

DGAInfo

Aus dem Wiss. Arbeitskreis
Notfallmedizin der DGAI und
der Kommission Atemwegs-
management der DGAI

Zusammenfassung

Die erfolgreiche Sicherung der Atemwege ist eine der zentralen Aufgaben in der Notfallmedizin, da ohne adäquate Oxygenierung und Ventilation alle weiteren Therapiemaßnahmen vergeblich bleiben. Das präklinische Atemwegsmanagement ist deutlich schwieriger im Vergleich zu innerklinischen Verhältnissen, da zahlreiche Faktoren erschwerend hinzukommen, die den Zustand der Patienten, die Umgebungsverhältnisse, die limitierte Ausrüstung und die individuellen Kenntnisse des medizinischen Personals betreffen.

Die tracheale Intubation (ETI) gilt nach wie vor als Goldstandard zur Sicherung der Atemwege, obwohl keine ausreichende Datenlage zur Wahl des besten Verfahrens besteht. Ebenso fehlt die Evidenz, auf Grund derer die minimale Anzahl von erfolgreichen innerklinischen Anwendungen einer spezifischen Technik und deren regelmäßige Wiederholung gefordert werden kann. Die nachfolgenden Empfehlungen basieren daher auf der Bewertung von prä- und innerklinischen Studien.

Die ETI sollte nur von denjenigen durchgeführt werden, die die Technik sicher beherrschen. Dazu sollte zum Erlernen der Technik die Durchführung von wenigstens 100 ETI und nachfolgend 10 ETI/Jahr an Patienten unter Aufsicht dokumentiert werden.

Unter präklinischen Bedingungen dürfen maximal zwei Intubationsversuche unternommen werden, die jeweils

Handlungsempfehlung für das präklinische Atemwegsmanagement*

Für Notärzte und Rettungsdienstpersonal

A. Timmermann^{1,2,9} · C. Byhahn³ · V. Wenzel^{4,9} · C. Eich^{5,10}
T. Piepho⁶ · M. Bernhard⁷ · V. Dörjes^{8,9}

nicht länger als 30 Sekunden andauern sollten. Zwischen zwei Intubationsversuchen sollte eine Maskenbeatmung durchgeführt werden. Nach gescheiterter ETI oder bei Fehlen der geforderten Voraussetzungen sollten extraglottische Atemwege (EGA) mit maximal zwei Versuchen zur Anwendung kommen. Als Minimalvoraussetzung vor dem präklinischen Einsatz sollten 10 Anwendungen eines EGA an Patienten unter Aufsicht erfolgen und jährlich dreimalig wiederholt werden. Es sollten EGA mit Drainagekanal verwendet und eine Magensonde platziert werden. Nach erfolgloser ETI und/oder EGA-Einlage sollte die Atemwegssicherung über eine Koniotomie erfolgen. Nach durchgeführter Atemwegssicherung muss eine Kontrolle der Beatmung mittels kontinuierlicher Kapnographie erfolgen. Im Kreislaufstillstand sollte eine zweite Methode zur Erkennung einer ösophagealen Fehllage verwendet werden.

Summary

Successful management of the airway is one of the central tasks in emergency care medicine since the absence of adequate oxygenation and ventilation render all other measures void. Out-of-hospital airway management is markedly more difficult than in the hospital, since such factors as the state of the patient, the ambient situation, limited equipment and the individual experience of the medical personnel all have a role to play. Tracheal intubation (ETI) continues to be regarded as the "gold standard" for

- 1 DRK Kliniken Berlin Westend, Klinik für Anästhesiologie, Schmerztherapie, Intensiv- und Notfallmedizin, Berlin
- 2 Zentrum Anaesthesiologie, Rettungs- und Intensivmedizin, Universitätsklinikum Göttingen
- 3 Klinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin und Schmerztherapie, Klinikum der J.W. Goethe-Universität Frankfurt am Main
- 4 Universitätsklinik für Anästhesiologie und Allgemeine Intensivmedizin, Medizinische Universität Innsbruck
- 5 Abteilung Anästhesie, Kinderintensiv- und Notfallmedizin, Kinder und Jugendkrankenhaus Auf der Bult, Hannover
- 6 Klinik für Anästhesiologie, Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz
- 7 Zentrale Notaufnahme/Notaufnahme-station, Universitätsklinikum Leipzig
- 8 Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin, Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel
- 9 Wissenschaftlicher Arbeitskreis Notfallmedizin und Kommission Atemwegsmanagement der DGAI
- 10 Wissenschaftlicher Arbeitskreis Kinderanästhesie der DGAI

* Beschluss des Engeren Präsidiums der DGAI vom 18.04.2012 in Frankfurt am Main

Schlüsselwörter

Leitlinie – Notfallmedizin – Atemwegsmanagement – Präklinisch

Keywords

Guidelines – Emergency Medicine – Airway Management – Out-of-Hospital

airway securement, although data on the best procedure to use are not forthcoming. In addition there is a lack of evidence identifying the minimum number of successful in-hospital applications of a specific technique and the justification for its regular use ETI should be performed only by those who have mastered the technique. For such persons there should be documented evidence of supervised training involving at least 100 ETI's, and subsequently 10 ETI's a year performed in selected patients.

Under pre-hospital conditions not more than two intubation attempts, each lasting not more than 30 seconds, should be undertaken. Between two attempts, mask ventilation should be applied. In the event of a failed ETI, or when the necessary requirements are absent, not more than two attempts to establish an extraglottic airway (EGA) should be made. EGA with a drainage channel should be applied and a gastric tube placed. After successful ETI and/or EGA, the airway should be secured via a coniotomy. When the airway has been secured, respiration must be monitored via capnography. In the event of circulatory failure, a second method should be used to detect an oesophageal misplacement.

Vorwort

Die Sicherung der Atemwege und eine suffiziente Beatmung, die eine ausreichende Oxygenierung und Ventilation zulassen, sind zentrale Aufgaben der Notfallmedizin, da ohne offene Atemwege und adäquaten Gasaustausch alle anderen Therapiemaßnahmen vergeblich bleiben [24] und der Patient letztendlich verstirbt. Dieser unangefochtenen Prämisse schließt sich die Frage an, durch welches Verfahren der Atemweg gesichert werden sollte, da sich die Bedingungen in der präklinischen Versorgung in vielen Aspekten stark von den innerklinischen Umständen im Operationssaal (OP), auf der Intensivstation oder in der Notfallaufnahme unterscheiden [98]. Die endotracheale Intubation (ETI) gilt als der „Goldstandard“ in der Atemwegssicherung respiratorisch insuffizienter bzw. bewusstseinsgestörter

Patienten! Der Erfolg der ETI hängt dabei aber insbesondere von der Anwendererfahrung und den individuellen Intubationsbedingungen ab. Darüber hinaus sind in letzter Zeit vermehrt kritische Untersuchungen publiziert worden, die schwerwiegende Komplikationen im Zusammenhang mit der laryngoskopischen Intubation beschreiben [60], bis hin zur unerkannten ösophagealen Intubation mit deutlich erhöhter Morbidität und Letalität [100,114], wenn die ETI durch in der Intubation nicht ausreichend geübtes Personal durchgeführt wird.

Diese Handlungsempfehlung wurde für alle in der Notfallmedizin tätigen Ärzte und qualifizierten Rettungsdienstmitarbeiter erstellt. Sie empfiehlt die nach derzeitigem Wissenstand geeigneten Maßnahmen, welche je nach individueller Konstellation (Infrastruktur, örtliche Situation, Zustand des Patienten und individuelle Fertigkeiten, Kenntnisse und klinische Erfahrungen) eine adäquate Versorgung des respiratorisch insuffizienten Patienten gewährleisten. Tabelle 1 listet eine Übersicht der zentralen Punkte dieser Handlungsempfehlung auf.

Evidenz

Handlungsempfehlungen sollten, basierend auf der aktuellen Datenlage nach den Richtlinien des Centre for Evidence-Based Medicine (<http://www.cebm.net/index.aspx?o=1025>), mit den entsprechenden Empfehlungsgraden versehen werden (Tab. 2). Für das Atemwegsmanagement existieren jedoch nahezu keine randomisierten präklinischen Studien gemäß der Level 1 oder 2. Dies liegt vor allem in der hohen Heterogenität der Erkrankungen der Patienten, der örtlichen und strukturellen Gegebenheiten und in den individuellen Erfahrungen und Kenntnissen des medizinischen Notarzt- und Rettungsdienstpersonals begründet. Ebenfalls ist es ethisch kaum vertretbar, bei einer unmittelbar vorliegenden oder drohenden Hypoxie und/oder Hyperkapnie lebensrettende Maßnahmen durch eine prospektive randomisierte klinische Studie zu verzögern. Hinzu kommt, dass eine unabhängige Bewertung kaum zu erheben ist. Dementsprechend können die in dieser Handlungsempfehlung gemachten Empfehlungsgrade höchstens die Stufe C oder D erreichen (Tab 3).

Tabelle 1

Übersicht der zentralen Handlungsempfehlungen zur Sicherung der Atemwege in der Notfallmedizin.

- | |
|---|
| • Kritische Überprüfung der Indikationsstellung zur invasiven Atemwegssicherung |
| • Wenn möglich Durchführung einer adäquaten Präoxygenierung mit hohem F_iO_2 vor jeder invasiven Atemwegssicherung (ETI oder EGA) |
| • Endotrachealer Tubus als Goldstandard, aber nur wenn mindestens 100 ETI an Patienten unter Aufsicht dokumentiert und 10 ETI/Jahr durchgeführt werden |
| • EGA als primärer Zugang, wenn o.g. Anforderungen nicht erfüllt werden können und wenn 10 Anwendungen unter Aufsicht dokumentiert und 3 EGA/Jahr durchgeführt wurden, oder als Alternative bei schwieriger Intubation |
| • Verwendung von EGA mit Drainagekanal und Platzieren einer Magensonde oder einer Intubations-LMA |
| • Einsatz der Videolaryngoskopie ist als Alternative möglich, wenn ausreichend innerklinische Erfahrung besteht |
| • Die optimierte Maskenbeatmung mit beidhändigem Esmarchmaskengriff (doppelter C-Griff), optimaler Kopflagerung +/- passendem Guedeltubus und mit einem hohen F_iO_2 zwischen zwei Intubationsversuchen, insbesondere bei Kindern |
| • Keine Anwendung des Krikoiddruckes zur Aspirationsprophylaxe |
| • Kontinuierliche Kapnographie nach jeder Atemwegssicherungsmaßnahme |
| • Kommunikation der Standards und gemeinsames Training des Notfallteams |

ETI = endotracheale Intubation, EGA = Extraglottischer Atemweg, F_iO_2 = inspiratorische Sauerstofffraktion.

Tabelle 2

Evidenzklassifizierung des „Centre for Evidence-Based Medicine“.

Grad	Studien zu Therapie/Prävention/Ätiologie
1a	Systematische Übersicht über RCT
1b	Eine RCT (mit engem Konfidenzintervall)
1c	Alle-oder-keiner-Prinzip
2a	Systematische Übersicht über gut geplante Kohortenstudien
2b	Eine gut geplante Kohortenstudie oder eine RCT minderer Qualität
2c	Outcome-Studien, ökologische Studien
3a	Systematische Übersicht über Fall-Kontroll-Studien
3b	Eine Fall-Kontroll-Studie
4	Fallserien oder Kohorten-/Fall-Kontroll-Studien minderer Qualität
5	Expertenmeinung ohne explizite Bewertung der Evidenz oder basierend auf physiologischen Modellen/Laborforschung

RCT = randomisierte kontrollierte Studie.

Tabelle 3

Empfehlungsgrade des „Centre for Evidence-Based Medicine“.

