2008. **15**(11): p. 988-94.
111. Weinger, M.B., *Experience not equal expertise: can simulation be used to tell the difference?* *Anesthesiology*, 2007. **107**(5): p. 691-4.

8. Anhang

Anhangsverzeichnis

Anhang I: Fragebogen vor Durchführung der Simulationsszenarien.....	105
Anhang II: Fragebogen nach Durchführung der Simulationsszenarien.....	106
Anhang III: Szenario 1 – Narkoseeinleitung ohne Reanimation.....	107
Anhang IV: Szenario 1 – Narkoseeinleitung mit Reanimation.....	108
Anhang V: Szenario 2 – CT-Transport ohne Reanimation.....	109
Anhang VI: Szenario 2 – CT-Transport mit Reanimation.....	110
Anhang VII: Messprotokoll zur Auswertung von Szenarien ohne Reanimation.....	111
Anhang VIII: Messprotokoll zur Auswertung von Szenarien mit Reanimation.....	112
Anhang IX: Freitextantworten zu Frage 14 des Fragebogens.....	113
Anhang X: Freitextantworten zu Frage 15 des Fragebogens	114
Anhang XI: Freitextantworten zu Frage 16 des Fragebogens.....	116

Anhang I: Fragebogen vor Durchführung der Simulationsszenarien

Codeaufkleber

1. Geschlecht männlich weiblich

2. Facharzt ja nein

3. Im wievielten Berufsjahr sind Sie als Arzt in der Anästhesie tätig?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19	20	>20			

4. Im wievielten Berufsjahr sind Sie als Facharzt in der Anästhesie tätig?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18	19	20	>20		

5. Im wievielten Berufsjahr sind sie als (stellvertretende) Bereichsleitung tätig?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18	19	20	>20		

6. Vorerfahrung anderes Fachgebiet? ja nein

6.1 Wenn ja, welches? _____

6.2 Wenn ja, Dauer?

< 3 Jahre 3 - 6 Jahre > 6 Jahre

7. Zusatzbezeichnung Notfallmedizin? ja nein

8. Tätigkeit in der Anästhesie vor Approbation? ja nein

Wenn ja, wie lange? (inkl. Ausbildung)

< 3 Jahre 3 - 6 Jahre > 6 Jahre

9. Tätigkeit im Rettungsdienst vor Approbation? ja nein

Wenn ja, wie lange? (inkl. Ausbildung)

< 3 Jahre 3 - 6 Jahre > 6 Jahre

Anhang II: Fragebogen nach Durchführung der Simulationsszenarien

Codeaufkleber

10. Haben Sie bereits bei einer Koniotomie assistiert / zugesehen?

ja nein

Wenn ja, bei wievielen? < 3 3 - 6 > 6

11. Haben Sie bereits selbst eine Koniotomie am Patienten durchgeführt?

ja nein

Wenn ja, bei wievielen? < 3 3 - 6 > 6

12. Welches ist Ihr bevorzugtes Instrument zur Atemwegssicherung?

- konventionelles Laryngoskop Videolaryngoskop
 flexible Optik starre Optik Intubationslarynxmaske
 Larynxmaske Larynxtube Sonstiges: _____

13. Bitte bewerten Sie die folgenden Aussagen entsprechend Ihrer persönlichen Einschätzung:	Trifft zu	Trifft eher zu	Unentschieden	Trifft eher nicht zu	Trifft nicht zu
Ich halte den Atemwegsalgorithmus für gut.					
Ich beherrsche den Atemwegsalgorithmus sicher.					
Im Atemwegsalgorithmus fehlt mir etwas.					
Der Atemwegsalgorithmus ist auch während einer Reanimation problemlos anwendbar.					

14. Fehlt Ihnen im Ablauf des Atemwegsalgorithmus eine Maßnahme / ein Zwischenschritt?

--

15. Wie definieren Sie eine Hypoxie?

--

16. Weshalb haben Sie sich im Szenario für die Durchführung einer Koniotomie entschieden?

--

Anhang III: Szenario 1 – Narkoseeinleitung ohne Reanimation

Narkoseeinleitung mit Komplikation CVCI ohne Reanimation

Material: SimMan- Monitoring, Beatmungsgerät

Info für Instruktor

Herr André Becker, *27.03.1967, zur medialen Leistenhernien-OP mit Netzeinlage, VE: Pollenallergie, Adipositas (BMI 33), Nikotinabusus (ca. 20 pack years).

