

Aus der Klinik für Anästhesiologie mit Schwerpunkt operative
Intensivmedizin der Medizinischen Fakultät Charité- Universitätsmedizin
Berlin

DISSERTATION

„Einsatz und Nutzen einer elektronischen audiovisuellen
Checkliste in einem simulierten Intubationsszenario auf der
Intensivstation“

zur Erlangung des akademischen Grades

Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät

Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Nicolas Coenen

aus Berlin

Datum der Promotion: 18.09.2020

Inhaltsverzeichnis

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	5
Abkürzungsverzeichnis	6
Abstrakt	7
Abstract	9
1 Einleitung.....	10
1.1 Atemwegsicherung auf der Intensivstation	10
1.2 Fehler in der Medizin.....	12
1.3 „Human Factors“	13
1.3.1 Human Factors in der Medizin	14
1.3.2 Crisis/Crew Resource Management (CRM)	15
1.4 Checklisten	16
1.4.1 Einsatz von Checklisten.....	16
1.4.2 Typen von Checklisten.....	17
1.4.3 Checklisten in der Intensivmedizin	18
1.5 Konzept und Fragestellung.....	19
2 Material und Methoden	20
2.1 Studienort und Studiendesign	20
2.2 Probanden, Ein- und Ausschlusskriterien.....	21
2.3 Werkzeuge der Datenerhebung	23
2.3.1 Entwicklung der Checkliste	23
2.3.2 Anpassung des Anesthetists‘ Non-Technical Skills (ANTS) - Systems.....	23
2.4 Aufbau und Durchführung	25
2.4.1 Versuchsaufbau.....	25
2.4.2 Versuchsdurchführung.....	26
2.4.3 Anwenderbefragung	27
2.5 Auswertung	28
2.5.1 Auswertung der erfüllten sicherheitsrelevanten Schritte und der Zeiten	28

2.5.2	Auswertung der „non-technical skills“	28
2.6	Statistik	29
2.6.1	Fallzahlschätzung	29
2.6.2	Statistische Analysen	29
2.7	Material	31
2.7.1	Die elektronische Checkliste	31
2.7.2	Material und Software	32
2.8	Ethik	33
3	Ergebnisse	34
3.1	Das Probandenkollektiv	34
3.2	Durchgeführte sicherheitsrelevante Schritte	35
3.2.1	Gesamtanzahl	35
3.2.2	Erfüllungsraten der einzelnen Items	37
3.3	Gesamtdauer und „kritisches Zeitintervall“	39
3.3.1	Gesamtdauer des Szenarios	39
3.3.2	„kritisches Zeitintervall“	40
3.4	ANTS	42
3.5	Umfrageergebnis	44
4	Diskussion	46
4.1	Einfluss der Checkliste	46
4.1.1	Erfüllte sicherheitsrelevante Schritte	46
4.1.2	Gesamtdauer des Szenarios und “Kritisches Zeitintervall”	47
4.1.3	ANTS	49
4.1.4	Stellenwert der Ergebnisse	51
4.2	Die Checkliste	53
4.2.1	Auswahl der Items	53
4.2.2	Länge/Itemanzahl	55
4.2.3	Elektronische oder papierbasierte Checkliste	57
4.3	Studiendesign und Probanden	59

4.4	Einschränkungen	62
	Schlussfolgerung	65
	Literaturverzeichnis	66
	Eidesstattliche Versicherung	71
	Lebenslauf	72
	Danksagung.....	74