A	Konsistente Level-1-Studien
B	Konsistente Level-2- oder 3-Studien oder Interpretation aus Level-1-Studien
C	Level-4-Studien oder Extrapolationen aus Level-2- oder 3-Studien
D	Level-5-Evidenz- oder inkonsistente oder nicht schlüssige Studien aller anderer Level

Trotzdem erscheint die Erstellung dieser Empfehlungen aufgrund des erheblichen Handlungsbedarfes sinnvoll.

Indikationen zur invasiven Atemwegssicherung

In Mitteleuropa sind akute Erkrankungen für mehr als 80% der Indikationen für eine präklinische Atemwegssicherung verantwortlich. Traumapatienten haben hieran einen Anteil von 10-20%. Die häufigste Indikation zur Sicherung der Atemwege ist der Kreislaufstillstand. Eine präklinische Intubation ist ebenfalls häufig indiziert bei polytraumatisierten bzw. schwer schädelhirntraumatisierten Patienten sowie bei hoher Aspirationsgefahr.

Die Dringlichkeit einer Sicherung der Atemwege in der Notfallmedizin wird in Abhängigkeit von der individuellen Diagnose in drei Kategorien unterteilt [30]:

- sofortige Intervention,
- unmittelbare Intervention,
- dringliche Intervention.

Während bei Patienten mit einem anhaltenden Atemstillstand eine sofortige Atemwegssicherung und Beatmung vorgenommen werden muss, benötigen Patienten mit starker Atemnot oder Bewusstseinsverlust eine unmittelbare Therapie. In diesen Fällen bleibt meist Zeit für die Präoxygenierung des Patienten, für eine orientierende Untersuchung im Hinblick auf einen schwierigen

Atemweg und für die Vorbereitung der adäquaten Ausrüstung für ein alternatives Atemwegsmanagement. Patienten mit rasch zunehmender Schwellung im Bereich der oberen Luftwege oder mit Verletzungen der Thoraxwand zeigen nicht immer die Anzeichen einer akuten respiratorischen Dekompensation, haben aber eine dringliche Indikation zur Sicherung der Atemwege. Bei dieser Patientengruppe sollten ebenfalls logistische Gegebenheiten (Entfernung zum nächsten geeigneten Krankenhaus), der individuelle Kenntnisstand sowie Begleiterkrankungen oder -verletzungen in Sinne eines Handlungskorridors mit in den Entscheidungsprozess zur invasiven Atemwegssicherung einbezogen werden [7,79].

Vorbereitende Maßnahmen

Die Sicherung der Atemwege stellt eine schwierige und potentiell komplikationsbehaftete Situation in der Notfallmedizin dar. Daher ist es von elementarer Bedeutung, dass die Vollständigkeit und Funktionstüchtigkeit des benötigten Materials vor dem Notfalleinsatz gewährleistet ist und sowohl initial bei Übernahme des Dienstes als auch vor Beginn der Maßnahmen kontrolliert wird. Weiterhin müssen die notwendigen Schritte vorab mit dem gesamten Team kommuniziert werden.

Neben dem Herstellen eines Standards zum Vorgehen bei Atemwegssicherungsmaßnahmen sollten diese gemeinsam trainiert werden. Diese Ausbildung muss neben dem reinen Üben der benötigten Fertigkeiten auch ein Training der Zusammenarbeit im Notfallteam beinhalten. Szenarien des schwierigen Atemwegsmanagements können mit Hilfe mobiler „Full-Scale-Simulatoren“ realitätsnah inszeniert werden, so dass neben dem rein prozeduralen Vorgehen auch ein effektives Teamtraining nach Prinzipien des Zwischenfallsmanagement gewährleistet werden kann [20,40,97]. Derartige simulationsbasierten Szenarien sollten regelmäßig wiederholt und zusätzlich zum praktischen Training ergänzt werden.

Nicht-invasive Techniken

Vor Beginn der Maßnahmen zur Atemwegssicherung muss ein Freimachen der oberen Atemwege erfolgen, welche durch folgende Faktoren verlegt sein können:

- Zurücksinken des Zungengrundes auf die Pharynxhinterwand sowie dorsales Anliegen der Epiglottis bei Patienten mit Bewusstseinsstörung und/oder herabgesetztem Muskeltonus. Durch die korrekte Anwendung des Esmarchschen Handgriffs (aktives Anheben des Unterkiefers und Öffnen des Mundes) unter Schonung der Halswirbelsäule (HWS) kann dieses mechanische Hindernis zumeist beseitigt werden.

- Verlegung der oberen Atemwege durch festes Material, z.B. größere Nahrungstücke, Zähne oder Zahnprothesen. Sind entsprechende Fremdkörper beim Öffnen des Mundes im Oropharynx sichtbar, werden diese digital oder unter Zuhilfenahme einer Magillzange geborgen. Im Hypopharynx befindliche Fremdkörper können oft nur mittels Laryngoskopie detektiert werden.
- Das Vorhandensein flüssiger Stoffe, z.B. regurgitierter Mageninhalt, Blut oder Sekret, verursacht typischerweise keine vollständige Verlegung der oberen Atemwege. Dennoch sollten derartige Sekrete mittels oraler Absaugung entfernt werden. Hier könnte der Einsatz von Absaug-Laryngoskopen, die ein gleichzeitiges Laryngoskopieren und Absaugen ermöglichen dem Ungeübten das Handling erleichtern [59].

Zur Erleichterung des Offenhaltens der oberen Atemwege können Wendtuben nasal platziert werden, allerdings nicht bei Patienten mit v.a. frontobasale Verletzungen. Zur Unterstützung der Maskenbeatmung eignen sich auch Guedeltuben, die jedoch eine ausreichend tiefe Hypnose des Patienten für die Toleranz dieser Tuben benötigen, da ansonsten Würgen und aktives Erbrechen ausgelöst werden können.

Sauerstoffapplikation

Bei allen Notfallpatienten mit erhaltener – auch insuffizienter – Spontanatmung ist nach dem Freimachen der Atemwege die Gabe von Sauerstoff in höchstmöglicher Konzentration bzw. mit höchstmöglichem Fluss obligat. Optimal ist die Applikation über eine dichtsitzende Gesichtsmaske, die über ein Demandventil mit einer Sauerstoffquelle verbunden ist. Hiermit kann eine inspiratorische Sauerstofffraktion (FiO_2) von nahezu 1,0 erreicht werden. Hingegen erreichen handelsübliche Sauerstoffmasken bei einem Fluss von 10-12 l O_2 /min abhängig von der Atemfrequenz und dem Atemzugvolumen selten eine $\text{FiO}_2 > 0,6$. Durch die Verwendung eines zusätzlichen Reservoirbeutels mit einem Ventil, das die Rückatmung in den Reservoirbeutel

unterbindet, kann eine FiO_2 von 0,8-1,0 erreicht werden. Theoretisch kann über eine Nasenbrille bei einem maximalem O_2 -Flow von 10-12 l/min auch eine hohe $\text{FiO}_2 > 0,8$ erreicht werden. Dies erfordert jedoch einen normofrequent und streng durch die Nase atmenden Patienten, der in Notfallsituationen eine Ausnahme darstellt [109].

Nicht-invasive Beatmung

Die nicht-invasive Beatmung (non-invasive ventilation; NIV) hat in den letzten Jahren eine zunehmende Verbreitung in der Notfallmedizin erfahren. Die NIV führt zu einer Erhöhung des transpulmonalen Drucks (Vergrößerung des Lungenvolumens), zu einer Rekrutierung und zum Offenhalten initial verschlossener Lungenareale und reduziert die Atemarbeit durch inspiratorische Druckunterstützung [81]. Die NIV reduziert die Letalität, die Intensivstationsaufenthaltsdauer und die Intubationsrate kritisch kranker Patienten beim Vorliegen einer geeigneten Indikation [102]. Insbesondere bei den hyperkapnischen Formen der respiratorischen Insuffizienz kann die NIV die Atemarbeit effektiv reduzieren und eine höhere Sauerstofffraktion ermöglichen ohne eine Kumulation des CO_2 herbeizuführen. Gemäß der S3-Leitlinie „Nichtinvasive Beatmung als Therapie der akuten respiratorischen Insuffizienz“ ergeben sich klare Indikationen bzw. Kontraindikationen für den Einsatz der NIV [81]. Die NIV sollte nicht eingesetzt werden, wenn gewichtige Gründe für einen invasiven Beatmungszugang sprechen (z.B. hohe Druckkonstanz, Offenhalten der Atemwege, lange und unterbrechungsfreie Beatmung). Grundsätzliche Voraussetzungen bei der Anwendung der NIV sind ein engmaschiges Monitoring, die ständige Intubationsbereitschaft und ausreichende Erfahrung mit dem Verfahren [81]. In Tabelle 4 sind die wesentlichen Indikationen und Kontraindikationen für die NIV dargestellt.

Regelhaft muss der Erfolg der NIV engmaschig und in kurzen Zeitintervallen überwacht und kontrolliert werden. Bei Zeichen des Versagens der NIV im Sinne

Tabelle 4

Indikation und Kontraindikation der nicht-invasiven Beatmung (nach [81]).

Indikationen
<ul style="list-style-type: none"> • (hyperkapnisches) akutes respiratorisches Versagen bei Exazerbation einer COPD • akutes kardiogenes Lungenödem • akutes respiratorisches Versagen bei immunsupprimierten Patienten • palliative Patienten mit akutem respiratorischem Versagen, bei denen die ETI umgangen werden soll
Kontraindikationen
<p>Absolute:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fehlende Spontanatmung bzw. Schnappatmung • Fixierte oder funktionelle Verlegung der Atemwege • Gastrointestinale Blutung oder Ileus <p>Relative:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Koma • fehlende Patientencompliance • massiver Sekretverhalt • schwere Hypoxämie oder Azidose • hämodynamische Instabilität • anatomische und/oder subjektive Interfaceinkompatibilität • Z.n. Operation am oberen Gastrointestinaltrakt

gleichbleibender oder zunehmender Atemfrequenz, zunehmender Vigilanzstörung, Zunahme der Herzfrequenz bzw. massiver Dyspnoe muss die Wahl der NIV als Beatmungsverfahren kritisch reflektiert und ggf. auf eine invasive Beatmung mittels Endotrachealtubus bzw. EGA gewechselt werden.

Initial kommen Gesichtsmasken zur Anwendung. Regelmäßig werden eine Positivdruckbeatmung mit inspiratorischer Druckunterstützung angewendet. Entsprechende Mindestanforderungen an den Ventilator sind zu erfüllen (Druckvorgabe, maximaler inspiratorischer positiver Beatmungsdruck ≥ 30 cmH₂O, inspiratorische Flussrate ≥ 60 l/min, Backup-Frequenz einstellbar, Bilevel-Modus, max. Atemfrequenz ≥ 40 /min, sensibler Flow-Trigger, Diskonnektionsalarm, einstellbares I:E-Verhältnis). Die Sauerstoffzufuhr muss gemäß dem aktuellen Bedarf angepasst werden und eine Therapie der Grunderkrankung erfolgen.

Präoxygenierung

Um einen Abfall der Sauerstoffsättigung während der Narkoseeinleitung und ETI zu verhindern, sollte der Notfallpatient, sofern eine ausreichende Spontanatmung vorhanden ist, bis zu 4 Minuten Sauerstoff mit einer FiO_2 von 1,0 über eine Gesichtsmaske mit Reservoir oder Demandventil appliziert bekommen [67]. Eine längere als vierminütige Präoxygenierung des spontanatmenden kritisch kranken Patienten führt nicht zu einer weiteren Optimierung des arteriellen Sauerstoffpartialdrucks [61,62]. Dabei sollte die Gesichtsmaske das Gesicht dicht umschließen, um einen möglichst hohen FiO_2 zu ermöglichen. Weiterhin sollte darauf geachtet werden, dass während der Präoxygenierung die Sauerstoffsättigung steigt, um eine technische Fehlfunktion z.B. der Gasversorgung auszuschließen [37]. Die korrekte Durchführung einer Präoxygenierung kann die Apnoezeit ohne kritische Hypoxie bei Erwachsenen und Kindern deutlich verlängern [57]. Die Präoxygenierung ist somit obligat vor jeder invasiven Atemwegssicherungsmaßnahme (ETI oder EGA-Einlage) durchzuführen. Die expiratorische Sauerstoff-Konzentration (sofern diese bestimmt werden kann) sollte $>70\%$ bei lungengesunden Patienten sein, bevor mit der Einleitung der Narkose begonnen wird. Tierexperimentelle Daten signalisieren, dass bei einem hohen Blutverlust ein kritischer Abfall der Sauerstoffsättigung bereits nach 1-2 min eintritt. Dies unterstreicht ebenfalls die Bedeutung einer sorgfältigen Präoxygenierung und einer sehr zügigen Durchführung der ETI [69].