Der Patient wurde mit Sufentanil, Propofol und Atracurium eingeleitet, nun fällt die SpO₂

Info zur Durchführung

Der Proband wird vor dem OP gebrieft. Ein Instruktor steht am Narkosegerät und sagt, dass der Patient sich nicht gut beatmen lässt, gibt aber sonst keine weiteren Auskünfte.

Alle weiteren Maßnahmen muss der Proband selbstständig durchführen, der Instruktor hilft dabei adäquat und kompetent nur, nur wenn er aufgefordert wird.

Standard Durchführung

Einstellung Beatmungsgerät: Man/Spont
Frischgas: O₂: 8 l/Min.

Ablauf	SpO ₂	HF	RR	etCO ₂
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	-

Entscheidet sich der Kandidat zur Coniotomie, bessern sich die Werte.

Info Kandidat:

Der ASA2-Patient steht zu einer Herniotomie mit Netzeinlage an. Er wurde eben eingeleitet, lässt sich jedoch nicht adäquat beatmen.

Sie werden zu Hilfe gerufen. Bitte Übernehmen Sie die Narkose und denken Sie laut.

Anhang IV: Szenario 1 – Narkoseeinleitung mit Reanimation

Narkoseeinleitung mit Komplikation CVCI mit Reanimation

Material: SimMan- Monitoring, Beatmungsgerät

Info für Instruktor

Herr André Becker, *27.03.1967, zur medialen Leistenhernien-OP mit Netzeinlage, VE: Pollenallergie, Adipositas (BMI 33), Nikotinabusus (ca. 20 pack years).

Der Patient wurde mit Sufentanil, Propofol und Atracurium eingeleitet, nun fällt die SpO₂, der Patient wird reanimationspflichtig und die Wiederbelebensmaßnahmen setzen ein.

Info zur Durchführung

Der Proband wird vor dem OP gebrieft. Ein Instruktor steht am Narkosegerät und sagt, dass der Patient sich nicht gut beatmen lässt und keinen tastbaren Puls mehr hat (RR-Messung bricht immer wieder ab), gibt aber sonst keine weiteren Auskünfte. Die Pflegekraft hat soeben mit der Herzdruckmassage begonnen, eine FamulantIn holt den Defibrillator.

Alle weiteren Maßnahmen muss der Proband selbstständig durchführen, der Instruktor hilft dabei adäquat und kompetent nur, nur wenn er aufgefordert wird.

Standard Durchführung

Einstellung Beatmungsgerät: Man/Spont

Frischgas: O₂: 8 l/Min.

SpO₂: schwaches, nur intermittierend anzeigendes Signal

RR-Messung: Letzter gemessener Wert 60 / 30, danach frustrane NIBP-Messungen.

Ablauf	SpO ₂	HF	RR	etCO ₂
Start	70 %	50	60 / 30	-
1 Min	65 %	40	Messung unmgl.	-
2 Min	60 %	30	Messung unmgl.	-
3 Min	55 %	20	Messung unmgl.	-
4 Min	55 %	20	Messung unmgl.	-
5 Min	50 %	20	Messung unmgl.	-
6 Min	0	0	0	-

Entscheidet sich der Kandidat zur Coniotomie, bessern sich die Werte.

Info Kandidat:

Der ASA2-Patient steht zu einer Herniotomie mit Netzeinlage an. Er wurde eben eingeleitet, lässt sich jedoch nicht adäquat beatmen und ist reanimationspflichtig. Sie werden zu Hilfe gerufen. Bitte Übernehmen Sie die Narkose und denken Sie laut.