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 1-1	Inzidenz für Komplikationen bei 247 untersuchten Intubationen auf sieben verschiedenen Intensivstationen aus Jaber et al.	11
Abbildung 1-2	Leitsätze aus einem CRM-Trainingsprogramm, nach Rall/Gaba	15
Abbildung 2-1	Studienablauf	21
Tabelle 2-1	Checklisten-Items mit Erwartungshorizont.....	22
Abbildung 2-2	Das ANTS-System nach Fletcher.....	23
Abbildung 2-3	a): Versuchsaufbau; b): Kamerawinkel c): Monitor im Demomodus.....	26
Abbildung 2-4	die elektronische audio-visuelle Checkliste	31
Tabelle 2-2	Geräte	32
Tabelle 2-3	Software	32
Tabelle 2-4	Material.....	33
Tabelle 3-1	Kollektiv der ärztlichen Teilnehmer	34
Abbildung 3-1	Gesamtanzahl der erfüllten sicherheitsrelevanten Schritte	35
Abbildung 3-2	Gesamtanzahl an erfüllten sicherheitsrelevanten Schritten je Arzt im Verlauf über die vier Intubationen.....	36
Tabelle 3-2	Erfüllungsraten der einzelnen Items für den jeweils zweiten Durchgang aus Kontroll- und Interventionsphase in Prozent	38
Abbildung 3-3	Gesamtdauer der Intubation in Minuten	39
Abbildung 3-4	Verlauf der individuellen Intubationsdauer über alle vier Intubationen in Minuten	40
Abbildung 3-5	Kritische Zeiten, definiert als Zeit zwischen Gabe des Hypnotikums und Blockung des Tubus in Minuten.....	41
Abbildung 3-6	Verläufe der kritischen Zeiten über alle vier Intubationen je Arzt in Minuten	42
Abbildung 3-7	Anzahl der erreichten Punkte (von 36 maximal möglichen) für die jeweils zweite Intubation in Kontroll- und Interventionsphase.	43
Abbildung 3-8	Prozentualer Anteil der vergebenen Punkte von der Gesamtpunktzahl für die verschiedenen Fertigkeiten-Kategorien des ANTS-Systems.	43
Tabelle 3-3	Abschlussbefragung	45
Abbildung 4-1	„Rapid sequence induction kit dump sheet“	57

Abkürzungsverzeichnis

ANTS	Anaesthetists' Non-Technical Skills
ASA	American Society of Anesthesiologists
CBF	Campus Benjamin Franklin
CPAP	continuous positive airway pressure
CRM	Crisis/Crew Ressource Management
DGAI	Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie & Intensivmedizin
ETT	Endotrachealtubus
HRO	High Reliability Organization
ICU	Intensive Care Unit
IOM	Institute of Medicine
IQA	Interquartilsabstand
LMA	Larynxmaske
PACU	Post Anesthesia Care Unit
Q1	1. Quartil / 25. Perzentile
Q3	3. Quartil / 75. Perzentile
RSI	Rapid Sequence Induction
WHO	World Health Organization

Abstrakt

Einleitung: Die endotracheale Intubation auf einer Intensivstation fordert das gesamte Intensivteam und ist mit einer hohen Inzidenz potentiell bedrohlicher Komplikationen, wie Hypoxämie und Herz-Kreislauf-Depression vergesellschaftet. Dennoch existieren derzeit keine einheitlichen Empfehlungen für diese Situation und der Einsatz von Hilfsmitteln wie z.B. Checklisten ist bei dieser Routineprozedur die Ausnahme. Der positive Effekt von Checklisten zum strukturierten Management komplexer medizinischer Situationen ist bereits für einige klinische Szenarios nachgewiesen. Wir untersuchten Effekte der Intensiv-Version einer elektronischen Checkliste (ursprünglich für die Einleitung im Operationssaal entwickelt) innerhalb eines simulierten Szenarios einer ungeplanten dringlichen Intubation auf der Intensivstation.

Methoden: Die Checkliste ist mit einem Audiochip, einem Lautsprecher und einem LC-Display zur simultanen audiovisuellen Ausgabe der Checkitems ausgerüstet. Ein eingebauter Fußschalter erlaubt dem Anwender ein sequenzielles Abrufen der einzelnen Schritte ohne Unterbrechung der momentanen manuellen Tätigkeiten. Die Identifizierung der sicherheitsrelevanten Schritte basierte auf einer Literaturrecherche, einer Umfrage unter Anästhesisten, ergänzt durch allgemeine Sicherheitsprinzipien aus anderen „High Reliability Organizations“ (HRO), z.B. dem „Cross-Check“-Prinzip und der proaktiven Formulierung von Alternativverfahren („Alternate solution assesement“). Schließlich wurden lokale Begebenheiten berücksichtigt. Nach Zustimmung der zuständigen Ethikkommission und schriftlicher Einwilligung der Studienteilnehmer wurden 20 Intubationen in einem simulierten intensivmedizinischen Szenario beobachtet und gefilmt. Davon wurden jeweils 10 ohne und 10 mit Checkliste durchgeführt. Ein Team bestand aus einem Anästhesisten und zwei intensivmedizinischen Pflegekräften. Der Erfüllungsgrad der Sicherheitsitems, sowie die Dauer der Prozedur wurden bestimmt. Die Qualität von Teaminteraktion und Kommunikation der Anästhesisten wurden mit Hilfe des validierten ANTS-Score ausgewertet. Die statistischen Auswertungen erfolgten mit dem Wilcoxon-Rangsummentest für verbundene Stichproben.