Gesichtsmaskenbeatmung

Die Maskenbeatmung ist eine weltweit verbreitete Technik, die regelmäßig zur Ventilation und Oxygenierung von Notfallpatienten eingesetzt wird. Über ein Beatmungsbeutel-Masken-System kann eine assistierte und auch eine kontrollierte Beatmung durchgeführt werden [107]. Ein hoher Sauerstofffluss ($\sim 10 \text{ l O}_2/\text{min}$) gewährleistet neben einer besseren Oxygenierung aufgrund des

hohen inspiratorischen Sauerstoffanteils von ca. 60-70% insbesondere auch eine bessere Kompensation der Undichtigkeiten der Gesichtsmaske und einen ausreichenden Druckaufbau, um den Beatmungswiderstand zu überwinden. Eine FiO_2 von 1,0 ist jedoch nur bei Verwendung eines Demand-Ventils zu realisieren.

Wenn aufgrund anatomischer oder pathophysiologischer Gegebenheiten die Maskenbeatmung erschwert oder unmöglich ist, sollte eine Optimierung der Kopfposition des Patienten, das Halten der Maske in der passenden Größe mit zwei Händen (ggf. durch einen zweiten Helfer), die Überstreckung des Kopfes (unter Berücksichtigung möglicher HWS-Verletzungen) und das Anheben des Unterkiefers sowie die frühzeitige Einlage eines Oro- (Guedel) oder Nasopharyngealtubus (Wendl) erfolgen.

Die Maskenbeatmung ist häufig sowohl bei der Durchführung durch Notärzte als auch Rettungsassistenten infolge von klinischer Unerfahrenheit und mangelndem klinischem Training insuffizient. Dies führt u.a. auch zu einem erhöhten Risiko der Magenbelüftung mit nachfolgender Regurgitation und Aspiration [52,85], da der dramatische Abfall des unteren Ösophagusverschlussdrucks und der Compliance der Lungen (z.B. bei Eintritt des Kreislaufstillstandes [32]) die Verteilung des Atemgases bei Beatmung eines ungesicherten Luftweges während der kardiopulmonalen Reanimation beeinflusst. Dies führt zu einer deutlichen Mehrbelüftung des Magens mit den o.g. Folgen und zu einer zunehmenden Minderbelüftung der Lungen im Sinne eines Circulus vitiosus [113]. Im Extremfall kann eine exzessive Magenbeatmung durch eine Verminderung des venösen Rückstroms deletäre Auswirkungen auf die Hämodynamik haben [68].

Auf der anderen Seite wird häufig ein zu hohes Atemminutenvolumen appliziert (Beatmungsfrequenzen bis zu 40/min), welches vor allem beim Schädel-Hirn-Trauma und während der kardiopulmonalen Reanimation (CPR) durch eine Verminderung des venösen Rückstroms zu einem niedrigeren Blutfluss und

damit einem schlechteren Behandlungserfolg führt [4,19]. Versuche, mit kleineren Beatmungsbeuteln kleinere Tidalvolumina zu verabreichen, führten zwar zu einer deutlich verringerten Mageninsufflation, resultierten aber bei Nichtverfügbarkeit von Sauerstoff und dementsprechender Beatmung mit Raumluft ($21\% \text{ O}_2$) in einer nicht ausreichenden Oxygenierung [26]. Es sollte durch Verabreichung von Atemzugvolumina in der Größenordnung von ca. 400-500 ml (6 ml/kg) eine maximale und inspiratorische Sauerstoffkonzentration angestrebt werden. Eine weitere Alternative ist der Einsatz eines Spitzenflussbegrenzten Beatmungsbeutels, um den Beatmungs-Spitzendruck zu begrenzen und damit die Wahrscheinlichkeit einer lebensgefährlichen Magenbeatmung zu reduzieren [108].

Somit besteht die Indikation zur Maskenbeatmung in der Notfallmedizin

- primär vor der ETI, während diese vorbereitet wird und der Atemstillstand bereits eingesetzt hat,
- nach gescheitertem Intubationsversuch, bis weitere Maßnahmen ergriffen werden,
- intermittierend bei kurzzeitiger respiratorischer Insuffizienz (z.B. bei iatrogenen Medikamentenüberdosierung oder kurzen Interventionen).

Die endotracheale Intubation

Die ETI ist ein weit verbreitetes Verfahren und gilt nach wie vor in der Notfallmedizin als der „Goldstandard“ zur Sicherung der Atemwege [21]. Die potentiellen Vorteile gegenüber der Beatmung mittels einer Gesichtsmaske oder eines EGA liegen in

- der Möglichkeit zur Applikation eines höheren inspiratorischen und positiven endexpiratorischen Beatmungsdruckes,
- der niedrigeren Leckage,
- der niedrigen Insufflation von Luft in den Magen und der daraus folgenden Induktion eines Circulus vitiosus der Magenbelüftung [112],
- dem effektiveren Aspirationsschutz,
- der Möglichkeit der trachealen und bronchialen Absaugung,

- der besseren Effektivität der Herzdruckmassage durch asynchrone Beatmung während der CPR.

Durchführung der ETI

Nach der sorgfältig durchgeführten Präoxygenierung (bei noch ausreichender Spontanatmung) und der optimal möglichen Lagerung sollten maximal zwei Intubationsversuche unternommen werden, deren Dauer jeweils 30 Sekunden nicht überschreiten darf. Bei noch spontanatmenden Patienten wird im Sinne einer Ileuseinleitung primär auf die Maskenbeatmung verzichtet und – wenn möglich – der Oberkörper hochgelagert. Die routinemäßige Anwendung des Krikoiddrucks zur Aspirationsprophylaxe (Manöver nach Sellick) kann wegen der nicht nachgewiesenen Effektivität, der möglichen Verschlechterung der Sicht auf die Stimmbänder, der möglichen Provokation von Regurgitationen und der schlechten Standardisierung in der Durchführung nicht mehr empfohlen werden [12,30,84,96]. Der Tubus sollte unmittelbar nach Passage der Stimmbandebene geblockt werden. Bei Traumapatienten sollte die Immobilisation der HWS bis zum Moment der Atemwegssicherung mittels HWS-Immobilisationsschiene erfolgen, dann der vordere Anteil der HWS-Immobilisationsschiene unter Fortsetzung der Immobilisation mittels manueller Inline-Stabilisierung durch einen Helfer geöffnet und nach Abschluss der Atemwegssicherung die Immobilisation mittels geschlossener HWS-Immobilisationsschiene fortgesetzt werden [7]. Zwischen zwei Intubationsversuchen sollte die optimierte Maskenbeatmung zur Anwendung kommen, wobei der inspiratorische Atemwegsdruck so niedrig wie notwendig (mindestens $<20 \text{ cmH}_2\text{O}$) gehalten werden muss. Tabelle 5 gibt eine Übersicht über Maßnahmen, die zur Verbesserung der Intubationsbedingungen ergriffen werden können. Der Einsatz von Muskelrelaxantien verbessert die Intubationsbedingungen, sollte aber den Anwendern vorbehalten sein, die diese in der täglichen Praxis verwenden, sicher die Alternativen zur Intubation beherrschen sowie eine kontinuierliche Kapnographie anwenden.

Tabelle 5

Empfohlene Maßnahmen zur Verbesserung der Intubationsbedingungen.

- Verbesserung der Kopflagerung unter Berücksichtigung möglicher HWS-Verletzungen
- Druck auf den Schildknorpel (BURP-Manöver)
- Veränderte Biegung und Position des Führungsstabs
- Kleiner Tubusdurchmesser;
- Wechsel auf andere Laryngoskopspatel zur paraglossalen Laryngoskopie (z.B. Miller)
- Einsatz der Videolaryngoskopie
- Narkosevertiefung bzw. Muskelrelaxierung

HWS = Halswirbelsäule;

BURP = „backward, upward and rightward pressure“

Komplikationen der ETI

Trotz der vielfältigen potenziellen Vorteile der ETI konnte bislang in keiner prospektiven präklinischen Studie ein Vorteil hinsichtlich der Morbidität oder Letalität gegenüber der Einlage eines EGA nachgewiesen werden. Allerdings konnten Davis und Mitarbeiter einen generellen Vorteil der Beatmung bei Patienten mit schwerem Schädel-Hirn-Trauma gegenüber der spontanen Atmung zeigen [20]. Beachtet werden muss in diesem Zusammenhang, dass die technische Durchführung der ETI per se schwierig ist und die präklinischen Notfallbedingungen eine erfolgreiche ETI weiter erschweren (Tab. 6) [88,98]. Auch wenn in anästhesiologisch besetzten Notarztsystemen eine Erfolgsrate der ETI zwischen 98 und 100% angegeben wird [35,88,98], stufen selbst in der Intubation erfahrene Anästhesisten und Notfallmediziner die präklinische ETI in 15% aller Fälle als schwierig ein. Die korrespondierenden schwierigen Laryngoskopiegrade nach Cormack und Lehane III und IV werden mit 20% angegeben [98]. Daraus resultierende multiple Intubationsversuche gehen mit einem erhöhten Risiko unerwünschter Ereignisse einher. Mort et al. [60] berichten über einen Anstieg des relativen Risikos für Hypoxien (7x), schwere Hypoxien (14x), Regurgitationen (7x), Aspirationen (4x), Bradykardien (4x)

Tabelle 6

Faktoren, die häufig die präklinische Intubation erschweren (modifiziert nach [88,98]).

Patientenseitig

- Blut, Sekrete oder Erbrochenes
- Traumatische oder thermische Schäden der oberen Atemwege
- Entzündung oder Schwellung der oberen Atemwege
- Subkutane Emphyseme
- Immobilisierung der Halswirbelsäule
- Keine oder eingeschränkte Präoxygenierung
- Unzureichende Narkosetiefe
- Keine neuromuskuläre Blockade
- Meist keine wachen Intubationsverfahren bei der erwarteten schwierigen Intubation möglich

Einsatzseitig

- Simultan durchzuführende Tätigkeiten (z.B. CPR)
- Umgebungsbedingungen (z.B. Lichtverhältnisse, Lärm)
- Eingeschränkter Zugang zum Patienten
- Limitierte Ausstattung
- Unterschiedliche Teams
- Fehlende oder nicht gemeinsam kommunizierte Standards
- Fehlende kompetente Unterstützung vor Ort

und Herz-Kreislaufstillstand (7x) bei Traumapatienten, die mehr als zwei Intubationsversuche im Schockraum zur ETI benötigten. Auch unter elektiven Bedingungen des OP zeigt sich eine Zunahme der Komplikationen [8].