Anhang V: Szenario 2 – CT-Transport ohne Reanimation

CT-Transport mit Komplikation CVCI ohne Reanimation

Material: SimMan, Monitoring, Transport-Beatmungsgerät Hamilton G5

Info für Instruktor

Frau Gudrun Mayerbeck, *03.12.1954, wird vom 3. Dienst zur Fokussuche bei beginnender Sepsis von der Anästhesie Intensivstation ins Schockraum-CT gebracht. Die Patientin hatte vor vier Tagen eine ausgedehnte Resektion eines Kolon-CA mit lokalen Metastasen. Nun steigender Katecholaminbedarf sowie steigende Infektparameter. VE: aHT, Hypothyreose, Diabetes mellitus Typ 2. Bei Umlagerung disloziert der Tubus, Re-Platzierung durch 3. Dienst nicht möglich und Versuch der überbrückenden Maskenbeatmung, Info an 1. Dienst / MET.

Info zur Durchführung

Der Proband wird vor dem OP gebrieft. Ein Instruktor steht am Patienten und sagt, dass der Patient sich nicht Maske/Beutel beatmen lässt, gibt aber sonst keine weiteren Auskünfte.

Alle weiteren Maßnahmen muss der Proband selbstständig durchführen, der Instruktor hilft dabei adäquat und kompetent nur, nur wenn er aufgefordert wird.

Standard Durchführung

Es läuft: Noradrenalin 5/50 8ml/h, Sufenta 1ml/h, Propofol 2% 8ml/h, ZVK und art. Kanüle in situ.

Einstellung Beatmungsgerät vor Tubusdiskolation: DuoPAP: 22/7/0,6%x14
Aktuell 15l O₂ über Ambubeutel mit Reservoir.

Ablauf	SpO ₂	HF	RR	etCO ₂
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	-

Entscheidet sich der Kandidat zur Coniotomie, bessern sich die Werte.

Info Kandidat:

Die ASA3-Patientin wurde intubiert und beatmet bei v.a. beginnende Sepsis von AN INT ins CT transportiert. 4 Tage nach ausgedehnter Darmresektion bei Kolon-CA. Bei Umlagerung Dislokation des Tubus sowie frustraner Versuch der Replatzierung. Sie werden zu Hilfe gerufen. Bitte Übernehmen Sie die Patientin und denken Sie laut.

Anhang VI: Szenario 2 – CT-Transport mit Reanimation

CT-Transport mit Komplikation CVCI mit Reanimation

Material: SimMan, Monitoring, Transport-Beatmungsgerät Hamilton G5

Info für Instruktor

Frau Gudrun Mayerbeck, *03.12.1954, wird vom 3. Dienst zur Fokussuche bei beginnender Sepsis von der Anästhesie Intensivstation ins Schockraum-CT gebracht. Die Patientin hatte vor vier Tagen eine ausgedehnte Resektion eines Kolon-CA mit lokalen Metastasen. Nun steigender Katecholaminbedarf sowie steigende Infektparameter. VE: aHT, Hypothyreose, Diabetes mellitus Typ 2. Bei Umlagerung disloziert der Tubus, Re-Platzierung durch 3. Dienst nicht möglich und Versuch der überbrückenden Maskenbeatmung, Info an 1. Dienst / MET. Vor Eintreffen 1. Dienst wird Pat. reanimationspflichtig (PEA). Maßnahmen laufen bei Eintreffen adäquat, keine Ventilation / Oxygenierung möglich.

Info zur Durchführung

Der Proband wird vor dem OP gebrieft. Ein Instruktor steht am Patienten und sagt, dass der Patient sich nicht Maske/Beutel beatmen lässt, gibt aber sonst keine weiteren Auskünfte. Die übrigen Reanimationsmaßnahmen laufen adäquat.

Alle weiteren Maßnahmen muss der Proband selbstständig durchführen, der Instruktor hilft dabei adäquat und kompetent nur, wenn er aufgefordert wird.

Standard Durchführung

Es läuft: Noradrenalin 5/50 8ml/h, Sufenta 1ml/h, Propofol 2% 8ml/h, ZVK und art. Kanüle in situ.

Einstellung Beatmungsgerät vor Tubusdiskolation: DuoPAP: 22/7/0,6%x14
Aktuell 15l O₂ über Ambubeutel mit Reservoir.

Ablauf	SpO ₂	HF	RR	etCO ₂
Start	70 %	50	20 / 0	-
1 Min	65 %	40	0 bzw. nach Rea	-
2 Min	60 %	30	0 bzw. nach Rea	-
3 Min	55 %	20	0 bzw. nach Rea	-
4 Min	55 %	20	0 bzw. nach Rea	-
5 Min	50 %	20	0 bzw. nach Rea	-
6 Min	0	0	0	-

Entscheidet sich der Kandidat zur Coniotomie, bessern sich die Werte.