Ergebnis: Die Benutzung einer elektronischen Checkliste führte zu einer signifikanten Zunahme der erfüllten sicherheitsrelevanten Schritte im Vergleich zur Kontrollgruppe (40% vs. 80%; $p < 0,005$). Während sich die Gesamtdauer des Prozesses in der Checklistengruppe verlängerte, konnte das kritische Intervall zwischen der Gabe des Hypnotikums und der Cuffblockung des Tubus jedoch durch den Einsatz der Checkliste

signifikant reduziert werden. Der ANTS-score wurde durch den Gebrauch der Checkliste beträchtlich erhöht. Die Abschlussumfrage der Anästhesisten bescheinigt der Checkliste, als neuem Sicherheitstool ein hohes Maß an Zweckmäßigkeit und Verwendbarkeit.

Schlussfolgerung: In der vorliegenden Vorher-Nachher-Interventionsstudie ließen sich positive Effekte der modernen elektronischen Checkliste in Bezug auf Prozess-Komplettierung und Teamperformance innerhalb eines simulierten intensivmedizinischen Intubationsszenarios zeigen. Der regelhafte Einsatz der Checkliste bei Intubationen auf Intensivstationen scheint in der Lage die Patientensicherheit zu erhöhen und die Komplikationsraten zu vermindern.

Abstract

Aim of study: Endotracheal intubation on the ICU is a challenging team task, associated with a high incidence of potentially life-threatening complications including severe hypoxemia and cardiovascular collapse. Nevertheless, standardized recommendations or risk management tools like checklists for this commonly performed procedure are widely absent to date. Checklists have been shown to be effective in reducing both morbidity and mortality in various clinical scenarios. Therefore, we evaluated an ICU version of an electronic audio-visual checklist device -initially developed for OR-anesthesia induction- as a potential ICU-team support tool in a simulated intubation scenario.

Methods: Our checklist features an audio chip, a speaker for voice prompts and an LC-Display for acoustical/visual output of check items. To ensure ergonomic „hands-free“ stepping through checklist, a footswitch operator is built in. To identify safety-relevant steps of intubation at the ICU we performed a survey using a Delphi technique combined with a literature review, thereby incorporating evidence, “Best-Clinical Practice” as well as local aspects. Design includes fundamental crew resource principals from aviation, e.g. „4-eyes principle“ and alternate solution-assessment. After institutional review board approval, 20 intubation procedures were observed/videotaped in a simulated ICU scenario, performed by an ICU team (1 resident, 2 intensive care nurses; Anesthetists’ Non-Technical Skills performance was assessed using the validated ANTS score. Statistical analysis was done by chi-square-test.

Results: Use of the electronic checklist resulted in a significant increase in fulfilled safety check steps compared to the control group (40% vs. 80%; $p < 0,005$). While the overall procedure time increased in checklist group, the critical period between induction and cuff inflation was reduced significantly. The ANTS score increased considerable by checklist use. Checklist evaluation (questionnaire) by residents revealed practicability and usability of this novel patient safety tool.

Conclusion: In a before-after intervention study using the novel electronic checklist device in a simulated ICU-intubation scenario, we showed beneficial effects related to completion of crucial safety and team performance. It could support the ICU-team to cope with the difficulties to perform a structured and safe intubation in an ICU environment.

1 Einleitung

1.1 Atemwegsicherung auf der Intensivstation

Die Sicherung der Atemwege und damit der Oxygenierung des Patienten stellt eine Kernkompetenz des intensivmedizinisch tätigen ärztlichen Fachpersonals dar. Aufgrund der schon nach 3-5 Minuten einsetzenden möglichen irreversiblen Schädigung des Gehirns bei Hypoxämie, ist die Sicherstellung eines offenen Atemweges von immenser Bedeutung [1].