Die Anzahl der ETI, die zum Erlernen der Technik unter den idealen Bedingungen im OP benötigt wird, beträgt 50-60 ETI [8,49,50,63]. Bereits diese Anzahl wird von vielen im Rettungsdienst Tätigen nicht erreicht [44,94]. Die tatsächliche Anzahl der durchzuführenden ETI, die notwendig sind, um unter den erschwerten präklinischen Notfallbedingungen erfolgreich zu sein, ist bislang nicht untersucht worden. Es ist anzunehmen, dass die Anzahl deutlich höher liegt. Die von vielen Landesärztekammern geforderte Anzahl von 25 ETI zur Erlangung der Zusatzbezeichnung Notfallmedizin ist sicher nicht ausreichend, da selbst unter optimalen Bedingungen im OP ein Intubationserfolg durch Ungeübte von nur 67% im 1. Versuch und 82% nach

allen Versuchen nachgewiesen werden konnte [8]. Entscheidend für die erfolgreiche ETI ist die Erfahrung des Durchführenden und sollte auch in der präklinischen Situation dem höchstmöglichen Standard entsprechen, so wie dieser für die innerklinische Situation gilt. Zur sicheren Durchführung einer ETI unter Notfallbedingungen empfiehlt die „Association of Anaesthetists of Great Britain and Ireland“ eine mindestens zweijährige Ausbildung in einem Notfall- oder Akutmedizinischen Fachbereich inklusive einem Jahr in der Anästhesiologie und Intensivmedizin. Diese Forderung wurde durch die Ergebnisse des „Fourth National Audit Project of the Royal College of Anaesthetists and the Difficult Airway Society“ bestätigt.

Im Zusammenhang mit der Tatsache, dass Studien Häufigkeitsraten unerkannter ösophagealer Intubationen mit bis zu 25% angeben und die 24h-Letalität von ca. 10% bei korrekt Intubierten auf 70-90% steigt [45,82,100,114], und in Abwägung zu einer umsetzbaren Mindestanforderung, wird nachfolgendes empfohlen:

- Die ETI ist nur dann anzuwenden, wenn mindestens 100 Intubationen zum Erlernen der Technik unter Aufsicht durchgeführt sowie dokumentiert wurden und nachfolgend mindestens 10 ETI pro Jahr durchgeführt werden.
- Extraglottische Atemwege sollten verwendet werden, wenn keine ausreichende Erfahrung in der ETI besteht.
- Die Lagekontrolle des Tubus sollte obligat mittels kontinuierlicher Kapnographie durchgeführt werden.

Videolaryngoskopie

Die Videolaryngoskopie stellt eine der wesentlichen Neuerungen im Bereich des Managements des schwierigen Atemweges dar. Untersuchungen im OP belegen eine Verbesserung der Sicht auf die Stimmbänder [15,42,65,71]. Auch wurde die Erfolgsrate der ETI für unerfahrene Anwender bei elektiven Patienten im OP für die Videolaryngoskopie deutlich höher als für die konventionelle Laryngoskopie angegeben [71]. Ein weiterer Vorteil der Videolaryngoskopie

scheint auch in der geringeren HWS-Reklination im Vergleich zur konventionellen Laryngoskopie vor allem bei unerkannten Verletzungen der HWS zu liegen [40,41,105]. Erste Fallberichte und Fallserien beschreiben auch die erfolgreiche Anwendbarkeit in der präklinischen Notfallmedizin [11,14]. Allerdings fehlen bislang ausreichende prospektiv randomisierte Studien, die eine Verbesserung der Intubationserfolge gegenüber der konventionellen Laryngoskopie für die sehr heterogene Gruppe des Notfallmedizinischen Personals belegen. Eine prospektive Studie ermittelte einen höheren Intubationserfolg der konventionellen Laryngoskopie, verglichen mit einem Videolaryngoskopie [103].

Bei den insbesondere sehr variierenden Gerätetypen mit unterschiedlichen Intubationsprinzipien (mit und ohne Führungskanal), Größe und Qualität des Bildschirms und dem benötigten Training bezogen auf die individuellen Vorkenntnisse sind weitere Untersuchungen notwendig, um eine abschließende Empfehlung aussprechen zu können. Bei hoher innerklinischer Erfahrung scheint die Anwendung der Videolaryngoskopie auch in präklinischen Situationen eine sinnvolle Ergänzung darzustellen.

Extraglottische Atemwege

Unter dem Begriff extraglottische Atemwege (EGA) werden alle Ventilationshilfen subsummiert, die ein offeneshalten der Atemwege im Bereich des Oropharynx und proximalen Ösophagus gewährleisten, aber außerhalb der Glottis liegen.

Die Beatmung mittels eines EGA hat in der Notfallmedizin gegenüber der Gesichtsmaskenbeatmung den Vorteil einer besseren Effektivität durch größere erzielbare Tidalvolumina, weniger stark ausgeprägte Mageninsufflation, geringere Inzidenz an Aspirationen und der Möglichkeit der maschinellen Beatmung [85]. Gegenüber der ETI ist die Anzahl der zum Erlernen der Technik am Patienten notwendigen EGA-Anwendungen niedriger [99]. Zudem ist das Behalten der erlernten Technik nachhaltiger [74,91]. Außerdem sind die Prädiktoren

der schwierigen Maskenbeatmung oder der schwierigen Laryngoskopie häufig keine Prädiktoren der schwierigen Einlage eines EGA, so dass diese Atemwege auch eine wertvolle Alternative für den in der ETI Erfahrenen darstellen [13]. Ferner geben Simulationsstudien zur Reanimation Hinweise darauf, dass die Zeit der Unterbrechung der Herzdruckmassage, die für die Sicherung der Atemwege mittels EGA benötigt wird, niedriger ist als bei der ETI, wenn diese von Ungeübten durchgeführt wird [73].

Bei den EGA muss grundsätzlich in zwei Gruppen unterschieden werden: die Gruppe vom Larynxmaskentyp (LMA) und die Gruppe der ösophagealen Verschlussstüben. Während die Gruppe vom LMA-Typ die Abdichtung zur Trachea durch einen Cuff um den laryngealen Eingang erzielt, ermöglichen die ösophagealen Verschlussstüben eine Beatmung durch eine Ventilationsöffnung zwischen zwei Cuffs im pharyngealen und ösophagealen Bereich.

Weiterhin kann zwischen der ersten und zweiten Generation der EGA unterschieden werden. Während die EGA der ersten Generation lediglich eine Beatmung gestatten, ist mit der zweiten Generation auch die Einlage einer Magensonde möglich. Dies führt zu einer Entlastung des gastralen Druckes und Inhalts und damit zu einem potentiell niedrigeren Regurgitations- und Aspirationsrisiko [18]. Außerdem kann für einige Larynxmasken mit Drainagekanal durch verschiedene Tests eine sichere Lagekontrolle mit Sitz der Spitze in der Postkrikoidregion erfolgen [92]. Eine Sonderstellung nehmen hierbei die EGA ein, die im Design dem Larynxmaskentyp entsprechen, aber speziell für die blinde oder fiberoptisch geführte Intubation entwickelt wurden. Die EGA dieses Typs haben somit den potentiellen Vorteil, dass neben den Vorzügen einer LMA-Anwendung auch die Möglichkeit besteht, die ETI durchzuführen und damit wieder den Goldstandard der Atemwegssicherung herzustellen [99]. Zu beachten ist, dass die Erfolgswahrscheinlichkeit der nicht fiberoptisch geführten (sogenannten „blinden“) Intubation stark von dem verwendeten Hersteller und der Expertise des Anwenders abhängig

Tabelle 7

Beispiele von extraglottischen Atemwegen, deren Klassifikation und publizierten präklinischen Studien.

Typ	MS	E/M	Beispiel	Hersteller	Studien
LMA	n	E+M	Klassische LMA™	LMA Deutschland GmbH, Bonn	[2,48]
LMA	j	E	LMA Supreme™	LMA Deutschland GmbH, Bonn	[64,104]
LMA	j	E	i-gel™	Intersurgical, Sankt Augustin	[90]
ÖVT	j	E	Combitubus™	Tyco Healthcare Deutschland Manufacturing GmbH, Neustadt	[54,66,83]
ÖVT	j	E	Easytubus™	Ruesch, Kernen	[16,89]
ÖVT	n	E+M	Larynxtubus™	VBM, Sulz	[38,47,76]
ÖVT	j	E+M	Larynxtubus II Sonda™	VBM, Sulz	[76,77]
I-LMA	n	E+M	LMA Fastrach™	LMA Deutschland GmbH, Bonn	[23,87,101]

LMA = Larynxmaske; **ÖVT** = Ösophageale Verschlusstuben; **I-LMA** = Larynxmasken als Intubationskonduit; **MS** = Drainagekanal vorhanden; **E/M** = Einweg-/Mehrwegprodukt.

ist und von 15% bis 98% variieren kann [93]. Tabelle 7 stellt exemplarisch einen Überblick über die derzeit erhältlichen EGA in Bezug auf die jeweilige Gruppe dar.

Während für alle in der Tabelle 7 aufgeführten EGA Fallberichte oder zum Teil große Fallserien für die präklinische Anwendung publiziert wurden, existieren derzeit nicht genügend prospektiv-randomisierte, kontrollierte präklinische Studien, die einen Vorteil eines spezifischen EGAs belegen [93]. Die Entscheidung, welcher EGA verwendet wird, sollte von den örtlichen Gegebenheiten und Trainingsmöglichkeiten am Patienten in elektiven Situationen abhängig gemacht werden. Ein Training am Übungsphantom allein ist derzeit nicht als ausreichend anzusehen [22].

Es wird daher empfohlen, dass die Anwendung von mindestens 10 EGA-Einlagen (unabhängig vom verwendeten Typ) an Patienten unter kontrollierten Bedingungen und Aufsicht zum Erlernen der Technik dokumentiert werden müssen und die Anwendung jährlich mindestens 3-mal wiederholt werden muss.

Notfallkoniotomie

Die chirurgische Sicherung des Atemwegs steht am Ende des Algorithmus zum Atemwegsmanagement als „Ultima Ratio“, kann aber auch primär zum Einsatz kommen, beispielsweise bei einer

Obstruktion der oberen Atemwege oder der Glottis. Hierbei wird das Ligamentum cricothyroideum durchtrennt und eine Kanüle oder ein Tubus unterhalb der Glottisebene in den Atemweg eingeführt. Es wird unterschieden zwischen drei prinzipiellen Techniken:

1. **„Catheter-over-needle technique“.** Hierbei erfolgt die Kanülierung des Atemweges analog der Anlage einer Venenverweilkanüle: Auf einem Stahlmandrin ist eine Kanüle mit einem Innendurchmesser zwischen 1,5-6,0 mm aufgezogen. Nach erfolgreicher Passage des Ligamentum cricothyroideum wird der Mandrin entfernt und die Kanüle verbleibt in der Trachea.
2. **„Seldinger-Technik“.** Mit einer Kanüle wird durch das Ligamentum cricothyroideum der Atemweg punktiert, ein Führungsdraht eingelegt und über diesen eine Trachealkanüle eingebracht.
3. **„Chirurgische Koniotomie“.** Mittels Skalpell wird das Ligamentum cricothyroideum durchtrennt, Schild- und Ringknorpel z.B. mittels eines Spekulum auseinandergedrängt und eine Kanüle oder ein dünner Endotrachealtubus in den Atemweg eingelegt. Im Gegensatz zu den beiden anderen Techniken erfordert die chirurgische Koniotomie keine speziellen, vorgefertigten Sets, auch wenn diese seit kurzem kommerziell erhältlich sind.