Info Kandidat:

Die ASA3-Patientin wurde intubiert und beatmet bei v.a. beginnende Sepsis von AN INT ins CT transportiert. 4 Tage nach ausgedehnter Darmresektion bei Kolon-CA. Bei Umlagerung Dislokation des Tubus sowie frustraner Versuch der Replatzierung. Sie werden zu Hilfe gerufen. Bitte Übernehmen Sie die Patientin und denken Sie laut.

Anhang IX: Freitextantworten zu Frage 14 des Fragebogens

Frage 14: Fehlt Ihnen im Ablauf des Atemwegsalgorithmus eine Maßnahme / ein Zwischenschritt?

Bei mehrfachen, identischen Antworten wurde die Anzahl der Nennungen in eckige Klammern gesetzt. Die Antworten wurden im originalen Wortlaut von den Fragebögen übernommen.

Nicht beantwortet [13]
Nein [19]
Bei Richten Fiberoptik: Zeit nutzen -> konv. ITN-Versuch
Vorbereitung, Präoxygenierung
Narkose- / Relaxierung vertiefen
Relaxierung als 1. Schritt bei schwieriger MB
eher zuviele Schritte
Fehlgeschlagene Koniotomie was dann?
Rescueschritt HF < 35 SO2 < 65%
noch nie eine Notfallkoniotomie durchgeführt

Anhang X: Freitextantworten zu Frage 15 des Fragebogens

Frage 15: Wie definieren Sie eine Hypoxie?

Bei mehrfachen, identischen Antworten wurde die Anzahl der Nennungen in eckige Klammern gesetzt. Die Antworten wurden im originalen Wortlaut von den Fragebögen übernommen.

SpO ₂ < 93%
SpO ₂ < 92% [2]
SpO ₂ < 90% [6]
SpO ₂ < 85% [2]
SpO ₂ < 80% [2]
SpO ₂ < 90% (per Def. < 95%)
S _a O ₂ < 90 %
Sättigungsabfall S _a O ₂ < 90
Sättigungsabfall < 90
S _a O ₂ < 70%
O ₂ -Schuld des Körpers = Minderversorgung mit O ₂ , Abfall von SpO ₂ und pO ₂ unter Normwert.
pO ₂ -Abfall
SO ₂ < 70% bzw. Herz-Kreislaufstillstand infolge O ₂ -Unterversorgung
Ein Abfall der SpO ₂ um 10% des Ausgangswertes
Mangelversorgung des Körpers mit O ₂ , ab SpO ₂ < 94% spricht man von moderater Hypoxie (oder?)
Sauerstoffmangel, welcher nicht zur Aufrechterhaltung der lebenswichtigen Organe ausreicht
SpO ₂ < 90% bzw. [unleserlich] wie HF-Abfall
Sauerstoffmangel, paO ₂ < 60 mmHg, SpO ₂ < 90%
Kreislaufrel. SpO ₂ -Abfall
Abfall der O ₂ -Sättigung
O ₂ ↓ im Gewebe
unzureichendes O ₂ -Angebot um Struktur- und Funktionsstoffwechsel aufrecht zu halten
fallender paO ₂ bzw. fallendes SpO ₂ ohne weitere Stör- bzw. Fehlerquellen
SpO ₂ -Abfall < 90%, zusätzlich nochmals Unterteilung in periphere SpO ₂ ↓ oder zentrale Entsättigung mit Bradykardie
Sättigungsabfall ohne die Möglichkeit erfolgreich beatmen zu können

pO ₂ bei der die Versorgung der Zellen nicht gewährleistet ist und bei Persistenz zum Schock führt
S _a O ₂ < 75 wenn Messung suffizient, RR ↓
SpO ₂ < 75 und/oder Zyanose, Beeinflussung cp-Situation
S _a O ₂ ↓
SpO ₂ -Abfall mit drohender Asphyxie und klin. Zeichen wie Bewusstseinsstörung, Zyanose etc.
SpO ₂ < 88%, wenn SpO ₂ nicht messbar -> massive Zyanose
Minderversorgung des Organismus mit Sauerstoff

Anhang XI: Freitextantworten zu Frage 16 des Fragebogens

Frage 16: Weshalb haben Sie sich im Szenario für die Durchführung einer Koniotomie entschieden?