Dabei sind die Anforderungen an ein fortschrittliches Atemwegmanagement im intensivmedizinischen Setting sehr hoch, da der kritisch Kranke nur geringe Sauerstoffreserven aufweist. Neben der Sicherstellung von Ventilation und Oxygenierung, wird eine schnelle und effektive Durchführung der Atemwegsicherung mit der größten Sicherheit für den Patienten und einer möglichst geringen Beeinträchtigung des respiratorischen und kardiozirkulatorischen Systems gefordert [2]. Intubationsszenarien im intensivmedizinischen Bereich sind im Vergleich zu denen im Operationssaal oder denen in der präklinischen Notfallmedizin bisher nur vereinzelt untersucht [3], unterscheiden sich von diesen jedoch erheblich. Todesfälle und irreversible Hirnschäden kommen bis zu 60 mal häufiger vor als bei der elektiven präoperativen Einleitung [4]. Es fehlt an angepassten Algorithmen und standardisierten Empfehlungen für diese meist schlecht planbaren Eingriffe an kritisch kranken Patienten in eingeschränktem hämodynamischem und respiratorischem Zustand. Das erhöhte Aspirationsrisiko der meist nicht nüchternen Patienten, macht in der Regel eine sogenannte „rapid sequence induction“ (RSI) notwendig, bei der die endotracheale Intubation ohne vorherige Zwischenbeatmung des Patienten erfolgt, was mit einer deutlich erhöhten Inzidenz an Sauerstoff-Entsättigungen einhergeht [5, 6].

Die Situation wird noch verschärft, wenn während der Intubation beim Patienten ein „unerwartet schwieriger“ Atemweg (Cormack & Lehane Grad III oder IV [7]) festgestellt wird. Mit einem Anteil von ca. 11% an Intubationen auf Intensivstationen ist der schwierige Atemweg jedoch keinesfalls unerwartet, vielmehr sollte das Vorgehen so geplant werden, dass Rückfallebenen für diesen Fall vorgehalten werden [1, 4, 8].

Hinzu kommt die Tatsache, dass auf vielen Intensivstationen, zumindest temporär, kein erfahrenes anästhesiologisches Personal zur Verfügung steht und die dringliche oder notfallmäßige Atemwegsicherung mitunter durch Mitarbeiter mit wenig

Intubationserfahrung durchgeführt werden muss. Wobei die gewissenhafte Vorbereitung und der Erfolg der Prozedur nachweislich in erheblichem Maße von der Erfahrung des Durchführenden und seiner Anzahl an bereits absolvierten Intubationen abhängen [9-11]. All dies sind Gründe für die hohe Anzahl an lebensbedrohlichen Zwischenfällen und Komplikationen bei Intubationen auf Intensivstationen mit einer Inzidenz von bis zu 39% [3, 12, 13] (Abbildung 1-1) Diese umfassen unter anderem Hypoxie, schwere Hypotension und zum Herzstillstand führende Arrhythmien [14]. Hinzu kommt die Tatsache, dass jeder erfolglose Intubationsversuch das Risiko von schwerwiegenden lebensbedrohlichen Komplikationen erhöht [15].