Zahlreiche Untersuchungen an Patienten [3], menschlichen Leichen [29,43,80] und Tiermodellen [31,46,55,56,58] liefern sehr widersprüchliche Ergebnisse zur erfolgreichen Durchführung einer Koniotomie. Sowohl die persönliche Erfahrung der Probanden im Atemwegsmanagement als auch der generelle medizinische Ausbildungsstand (Arzt, Pflegekraft, Medizinstudent oder Paramedic) sind sehr inhomogen und die Fallzahlen oft sehr niedrig, so dass sich eine evidenzbasierte Empfehlung zur optimalen Technik der Koniotomie zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht ableiten lässt. Bezüglich der Anforderungen zur Ausbildung in der Koniotomie existieren gegenwärtig keine Daten, ebenso wenig zu einer Lernkurve. In einer einzigen Arbeit wurden die Trainingsmodelle (Schweinelarynx und -trachea versus Koniotomietrainingsphantom) subjektiv von den Probanden evaluiert mit eindeutiger Bevorzugung des Tiermodells [17]. Die Re-Evaluation praxisorientierter Ausbildungskonzepte für die Notfallkoniotomie am menschlichen Leichenpräparat zeigte, dass ein praxisorientiertes Training die Bereitschaft und das persönliche Zutrauen hinsichtlich der Durchführung dieser invasiven Notfalltechnik erhöht [6]. Generell ist aber auf die sehr hohe Komplikationsrate bei notfallmäßigen Koniotomien von über 50% hinzuweisen [5]. Die größte Komplikation bei Anwendung der Notfallkoniotomie ist das Versagen dieser Technik und damit das Unvermögen, eine adäquate Oxygenierung herzustellen. Dies kann letztendlich zu einer schweren Hypoxie führen und den Tod des Patienten bedeuten.

Maßnahmen nach der Atemwegssicherung

Nach Sicherung der Atemwege muss unmittelbar die Lagekontrolle des Endotrachealtubus oder des EGA erfolgen. Hierzu wird bei allen Patienten obligat neben der Auskultation auch die CO₂-Messung angewendet. Nach der aktuellen DIN ISO EN 1789:2007 muss auf allen Krankenkraftwagentypen C eine Kapnometrie (nach EN ISO 2147) mitgeführt werden [1]. Als Typ

C „Rettungswagen“ werden Krankenkraftwagen definiert, die für den Transport, die erweiterte Behandlung und Überwachung von Patienten konstruiert und ausgerüstet sind. Da die expiratorische CO₂-Messung im Rahmen der Reanimation falsch negativ sein kann (fehlende CO₂-Kurve bei korrekter Endotrachealtubus- oder EGA-Lage bei niedrigem Herzzeitvolumen), sollte hier die Lage bei fehlendem CO₂-Signal mit einem zweiten zuverlässigen Verfahren verifiziert werden (z.B. direkte Laryngoskopie, „Self-Inflating-Bulb“ [86] oder Thoraximpedanzmessung [51]).

Die expiratorische CO₂-Messung sollte anschließend kontinuierlich mittels einer Kapnographie während der weiteren Versorgung des Patienten und des Transports erfolgen [36]. Tabelle 8 gibt eine Übersicht über die diagnostischen Möglichkeiten, die sich aus der kontinuierlichen Kapnographie ergeben können. Neuere Systeme ermöglichen auch die Anwendung der Kapnographie des nicht intubierten Patienten. Diese Systeme sollten bei Patienten mit neurologischem Defizit, eingeschränkter pulmonaler Funktion oder nach Analgosedierung eingesetzt werden [95]. Es ist eine Normoventilation anzustreben und die Beatmung sollte so angepasst werden, dass der endtidale pCO₂-Wert 35-40 mmHg entspricht. Zu beachten ist jedoch, dass

Tabelle 8

Übersicht der Einsatzmöglichkeiten der präklinischen kontinuierlichen Kapnographie, aus [95].

- Ausschluss der ösophagealen Lage des Endotrachealtubus
- Erkennung von Fehllagen extraglottischer Atemwege
- Erkennung der Dislokation des Atemweges während des Transportes
- Erkennung von Hypo- und Hyperventilation bei spontanatmenden und kontrolliert beatmeten Patienten
- Unmittelbare Einschätzung und Therapiekontrolle von akuten und chronischen Lungenerkrankungen
- Therapieüberwachung bei der nicht-invasiven Beatmung
- Korrelation mit der kardialen Pump-leistung
- Qualitätsparameter der kardiopulmonalen Reanimation

das petCO₂ beispielsweise im Rahmen von schweren Thoraxverletzungen, Hypotensionen und hohem Blutverlust vom arteriellen pCO₂ deutlich abweichen kann [39,68,75]. Der gemessene Wert ist daher im klinischen Kontext zu interpretieren. Auch bei Patienten mit Schädelhirntrauma werden normale Beatmungsfrequenzen mit einem endtidalen CO₂ von 35-40 mmHg empfohlen.

Neben der CO₂-Messung ist bei jedem beatmeten Patienten die kontinuierliche Überwachung der Oxygenierung mit Hilfe der Pulsoxymetrie (SpO₂) obligat. Ziel der Pulsoxymetrie ist die Erkennung und Therapieüberwachung einer Hypoxämie (SpO₂ <90%). Entsprechend sollten bei Abfall der SpO₂ eine Überprüfung der Beatmungssituation sowie eine klinische Untersuchung des Patienten erfolgen. Je nach Ursache muss die inspiratorische Sauerstoffkonzentration angepasst werden. Im Rahmen spezieller Situationen, wie beispielsweise dem Tauchunfall, ist eine möglichst hohe inspiratorische Sauerstoffkonzentration anzustreben [70], in anderen Situationen, wie z.B. in der Postreanimationsphase, sollten SpO₂-Werte von 94-98% angestrebt und eine Hyperoxämie vermieden werden, da diese das klinische Outcome gefährden kann [21].

Der maschinellen Beatmung sollte prinzipiell im Vergleich zur manuellen Beatmung per Beatmungsbeutel der Vorrang gegeben werden. Die manuelle Beatmung führt oftmals zu hohen Tidalvolumina und viel zu hohen Beatmungsfrequenzen [26]. Entsprechend wird auch in den aktuellen Handlungsempfehlungen des European Resuscitation Council die Verwendung von Beatmungsgeräten im Rahmen der Reanimation empfohlen [21]. Dabei sollen ein Tidalvolumen von 6-7 ml/kgKG und eine Beatmungsfrequenz von 10/min angestrebt werden. Eine Normoventilation mit möglichst lungenprotektiver Beatmung sollte jedoch für jeden präklinisch beatmeten Patienten angestrebt werden. Entsprechend soll zur Vermeidung von Barotraumen ein Plateaudruck über 30 cmH₂O vermieden werden. Daher sind Beatmungsgeräte zu verwenden, bei denen mindestens eine

Drucklimitierung eingestellt werden kann und das Tidalvolumen (alternativ auch das Atemminutenvolumen) abgelesen werden kann. Die initiale Beatmungsfrequenz sollte bei Erwachsenen 10-15/min betragen und nach gemessenem pCO₂ angepasst werden. Auch bei pädiatrischen Notfällen sollte zur Beatmung prinzipiell ein Beatmungsgerät verwendet und auf manuelle Beatmung per Beatmungsbeutel verzichtet werden [25]. Die Beatmungsfrequenzen richten sich nach dem Alter des Kindes und sollten 12-20/min betragen. Auch hier ist eine Hyperventilation zu vermeiden und eine Normoventilation anzustreben.

Die Applikation eines positiven endexpiratorischen Drucks (PEEP) von 5 cmH₂O sollte bei allen endotracheal intubierten Patienten erfolgen. Für bestimmte Krankheitsbilder (z.B. akutes Lungenödem, Ertrinkungsunfall) werden zur verbesserten Oxygenierung höhere PEEP-Werte empfohlen. Ebenfalls kann ein erhöhter PEEP nach korrekter Platzierung eines EGA mit gastral Drainagemöglichkeit appliziert werden. Bei Verwendung eines EGA ohne Drainagemöglichkeit sollte auf einen PEEP jedoch verzichtet werden.

Besonderheiten bei Kindern

Kindernotfälle machen in Deutschland etwa 3-10% aller Notarzteinsätze aus [28,34,79]. Die große Mehrzahl wird von nichtspezialisierten Notarztteams versorgt, welche häufig nur wenig Erfahrung mit kritisch kranken oder verletzten Kindern haben. Dabei spielen bei Kindernotfällen Störungen im Bereich von Atemwegen und der Atmung eine besonders große Rolle [9,28].

Die ETI gilt auch bei Kindern als Goldstandard der definitiven Atemwegssicherung [9]. Allerdings ist die ETI gerade bei Kindern eine präklinisch relativ selten durchgeführte Maßnahme, so dass die dazu notwendige Expertise auf fortwährender innerklinischer Übung beruhen muss [27,33]. Somit stellt sich nicht nur die Frage ob, sondern vielmehr wann, wo und durch wen die ETI eines kritisch kranken oder verletzten Kindes am besten durchgeführt werden soll.

EGA können auch in der pädiatrischen Notfallmedizin eine hilfreiche Alternative sein. Hier ist insbesondere die Larynxmaske gut untersucht [10,72] und innerklinisch in geringerem Maße auch der Larynx-tubus [78]. Eine besondere Bedeutung kommt der optimierten Maskenbeatmung zu, die sowohl die primäre Maßnahme zur Freihaltung der Atemwege bzw. zur Beatmung eines respiratorisch kompromittierten Kindes darstellt als auch eine effektive Rückzugsmethode bei misslungener ETI sein kann [106,110]. Dabei ist in Analogie zur ETI beim Erwachsenen der Ausbildungs- und Übungsbedarf zur sicheren Anwendung der Maskenbeatmung bzw. der Einlage eines EGA vermutlich geringer [2,99]

Es gibt nach wie vor keine evidenzbasierten Empfehlungen, in der die situations-, patienten- und anwenderbezogenen Kriterien zur präklinischen Intubation von Kindern definiert sind [53]. Unter Zugrundlegung der Daten aus europäischen notärztlichen Studien ist eine präklinische ETI von kritisch kranken oder verletzten Kindern grundsätzlich sinnvoll, wenn 1. Atemwege und/oder Atmung maßgeblich beeinträchtigt oder bedroht sind, 2. Modus und Dauer des Transports eine frühzeitige definitive Atemwegssicherung nahelegen (z.B. in der Luftrettung) und 3. der Notarzt ausreichend versiert und erfahren ist im erweiterten Atemwegsmanagement bei Kindern inkl. der zügigen und sicheren Durchführung der ETI [9,28].

Reduzierte Sauerstoffreserven und erhöhter Sauerstoffverbrauch führen bei kleinen Kindern mit Atemwegs- und Atemproblemen rasant zu profunder Hypoxämie mit konsekutiver Myokarddepression und Bradykardie. Entsprechend kommt der adäquaten Ventilation mit Hilfe einer Gesichtsmaske oberste Priorität zu, während das Management einer schwierigen Intubation dahinter zurücktritt.

Bezüglich potentieller Schwierigkeiten mit dem kindlichen Atemweg gibt es im Wesentlichen drei Entitäten:

1. Die unerwartet schwierige Maskenbeatmung aufgrund anatomischer oder funktioneller Atemwegsobstruktion, 2.

die unerwartet schwierige Intubation und 3. der erwartet schwierige Atemweg. Der echte, anatomisch bedingte, unerwartet schwierige Atemweg bei Kindern ist selten, während funktionelle Atemwegsobstruktionen viel häufiger zu Zwischenfällen führen. Die aktuelle Handlungsempfehlung des Wissenschaftlichen Arbeitskreises Kinderanästhesie zum unerwartet schwierigen Atemweg in der Kinderanästhesie empfiehlt folgendes Vorgehen, welches im wesentlichen auch im notfallmedizinischen Kontext Anwendung finden kann [111].

Ad 1. Maßnahmen bei unerwartet schwieriger Maskenbeatmung: Behebung einer anatomischen und/oder funktionellen Atemwegsobstruktion (altersangepasste Kopflagerung, beidhändiger Esmarch-Maskengriff und Einlage eines passenden Guedel-Tubus, ggf. Narkosevertiefung bzw. Muskelrelaxierung), ggf. direkte Laryngoskopie mit Inspektion des Hypopharynx und der Glottis zum Ausschluss oder ggf. Entfernung eines Fremdkörpers (mit Magill-Zange) bzw. einer massiven Aspiration (anschließend möglichst ETI), ggf. Einführen einer Larynxmaske.