Bei mehrfachen, identischen Antworten wurde die Anzahl der Nennungen in eckige Klammern gesetzt. Die Antworten wurden im originalen Wortlaut von den Fragebögen übernommen.

letzte Option: 1) Reanimation / Asphyxie, 2) elektiver Patient / Kreislaufdepression / cannot ventilate, cannot intubate
Asphyxie des Patienten
Weil vorher die Intubationsversuche klassisch und mit Hilfsmittel erfolglos waren.
Pat. unter Reanimation, komplett geschwollen, Intubation nicht mgl., dann supraglottische Atemweghilfe wahrscheinlich nicht suffizient durch die Schwellung
gemäß Algorithmus: MB fehlgeschlagen, ITN fehlgeschlagen, eine Alternative fehlgeschlagen
keine Oxygenierung möglich, Platzierung LMA bei eingeschränkter MÖF und enoraler Schwellung, ITN nicht möglich. Zunehmende, a.e. hypoxisch bedingte Kreislaufinstabilität
Alternativlos nach Algorithmus
(drohende) Asphyxie & kein oraler Zugangsweg möglich
Weil ich mit dem Rücken an der Wand stand und den Tod des Patienten vor Augen hatte
fehlende Alternative, drohende irreversible Schäden
weil es keine andere Alternative gab
nach Atemwegsalgorithmus logische Konsequenz
cannot ventilate, cannot intubate
Enge Stimmritze trotz Vollrelaxation klar gesehen, deswegen vmtl. keine Verbesserung durch neuerliche Relaxation möglich, keine Verbesserung durch Fiberoptik / Endoskop / LMA zu erwarten, Koniotomie bei Asphyxie einzige Option + schnellste Option
keine andere Atemwegssicherung möglich bei drohender bzw. bestehender Asphyxie
Fehlgeschlagene Atemwegssicherung nach Algorithmus
weil ich es kann
Atemweg war konventionell nicht zu sichern (aus meiner situativen Sicht), nach Atemwegsalgorithmus verbleibende Konsequenz
SpO ₂ zu niedrig bzw. nicht mehr messbar
1) Reanimation mit Hypoxie als Ursache 2) cannot ventilate cannot intubate nach Algorithmus
da Ultima ratio nach Abarbeitung vorhandener Alternativen

keine andere schnelle und sichere Oxygenierung möglich
fehlende Mundöffnung, zur Verfügung stehende Zeit ↓
cannot ventilate cannot intubate
Hypoxie, anderes Verfahren erschien nicht erfolgversprechend
2 Instrumente ausprobiert, gescheitert, mittlerweile Hypoxie
Atemwegsalgorithmus: Pat. sonst tot
HF < 35, SO ₂ < 65 -> unmittelbares Risiko Hirnschaden, drohende Asphyxie -> unmittelbar Airway notwendig, keine Zeit verlieren
letzte Möglichkeit der Atemwegssicherung
EGA + endotracheale Intubation nicht erfolgreich + keine Aussicht auf Erfolg mit einem anderen AW-Device in dem ich geübt bin
kein anderes Device sicher anwendbar
Die einzige Möglichkeit über ein ausreichend großes Loch Luft rein-/rauszubekommen
logische Folge
2 andere Verfahren haben sicher versagt und auch trotz Optimierung wahrscheinlich nicht anders zu lösen
S _a O ₂ fallend bzw. nicht messbar, Atemwegssicherung auf anderem Weg nicht möglich, Bradykardie bzw. Reanimation -> zuvor keine Ventilation
wg. der Algorithmusabfolge
keine konventionelle Intubation und keine suff. Oxygenierung möglich
wie Algorithmus, alle "anderen" Maßnahmen fehlgeschlagen
3 andere Verfahren kein Erfolg und Pat. nicht anders ventilierbar
Atemweg aufgrund von Schwellung konventionell nicht zu sichern, weitere Versuche kosten Zeit und schaden dem Pat. weiter

9. Danksagung

10. Tabellarischer Lebenslauf