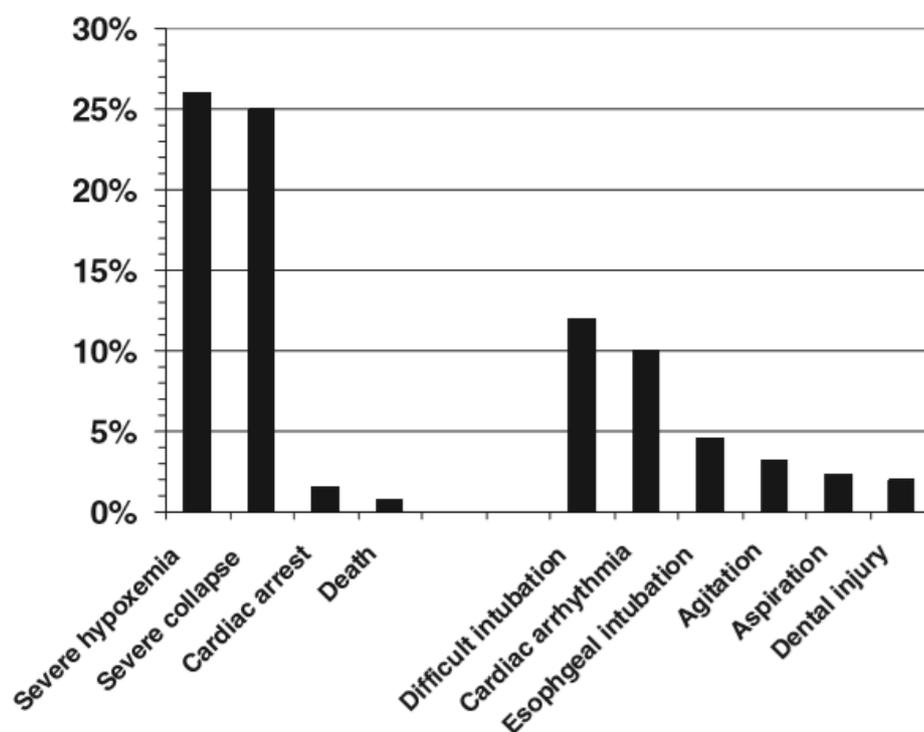


Abbildung 1-1

Inzidenz für Komplikationen bei 247 untersuchten Intubationen auf sieben verschiedenen Intensivstationen aus Jaber et al. [12]

Für den deutschen Sprachraum erstellte das Präsidium der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin e.V. (DGAI) erstmals 2004 und seither in regelmäßigen Abständen (zuletzt 2015) eine S1-Leitlinie zum Atemwegsmanagement [14, 16]. Hierbei handelt es sich größtenteils um einen Expertenkonsens, da für viele der angeführten Empfehlungen qualitativ hochrangige klinische Studien fehlen [14]. Dennoch führt eine Implementierung von Leitlinien und Handlungsempfehlungen sowie deren konsequentes Befolgen zu einer Reduktion von Morbidität und Mortalität im Zusammenhang mit der Sicherung der Atemwege [14].

Daher sind, gerade bei der Intubation auf der Intensivstation, eine besonders gewissenhafte Umsetzung aller Empfehlungen, die mit einem potentiellen Sicherheitsgewinn einhergehen und die umfassende Vorbereitung aller Beteiligten auf das Szenario von immenser Bedeutung. Das Bereithalten von Alternativen und die Unterstützung der Anwender bei der Vorbereitung und Strukturierung des Ablaufs durch geeignete Hilfsmittel erscheinen äußerst sinnvoll.

1.2 Fehler in der Medizin

Generell finden Zwischenfälle im medizinischen Bereich sowie deren Vermeidung und Aufarbeitung über alle Disziplinen und Prozeduren hinweg spätestens seit dem im Jahr 2000 veröffentlichten Gesundheitsbericht des Institute of Medicine (IOM: „*To Err Is Human: Building a Safer Health System*“ [17]), große Beachtung. Dem Bericht zu Folge gehören Fehler in der Medizin zu den zehn häufigsten Todesursachen stationär aufgenommenener Patienten. Er bezieht sich im Wesentlichen auf zwei in den USA durchgeführte Studien, in denen eine retrospektive Auswertung von über 45.000 Patientenakten stattfand [18, 19]. Hieraus ergibt sich eine geschätzte Anzahl von 98.000 Menschen, die allein in den Vereinigten Staaten jährlich durch medizinische Fehler ums Leben kommen. Eine Größenordnung, die sogar die der Verkehrstoten übersteigt. Vergleichbare Studien, welche die Inzidenz von Zwischenfällen in Australien [20], Kanada [21] und Dänemark [22] untersuchten, kommen zu ähnlichen Ergebnissen und legen nahe, dass es sich bei Gesundheitsschäden als Konsequenz medizinischer Fehler um ein globales Problem handelt. Sowohl Australien, als auch die USA verabschiedeten als Reaktion auf ihre Studien zu fehlerbedingten Gesundheitsstörungen [18-20] jeweils eine nationale Kampagne zur Verbesserung der Patientensicherheit [23], welche auch mit größeren finanziellen Zuwendungen für das Thema einhergingen [24]. Auch wenn die Ausgaben im Bereich der Patientensicherheit bis heute einen sehr geringen Anteil am Gesamtbudget ausmachen [25], ergeben sich trotzdem neue Möglichkeiten für Forschung und Verbesserung.