Ad 2. Maßnahmen bei unerwartet schwieriger Intubation: Sicherstellung einer adäquaten Oxygenierung mit Hilfe der Maskenbeatmung (Notfall- und Rückzugstechnik), Optimierung der laryngoskopischen Sicht gemäß den Maßnahmen aus Tabelle 5 oder ggf. Einlage einer Larynxmaske. Gerade bei Kindern sollte wegen ihrer besonders vulnerablen Atemwege die Anzahl von Intubationsversuchen auf zwei begrenzt werden. Die Koniotomie gilt zwar prinzipiell auch bei Kindern als „Ultima Ratio“ bei einer „Can’t intubate, can’t ventilate“-Situation, sie ist jedoch zumindest bei Säuglingen und Kleinkindern aufgrund der schwierigen Anatomie und aufgrund fehlender, passender Koniotomiesets wenig erfolgversprechend [115].

Ad 3. Maßnahmen bei erwartet schwierigem Atemweg: Bei anamnestischen oder klinischen Hinweisen auf das Vorliegen eines schwierigen Atemwegs (z.B. bei Kindern mit kraniofazialen Dysmorphien oder Epiglottitis) ist äußerste

Vorsicht geboten. Jegliche präklinische Manipulation im Bereich der Atemwege sollte möglichst unterlassen oder, falls unumgänglich, mit größtem Bedacht durchgeführt werden. Im Zweifelsfalle ist es ratsam, sich auf nichtinvasive Maßnahmen (Sauerstoffmaske mit hohem Fluss und Reservoir, optimierte Maskenbeatmung) zu beschränken und einen zügigen Kliniktransport mit angemessener Voranmeldung anzustreben [111].

Eine regelmäßig auftretende Situation ist die persistierende oder fortschreitende Hypoxämie bei einem Kind mit liegendem Endotrachealtubus. Dabei kann eine strukturierte Ursachensuche gemäß des Akronyms „DOPES“ sehr hilfreich sein (Tab. 9).

Tabelle 9

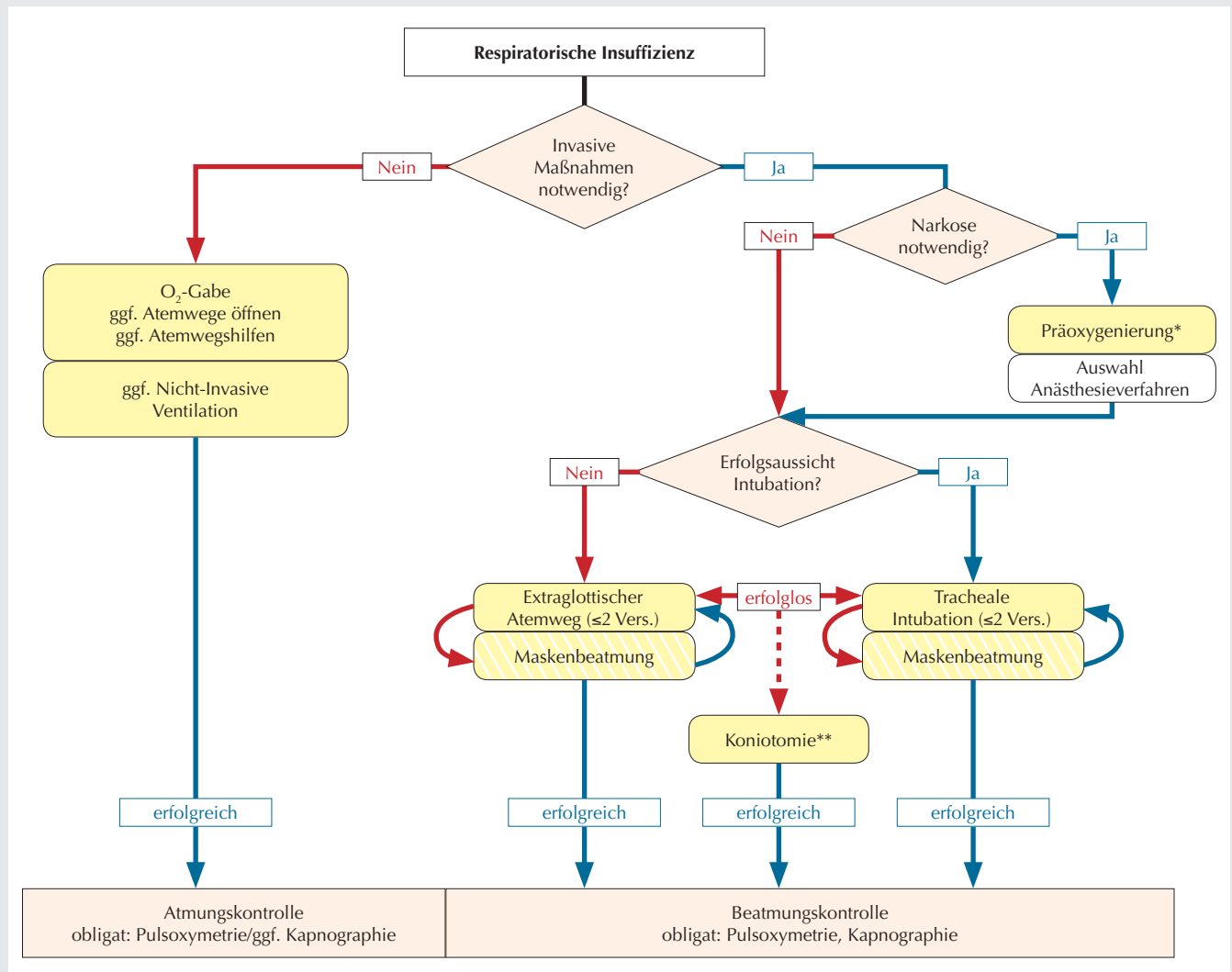
„DOPES“ – Akronym zur strukturierten Ursachensuche bei persistierender oder fortschreitender Hypoxämie bei liegendem Endotrachealtubus [9].

D	D islokation des Tubus (endobronchial, ösophageal, pharyngeal)
O	O bstruktion des Tubus (Sekret, Abknicken, Kompression, Anlage an der Trachealwand)
P	P neumothorax (traumatisch, spontan, forcierte Beatmung) und andere pulmonale Störungen (z.B. Bronchospasmus, Lungenödem, Lungen-/Luftembolie)
E	E quipmentversagen (Beatmungsgerät, Sauerstoffzufuhr, Diskonnektion, Abklemmen von Schläuchen, Verkleben oder Blockierung von Ventilen)
S	S tomach (geblähter Magen, Atelektasen) und S pezielles (Rechts-Links-Shunt, pulmonalerterielle Hypertonie)

Algorithmus zum Vorgehen bei respiratorischer Insuffizienz

Abbildung 1 fasst die o.g. Empfehlungen graphisch anhand eines Algorithmus zusammen. Dieser Algorithmus ist bewusst vereinfacht dargestellt, um einen hohen Repetitionswert zu gewährleisten. Der Algorithmus ist in den Kontext mit den Erläuterungen dieser Leitlinie zu setzen. Von maßgeblicher Bedeutung sind die „Entscheidungswege“ (rosa Rauten):

Abbildung 1



Algorithmus zum präklinischen Atemwegsmanagement.

*: bei ausreichender Spontanatmung; **: als letzte Notfallmaßnahme

- 1. „Invasive Maßnahmen notwendig?“:** An dieser Stelle muss kritisch hinterfragt werden, ob eine invasive Atemwegssicherung notwendig ist. Die Entscheidung ist situativ abhängig vom Zustand des Patienten (Grad der respiratorischen Insuffizienz), der Entfernung zum nächsten geeigneten Krankenhaus und der individuellen klinischen Erfahrung des Notfallteams.
- 2. „Narkose notwendig?“:** Die Entscheidung ist maßgeblich vom neurologischen Status des Patienten

abhängig. Ziel ist die Verbesserung der Atemwegssicherungs- und Ventilationsmaßnahmen.

- 3. „Erfolgsaussicht Intubation?“:** die Entscheidung ist zum einen von der Kompetenz des Durchführenden und zum anderen von den Umgebungsbedingungen abhängig (z.B. Zugangsmöglichkeit zum Patienten). Sollte der ETI-Erfolg als eher unwahrscheinlich eingestuft werden, so sollte auch primär auf einen EGA ausgewichen werden.

Interessenkonflikt

A. Timmermann:

Kein aktueller Interessenkonflikt.

C. Byhahn:

Die Firmen Karl Storz GmbH & Co. KG sowie VBM Medizintechnik GmbH unterstützen die Klinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin und Schmerztherapie an der J.W. Goethe-Universität Frankfurt am Main durch die unentgeltliche Bereitstellung von Material und medizinischen Geräten für klinische Studien. Ein Interessenkonflikt bei der Erstellung der vorliegenden Leitlinie resultiert hieraus nicht.

V. Wenzel:

Kein aktueller Interessenkonflikt.

C. Eich:

Kein aktueller Interessenkonflikt.

T. Piepho:

Die Firmen Ambu GmbH, Karl-Storz GmbH, Aircraft Medical Ltd., The Surgical Company GmbH, VBM Medizintechnik GmbH und Verathon Medical stellen bzw. stellten der Klinik für Anästhesiologie, Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz, diverse Instrumente und Systeme für die Ausbildung, klinische Anwendung und für Studien unentgeltlich zur Verfügung.

M. Bernhard:

Reisekosten und Vortragshonorare von B. Braun Melsungen und CSL Behring GmbH. Es ergibt sich kein Interessenkonflikt mit der vorliegenden Handlungsempfehlung.

V. Dörjes:

Mitglied des Beratungsgremiums der Firma Karl Storz GmbH & Co.KG und Unterstützung von der Firma Karl Storz für Studien zur Thematik „Atemwegsmanagement“.