Dabei orientierte sich die Medizin stets an anderen High Reliability Organizations (HRO), wie der zivilen Luftfahrt, der Raumfahrt oder dem Betrieb von Kernkraftwerken, deren ausgeprägte Sicherheitskultur sich schon länger mit einer intensiven und offenen Fehleranalyse auseinandersetzt [24, 26, 27]. Diese zeichnet sich vor allem durch eine proaktive systemanalytische Herangehensweise aus, welche sich deutlich von der immer noch weit verbreiteten reaktiven personenbezogenen Kultur der Schuldzuweisung abhebt

[24]. Während die personenbezogene Sicht das Individuum auf Grund von Unachtsamkeit, Vergesslichkeit oder gar moralischer Schwäche als für die Situation verantwortlich beschuldigt („shame, name, blame“), findet bei der systemischen Herangehensweise eine weitreichendere Betrachtung statt [27]. Sie berücksichtigt die Umgebung, in der das Individuum arbeitet, probiert mögliche Schwachstellen auszumachen und versucht zu verhindern, dass sich eben dieser Fehler erneut ereignen kann. Sie berücksichtigt die Tatsache, dass es sich bei einem Fehler eben nicht um einen einfachen Auslöser für einen Zwischenfall handelt, sondern dass eine komplexe Verkettung von Ursachen den Fehler überhaupt erst provoziert hat [28]. Somit macht man es sich zu einfach, wenn man nur die Person am letzten Glied der Fehlerkette verantwortlich macht, ohne weiter auf die Entstehung einzugehen und zu eruieren, auf welchen Ebenen der Zwischenfall bereits hätte verhindert werden können [28]. Die Durchführung eines Kurswechsels hin zu einer proaktiven Sicherheitskultur des gesamten Unternehmens bzw. der Abteilung ist für die Medizin von immenser Bedeutung [24].

Ursachenanalysen zu Zwischenfällen im medizinischen Bereich ergaben, dass der Anteil an vermeidbaren Fehlern je nach Bereich und Disziplin zwar variieren kann [23], jedoch für die Gesamtzahl der Zwischenfälle mit 60% bis 70% [26, 28, 29], im Schockraum sogar bis zu 90% [17], angenommen werden muss. Diese Zahlen, korrelieren stark mit den Ergebnissen aus der Luft- und Schifffahrt [30]. Eine genauere Untersuchung dieser Fehler hat ergeben, dass in bis zu 70% der Fälle nicht ein fehlendes medizinisch-fachliches Wissen für den Zwischenfall verantwortlich ist [31-33], sondern dass das Problem oft darin liegt, dieses Wissen an die Realität anzupassen und es unter den alltäglichen Bedingungen umzusetzen [28]. Hierbei ist von den „non-technical skills“, den sogenannten Human Factors, die Rede.

1.3 „Human Factors“

In den letzten 3 Jahrzehnten rückt im Rahmen der „Human Factors“- Forschung bei der Analyse von Fehlern und Zwischenfällen der Faktor Mensch und sein Verhalten in kritischen Situationen zunehmend in den Mittelpunkt [30]. Ein wesentlicher Grundsatz der Forschung ist hierbei die Betrachtung aus einer systembezogenen Perspektive und die intensive Auseinandersetzung mit den Grundlagen des menschlichen Verhaltens und den Rahmenbedingungen, unter denen die Person arbeitet. Das gesamte Gebiet der Human Factors ist sehr komplex und weitreichend. Teilaspekte sind unter anderem die

menschliche Wahrnehmung, Aufmerksamkeit und Konzentration, Stress, Zielbildung und Entscheidungsfindung, Informations-Verarbeitung, Teamarbeit und Kommunikation [30].