Literatur

1. Rettungsdienstfahrzeuge und deren Ausrüstung - Krankenkraftwagen; Deutsche Fassung. Euronorm 1789 2007+A1:2010:27
2. The use of the laryngeal mask airway by nurses during cardiopulmonary resuscitation. Results of a multicentre trial. *Anaesthesia* 1994;49:3-7
3. Aneeshkumar MK, Jones TM, Birchall MA: A new indicator-guided percutaneous emergency cricothyrotomy device: in vivo study in man. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2009;266:105-109
4. Aufderheide TP, Sigurdsson G, Pirrallo RG, Yannopoulos D, McKnite S, von Briesen C, et al: Hyperventilation-induced hypotension during cardiopulmonary resuscitation. *Circulation* 2004;109:1960-65
5. Bair AE, Panacek EA, Wisner DH, Bales R, Sakles JC: Cricothyrotomy: a 5-year experience at one institution. *J Emerg Med* 2003;24:151-56
6. Bernhard M, Friedmann C, Aul AH, M., Mutzbauer TS, Doll S, Vökl A, Gries A: Praxisorientiertes Ausbildungskonzept für invasive Notfalltechniken. *Langfristige Wirkung bei Notärzten. Notfall Rettungsmed* 2011;14:475-82
7. Bernhard M, Matthes G, Kanz KG, Waydhas C, Fischbacher M, Fischer M, et al: Notfallnarkose, Atemwegsmanagement und Beatmung beim Polytrauma : Hintergrund und Kernaussagen der interdisziplinären S3-Leitlinie Polytrauma. *Anaesthesist* 2011; Nov 1
8. Bernhard M, Mohr S, Weigand MA, Martin E, Walther A: Developing the skill of endotracheal intubation: implication for emergency medicine. *Acta Anaesthesiol Scand* 2012;56:164-171
9. Biarent D, Bingham R, Eich C, Lopez-Herce J, Maconochie I, Rodriguez-Nunez A, et al: European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2010 Section 6. Paediatric life support. *Resuscitation* 2010;81:1364-88
10. Blevin AE, McDouall SF, Rechner JA, Saunders TA, Barber VS, Young JD, et al: A comparison of the laryngeal mask airway with the facemask and oropharyngeal airway for manual ventilation by first responders in children. *Anaesthesia* 2009;64:1312-16
11. Boedeker BH, Bernhagen MA, Miller DJ, Miljkovic N, Kuper GM, Murray WB: Field use of the STORZ C-MAC video laryngoscope in intubation training with the Nebraska National Air Guard. *Stud Health Technol Inform* 2011;163:80-82
12. Boet S, Duttchen K, Chan J, Chan AW, Morrish W, Ferland A, et al: Cricoid Pressure Provides Incomplete Esophageal Occlusion Associated with Lateral Deviation: a Magnetic Resonance Imaging Study. *J Emerg Med* 2011; Jun 11
13. Brimacombe J: Difficult airway. In: Brimacombe J (ed.): *Laryngeal Mask Anesthesia*. Philadelphia: Saunders; 2005:305-356
14. Cavus E, Callies A, Doerges V, Heller G, Merz S, Rosch P, et al: The C-MAC videolaryngoscope for prehospital emergency intubation: a prospective, multicentre, observational study. *Emerg Med J* 2011;28:650-53
15. Cavus E, Thee C, Moeller T, Kieckhaefer J, Doerges V, Wagner K: A randomised, controlled crossover comparison of the C-MAC videolaryngoscope with direct laryngoscopy in 150 patients during routine induction of anaesthesia. *BMC Anesthesiol* 2011;11:6
16. Chenaitia H, Soullehet V, Massa H, Bessereau J, Bourenne J, Michelet P, et al: The Easytube for airway management in prehospital emergency medicine. *Resuscitation* 2010;81:1516-20
17. Cho J, Kang GH, Kim EC, Oh YM, Choi HJ, Im TH, et al: Comparison of manikin versus porcine models in cricothyrotomy procedure training. *Emerg Med J* 2008;25:732-34
18. Cook TM, Howes B: Supraglottic airway devices: recent advances. *Contin Educ Anaesth Crit Care Pain* 2011;2:56-61
19. Davis DP: Early ventilation in traumatic brain injury. *Resuscitation* 2008;76:333-40
20. Davis DP, Peay J, Sise MJ, Kennedy F, Simon F, Tominaga G, et al: Prehospital airway and ventilation management: a trauma score and injury severity score-based analysis. *J Trauma* 2010;69:294-301
21. Deakin CD, Morrison LJ, Morley PT, Callaway CW, Kerber RE, Kronick SL, et al: Part 8: Advanced life support: 2010 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science with Treatment Recommendations. *Resuscitation* 2010;81 Suppl 1:e93-e174
22. Deakin CD, Murphy D, Couzins M, Mason S: Does an advanced life support course give non-anaesthetists adequate skills to manage an airway? *Resuscitation* 2010;81:539-43
23. Dimitriou V, Voyagis GS, Grosomanidis V, Brimacombe J: Feasibility of flexible lightwand-guided tracheal intubation with the intubating laryngeal mask during out-of-hospital cardiopulmonary resuscitation by an emergency physician. *Eur J Anaesthesiol* 2006;23:76-79
24. Dirks B: (2001) Sicherung der Atemwege in der Notfallmedizin. In: Krier C, Georgi R (Hrsg): *Airway Management - Die Sicherung der Atemwege*. Stuttgart: Thieme-Verlag; 2001:297-303
25. Dockery WK, Futterman C, Keller SR, Sheridan MJ, Akl BF: A comparison of manual and mechanical ventilation during pediatric transport. *Crit Care Med* 1999;27:802-6
26. Doerges V, Sauer C, Ocker H, Wenzel V, Schmucker P: Smaller tidal volumes during cardiopulmonary resuscitation: comparison of adult and paediatric self-inflatable bags with three different ventilatory devices. *Resuscitation* 1999;43:31-37
27. Eich C, Roessler M, Nemeth M, Russo SG, Heuer JF, Timmermann A: Characteristics and outcome of prehospital paediatric tracheal intubation attended by anaesthesia-trained emergency physicians. *Resuscitation* 2009;80:1371-77
28. Eich C, Russo SG, Heuer JF, Timmermann A, Gentkow U, Quintel M, et al: Characteristics of out-of-hospital paediatric emergencies attended by ambulance- and helicopter-based

- emergency physicians. *Resuscitation* 2009;80:888-92
29. Eisenburger P, Laczika K, List M, Wilfing A, Losert H, Hofbauer R, et al: Comparison of conventional surgical versus Seldinger technique emergency cricothyrotomy performed by inexperienced clinicians. *Anesthesiology* 2000;92:687-90
 30. Ellis DY, Harris T, Zideman D: Cricoid pressure in emergency department rapid sequence tracheal intubations: a risk-benefit analysis. *Ann Emerg Med* 2007;50:653-65
 31. Fikkers BG, van Vugt S, van der Hoeven JG, van den Hoogen FJ, Marres HA: Emergency cricothyrotomy: a randomised crossover trial comparing the wire-guided and catheter-over-needle techniques. *Anaesthesia* 2004;59:1008-11
 32. Gabrielli A, Wenzel V, Layon AJ, von Goedecke A, Verne NG, Idris AH: Lower esophageal sphincter pressure measurement during cardiac arrest in humans: potential implications for ventilation of the unprotected airway. *Anesthesiology* 2005;103:897-99
 33. Gries A, Zink W, Bernhard M, Messelken M, Schlechtriemen T: Realistische Bewertung des Notarztdienstes in Deutschland. *Anaesthesist* 2006;55:1080-86
 34. Helm M, Biehn G, Lampl L, Bernhard M: Pädiatrischer Notfallpatient im Luftrettungsdienst. Einsatzrealität unter besonderer Berücksichtigung "invasiver" Massnahmen. *Anaesthesist* 2010;59:896-903
 35. Helm M, Hossfeld B, Schäfer S, Hoitz J, Lampl L: Factors influencing emergency intubation in the pre-hospital setting – a multicentre study in the German Helicopter Emergency Medical Service. *Br J Anaesth* 2006;96:67-71
 36. Helm M, Schuster R, Hauke J, Lampl L: Tight control of prehospital ventilation by capnography in major trauma victims. *Br J Anaesth* 2003;90:327-32
 37. Herff H, Paal P, von Goedecke A, Lindner KH, Keller C, Wenzel V: Fatal errors in nitrous oxide delivery. *Anaesthesia* 2007;62:1202-06
 38. Heuer JF, Barwing J, Eich C, Quintel M, Crozier TA, Roessler M: Initial ventilation through laryngeal tube instead of face mask in out-of-hospital cardiopulmonary arrest is effective and safe. *Eur J Emerg Med* 2010;17:10-15
 39. Hiller J, Silvers A, McIlroy DR, Niggemeyer L, White S: A retrospective observational study examining the admission arterial to end-tidal carbon dioxide gradient in intubated major trauma patients. *Anaesth Intensive Care* 2010;38:302-06
 40. Hirabayashi Y, Fujita A, Seo N, Sugimoto H: Cervical spine movement during laryngoscopy using the Airway Scope compared with the Macintosh laryngoscope. *Anaesthesia* 2007;62:1050-55
 41. Hirabayashi Y, Fujita A, Seo N, Sugimoto H: Distortion of anterior airway anatomy during laryngoscopy with the GlideScope videolaryngoscope. *J Anesth* 2010;24:366-72
 42. Hofstetter C, Scheller B, Flondor M, Gerig HJ, Heidegger T, Brambrink A, et al: [Videolaryngoscopy versus direct laryngoscopy for elective endotracheal intubation]. *Anaesthesist* 2006;55:535-40
 43. Johnson DR, Dunlap A, McFeeley P, Gaffney J, Busick B: Cricothyrotomy performed by prehospital personnel: a comparison of two techniques in a human cadaver model. *Am J Emerg Med* 1993;11:207-09
 44. Johnston BD, Seitz SR, Wang HE: Limited opportunities for paramedic student endotracheal intubation training in the operating room. *Acad Emerg Med* 2006;13:1051-55
 45. Katz SH, Falk JL: Misplaced endotracheal tubes by paramedics in an urban emergency medical services system. *Ann Emerg Med* 2001;37:32-37
 46. Keane MF, Brinsfield KH, Dyer KS, Roy S, White D: A laboratory comparison of emergency percutaneous and surgical cricothyrotomy by prehospital personnel. *Prehosp Emerg Care* 2004;8:424-26
 47. Kette F, Reffo I, Giordani G, Buzzi F, Borean V, Cimarosti R, Codiglia A, et al: The use of laryngeal tube by nurses in out-of-hospital emergencies: preliminary experience. *Resuscitation* 2005;66:21-25
 48. Kokkinis K: The use of the laryngeal mask airway in CPR. *Resuscitation* 1994;27:9-12
 49. Komatsu R, Kasuya Y, Yogo H, Sessler DI, Mascha E, Yang D, Ozaki M: Learning curves for bag-and-mask ventilation and orotracheal intubation: an application of the cumulative sum method. *Anesthesiology* 2010;112:1525-31
 50. Konrad C, Schupfer G, Wietlisbach M, Gerber H: Learning manual skills in anesthesiology: Is there a recommended number of cases for anesthetic procedures? *Anesth Analg* 1998;86:635-39
 51. Kramer-Johansen J, Eilevstjonn J, Olasveengen TM, Tomlinson AE, Dorph E, Steen PA: Transthoracic impedance changes as a tool to detect malpositioned tracheal tubes. *Resuscitation* 2008;76:11-16
 52. Lawes EG, Baskett PJ: Pulmonary aspiration during unsuccessful cardiopulmonary resuscitation. *Intensive Care Med* 1987;13:379-82
 53. Lecky F, Bryden D, Little R, Tong N, Moulton C: Emergency intubation for acutely ill and injured patients. *Cochrane Database Syst Rev* CD001429 2008
 54. Lefrancois DP, Dufour DG: Use of the esophageal tracheal combitube by basic emergency medical technicians. *Resuscitation* 2002;52:77-83
 55. Mariappa V, Stachowski E, Balik M, Clark P, Nayyar V: Cricothyroidotomy: comparison of three different techniques on a porcine airway. *Anaesth Intensive Care* 2009;37:961-67
 56. Mattinger C, Petroianu G, Maleck W, Bergler W, Hormann K: [Emergency tracheotomy in Gottingen minipigs. Comparison: standard technique versus Nu-Trake cricothyrotomy set]. *Laryngorhinootologie* 2000;79:595-98
 57. Mertzlufft F, Zander R: Optimale O₂-Applikation über den naso-oralen Weg. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 1996;31: 381-85
 58. Metterlein T, Frommer M, Ginzkey C, Becher J, Schuster F, Roewer N, Kranke P: A randomized trial comparing two cuffed emergency cricothyrotomy devices using a wire-guided and a catheter-over-needle technique. *J Emerg Med* 2011;41:326-32
 59. Mitterlechner T, Maisch S, Wetsch WA, Herff H, Paal P, Stadlbauer KH, et al: A suction laryngoscope facilitates intubation for physicians with occasional emergency medical service experience – a manikin study with severe simulated airway haemorrhage. *Resuscitation* 2009;80:693-95
 60. Mort TC: Emergency tracheal intubation: complications associated with repeated laryngoscopic attempts. *Anesth Analg* 2004;99:607-13
 61. Mort TC: Preoxygenation in critically ill patients requiring emergency tracheal intubation. *Crit Care Med* 2005;33:2672-75
 62. Mort TC, Waberski BH, Clive J: Extending the preoxygenation period from 4 to 8 mins in critically ill patients undergoing emergency intubation. *Crit Care Med* 2009;37:68-71

63. Mulcaster JT, Mills J, Hung OR, MacQuarrie K, Law JA, Pytka S, Imrie D, et al: Laryngoscopic intubation: learning and performance. *Anesthesiology* 2003;98:23-27
64. Murdoch H, Cook TM: Effective ventilation during CPR via an LMA-Supreme. *Anaesthesia* 2008;63:326
65. Noppens RR, Mobus S, Heid F, Schmidtman I, Werner C, Piepho T: Evaluation of the McGrath Series 5 videolaryngoscopy after failed direct laryngoscopy. *Anaesthesia* 2010;65:716-20
66. Ochs M, Vilke GM, Chan TC, Moats T, Buchanan J: Successful prehospital airway management by EMT-Ds using the combitube. *Prehosp Emerg Care* 2000;4:333-37
67. Paal P, Herff H, Mitterlechner T, von Goedecke A, Brugger H, Lindner KH, et al: Anaesthesia in prehospital emergencies and in the emergency room. *Resuscitation* 2010;81:148-54
68. Paal P, Schmid S, Herff H, von Goedecke A, Mitterlechner T, Wenzel V: Excessive stomach inflation causing gut ischaemia. *Resuscitation* 2009;80:142
69. Pehbock D, Wenzel V, Voelckel W, Jonsson K, Herff H, Mittlbock M, et al: Effects of preoxygenation on desaturation time during hemorrhagic shock in pigs. *Anesthesiology* 2010;113:593-99
70. Piepho T, Ehrmann U, Werner C, Muth CM: Sauerstofftherapie nach Tauchunfall. *Anaesthesist* 2007;56:44-52
71. Piepho T, Fortmueller K, Heid FM, Schmidtman I, Werner C, Noppens RR: Performance of the C-MAC video laryngoscope in patients after a limited glottic view using Macintosh laryngoscopy. *Anaesthesia* 2011;66: 1101-05
72. Rechner JA, Loach VJ, Ali MT, Barber VS, Young JD, Mason DG: A comparison of the laryngeal mask airway with facemask and oropharyngeal airway for manual ventilation by critical care nurses in children. *Anaesthesia* 2007;62:790-95
73. Ruetzler K, Gruber C, Nabecker S, Wohlfarth P, Priemayr A, Frass M, et al: Hands-off time during insertion of six airway devices during cardiopulmonary resuscitation: a randomised manikin trial. *Resuscitation* 2011;82:1060-3
74. Ruetzler K, Roessler B, Potura L, Priemayr A, Robak O, Schuster E, Frass M, et al: Performance and skill retention of intubation by paramedics using seven different airway devices – a manikin study. *Resuscitation* 2011;82:593-97
75. Russell GB, Graybeal JM: Reliability of the arterial to end-tidal carbon dioxide gradient in mechanically ventilated patients with multisystem trauma. *J Trauma* 1994;36:317-22
76. Schalk R, Byhahn C, Fausel F, Egner A, Oberndorfer D, Walcher F, et al: Out-of-hospital airway management by paramedics and emergency physicians using laryngeal tubes. *Resuscitation* 2010;81:323-26
77. Schalk R, Meininger D, Ruesseler M, Oberndorfer D, Walcher F, Zacharowski K, et al: Emergency airway management in trauma patients using laryngeal tube suction. *Prehosp Emerg Care* 2011;15:347-50
78. Scheller B, Schalk R, Byhahn C, Peter N, L'Allemand N, Kessler P, et al: Laryngeal tube suction II for difficult airway management in neonates and small infants. *Resuscitation* 2009;80:805-10
79. Schlechtriemen T, Masson R, Burghofer K, Lackner CK, Altemeyer KH: Pädiatrische Notfälle in der präklinischen Notfallmedizin: Schwerpunkte des Einsatzspektrums im bodengebundenen Rettungsdienst und in der Luftrettung. *Anaesthesist* 2006;55:255-62
80. Schober P, Hegemann MC, Schwarte LA, Loer SA, Noetges P: Emergency cricothyrotomy—a comparative study of different techniques in human cadavers. *Resuscitation* 2009;80:204-9
81. Schonhofer B, Kuhlen R, Neumann P, Westhoff M, Berndt C, Sitter H: Nichtinvasive Beatmung als Therapie der akuten respiratorischen Insuffizienz. Das Wichtigste der neuen S3-Leitlinie. *Anaesthesist* 2008;57:1091-102
82. Silvestri S, Ralls GA, Krauss B, Thundiyil J, Rothrock SG, Senn A, et al: The effectiveness of out-of-hospital use of continuous end-tidal carbon dioxide monitoring on the rate of unrecognized misplaced intubation within a regional emergency medical services system. *Ann Emerg Med* 2005;45:497-503
83. Staudinger T, Brugger S, Watschinger B, Roggla M, Dielacher C, Lobl T, et al: Emergency intubation with the Combitube: comparison with the endotracheal airway. *Ann Emerg Med* 1993;22:1573-75
84. Steinmann D, Priebe HJ: Krikoiddruck. *Anaesthesist* 2009;58:695-707
85. Stone BJ, Chantler PJ, Baskett PJ: The incidence of regurgitation during cardiopulmonary resuscitation: a comparison between the bag valve mask and laryngeal mask airway. *Resuscitation* 1998;38:3-6
86. Tanigawa K, Takeda T, Goto E, Tanaka K: The efficacy of esophageal detector devices in verifying tracheal tube placement: a randomized cross-over study of out-of-hospital cardiac arrest patients. *Anesth Analg* 2001;92:375-78
87. Tentillier E, Heydenreich C, Cros AM, Schmitt V, Dindart JM, Thicoipe M: Use of the intubating laryngeal mask airway in emergency pre-hospital difficult intubation. *Resuscitation* 2008;77:30-4
88. Thierbach A, Piepho T, Wolcke B, Kuster S, Dick W: Praktinische Sicherung der Atemwege. Erfolgsraten und Komplikationen. *Anaesthesist* 2004;53:543-50
89. Thierbach AR, Piepho T, Maybauer M: The EasyTube for airway management in emergencies. *Prehosp Emerg Care* 2005;9:445-48
90. Thomas M, Bengler J: Pre-hospital resuscitation using the iGEL. *Resuscitation* 2009;80:1437
91. Tiah L, Wong E, Chen MF, Sadarangani SP: Should there be a change in the teaching of airway management in the medical school curriculum? *Resuscitation* 2005;64:87-91
92. Timmermann A: Modernes Atemwegsmanagement – Aktuelle Konzepte für mehr Patientensicherheit. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 2009;44:246-55
93. Timmermann A: Supraglottic airways in difficult airway management: successes, failures, use and misuse. *Anaesthesia* 2011;66:45-56
94. Timmermann A, Braun U, Panzer W, Schlaeger M, Schnitzker M, Graf BM: Präklinisches Atemwegsmanagement in Norddeutschland: Individuelle Kenntnisse, Vorgehen und Ausrüstung. *Anaesthesist* 2007;56:328-34
95. Timmermann A, Brokmann JC, Fitzka R, Nickel EA: Die CO₂-Messung in der Notfallmedizin. *Anaesthesist* 2012;61:148-55
96. Timmermann A, Byhahn C: Krikoiddruck: Schützender Handgriff oder etablierter Unfug? *Anaesthesist* 2009;58:663-64
97. Timmermann A, Eich C, Nickel E, Russo S, Barwing J, Heuer JF et al: Simulation und Atemwegsmanagement. *Anaesthesist* 2005;54:582-87
98. Timmermann A, Eich C, Russo SG, Natge U, Brauer A, Rosenblatt WH, et al: Prehospital airway management: A prospective evaluation of anaesthesia trained emergency physicians. *Resuscitation* 2006;70:179-85

99. Timmermann A, Russo SG, Crozier TA, Eich C, Mundt B, Albrecht B, Graf BM: Novices ventilate and intubate quicker and safer via intubating laryngeal mask than by conventional bag-mask ventilation and laryngoscopy. *Anesthesiology* 2007;107:570-76
100. Timmermann A, Russo SG, Eich C, Roessler M, Braun U, Rosenblatt WH, et al: The out-of-hospital esophageal and endobronchial intubations performed by emergency physicians. *Anesth Analg* 2007;104:619-23
101. Timmermann A, Russo SG, Rosenblatt WH, Eich C, Barwing J, Roessler M, et al: Intubating laryngeal mask airway for difficult out-of-hospital airway management: a prospective evaluation. *Br J Anaesth* 2007;99:286-91
102. Tomii K, Seo R, Tachikawa R, Harada Y, Murase K, Kaji R, et al: Impact of noninvasive ventilation (NIV) trial for various types of acute respiratory failure in the emergency department; decreased mortality and use of the ICU. *Respir Med* 2009;103:67-73
103. Trimmel H, Kreutziger J, Fertsak G, Fitzka R, Dittrich M, Voelckel WG: Use of the Airtraq laryngoscope for emergency intubation in the prehospital setting: a randomized control trial. *Crit Care Med* 2011;39:489-93
104. Truhlar A, Ferson DZ: Use of the Laryngeal Mask Airway Supreme in pre-hospital difficult airway management. *Resuscitation* 2008;78:107-8
105. Turkstra TP, Craen RA, Pelz DM, Gelb AW: Cervical spine motion: a fluoroscopic comparison during intubation with lighted stylet, GlideScope, and Macintosh laryngoscope. *Anesth Analg* 2005;101:910-15
106. von Goedecke A, Keller C, Voelckel WG, Dunser M, Paal P, Torgersen C, et al: Maskenbeatmung als Ruckzugsstrategie zur endotrachealen Intubation. *Anaesthesist* 2006;55:70-9
107. von Goedecke A, Voelckel WG, Wenzel V, Hormann C, Wagner-Berger HG, Dorges V, et al: Mechanical versus manual ventilation via a face mask during the induction of anesthesia: a prospective, randomized, crossover study. *Anesth Analg* 2004;98:260-63
108. von Goedecke A, Wagner-Berger HG, Stadlbauer KH, Krismer AC, Jakubaszko J, Bratschke C, et al: Effects of decreasing peak flow rate on stomach inflation during bag-valve-mask ventilation. *Resuscitation* 2004;63:131-36
109. Wagstaff TA, Soni N: Performance of six types of oxygen delivery devices at varying respiratory rates. *Anaesthesia* 2007;62:492-503
110. Weiss M, Engelhardt T: Proposal for the management of the unexpected difficult pediatric airway. *Paediatr Anaesth* 2010;20:454-64
111. Weiss M, Schmidt J, Eich C, Stelzner J, Trieschmann U, Müller-Lobeck L et al: Handlungsempfehlung zur Prävention und Behandlung des unerwartet schwierigen Atemwegs in der Kinderanästhesie. *Anästh Intensivmedi* 2010; Suppl. 3:54-64
112. Wenzel V, Idris AH, Banner MJ, Kubilis PS, Band R, Williams JL Jr., et al: Respiratory system compliance decreases after cardiopulmonary resuscitation and stomach inflation: impact of large and small tidal volumes on calculated peak airway pressure. *Resuscitation* 1998;38:113-18
113. Wenzel V, Idris AH, Banner MJ, Kubilis PS, Williams JL Jr.: Influence of tidal volume on the distribution of gas between the lungs and stomach in the nonintubated patient receiving positive-pressure ventilation. *Crit Care Med* 1998;26:364-68
114. Wirtz DD, Ortiz C, Newman DH, Zhitomirsky I: Unrecognized misplacement of endotracheal tubes by ground prehospital providers. *Prehosp Emerg Care* 2007;11:213-18
115. Wrightson F, Soma M, Smith JH: Anesthetic experience of 100 pediatric tracheostomies. *Paediatr Anaesth* 2009;19:659-66.

Korrespondenz- adresse



**Prof. Dr. med.
Arnd Timmermann,
DEAA, MME**

Klinik für Anästhesie, Schmerz-
therapie, Intensiv- und Notfallmedizin,
OP-Management
DRK Kliniken Berlin Westend
und Mitte
Spandauer Damm 130
14050 Berlin, Deutschland
Tel.: 030 30354155
E-Mail:
a.timmermann@drk-kliniken-berlin.de