1.3.1 Human Factors in der Medizin

Mangelhafte Teamarbeit und ungenügende Kommunikation stehen ganz vorne in der Liste der Human Factors, die Behandlungsfehler verursachen [30, 34]. Ein häufiger Fehler in der Teamarbeit ist zum Beispiel das Versäumnis, Handlungen eines Kollegen zu hinterfragen bzw. anzusprechen, obwohl Zweifel an deren Richtigkeit bestehen [35]. Auch Störungen von Vigilanz, Konzentration und Aufmerksamkeit stellen potentielle Fehlerquellen dar. Die wenigsten Menschen können parallel mehrere Dinge bearbeiten, die ihr bewusstes Denken erfordern [30]. Eine bewusste Ausrichtung der Aufmerksamkeit (Konzentration), sowie die Priorisierung und sequentielle Abarbeitung einzelner Aufgaben sind somit unabdingbar. Jede Einflussgröße, die einen dieser Punkte direkt oder indirekt beeinflusst, stellt einen Risikofaktor zur Entstehung von unerwünschten Zwischenfällen dar. Dabei ist der Begriff Human Factors jedoch keinesfalls gleichzusetzen mit der Summe menschlicher Fehlleistungen. Oft ist es gerade der Faktor Mensch, der durch umsichtiges Handeln Fehlerquellen erkennen kann, Zwischenfälle verhindert [28] und sogar in der Lage ist, strukturelle Schwächen im System auszugleichen [25, 36]. Das Gebiet der Human Factors ist also nicht nur ein Pool möglicher Fehlerquellen, sondern auch ein guter Ansatzpunkt zur Verhinderung von Zwischenfällen.

Trotz der Erkenntnis, dass die Human Factors sowohl die Hauptfehlerquelle, als auch den Schlüssel zu deren Verhinderung darstellen, ist die Einbindung von Elementen aus diesem Bereich, im Gegensatz zu der Pilotenausbildung der modernen Luftfahrt, in Medizinstudium und Pflegeausbildung bisher kaum erfolgt [37].

Auch für den Bereich der Anästhesie wird der Anteil der Human Factors assoziierten Zwischenfälle zwischen 60% und 80% angegeben [38]. Von Anfang an galt die Anästhesie als führende Disziplin beim Thema Patientensicherheit. Ein Grund hierfür ist sicherlich, dass Narkosen durchaus risikobehaftet sind, ohne selbst jedoch einen therapeutischen Nutzen zu haben [26]. So wurde die Forderung einer systemanalytischen proaktiven Sicherheitskultur in der Medizin maßgeblich vom Fachbereich der Anästhesiologie vorangetrieben. Inspiriert wurden die Programme zur Erhöhung der Patientensicherheit durch die in industriellen Hochsicherheitsbereichen

schon lange bestehenden Programme zur Reduzierung des Schadenspotentials durch Human Factors bedingte Zwischenfälle. Hierzu gehören unter anderem möglichst realitätsnahes Crisis Resource Management (CRM), Team- und Simulator Training, aber auch die Etablierung von effektiven Critical Incident-Reporting-Systemen, der Einführung eines wirksamen Risiko- und Qualitätsmanagements und dem Einsatz von sicherheitsrelevanter Technik und Hilfsmitteln wie zum Beispiel den Checklisten [37].

1.3.2 Crisis/Crew Resource Management (CRM)

„Die Fähigkeit, das Wissen, was getan werden muss, auch unter den ungünstigen und unübersichtlichen Bedingungen der Realität eines medizinischen Notfalls in effektive Maßnahmen im Team umzusetzen“. Definition des CRM nach David Gaba, Stanford [37].

CRM wurde von Gaba et al. erstmals 1990 als Anesthesia Crisis Resource Management (ARCM) in die Medizin eingeführt [39] und dient als Ansatz, Anwendern generelle Kompetenzen im Umgang mit komplexen Szenarien und allgemeingültige Problemlösungsstrategien zu vermitteln [24]. ARCM ist von bewährten Cockpit Resource Management Programmen aus Luft- und Raumfahrt abgeleitet und speziell an die Bedürfnisse der Medizin adaptiert [37]. CRM Training beinhaltet Techniken und Verfahren um „Human Factors“-assoziierte Zwischenfälle erkennen und verhindern zu

Die 15 CRM-Leitsätze (nach Rall/Gaba)	
1.	Kenne Deine Arbeitsumgebung.
2.	Antizipiere und plane voraus.
3.	Hilfe anfordern, lieber früh als spät.
4.	Übernimm die Führungsrolle oder sei ein gutes Teammitglied mit Beharrlichkeit.
5.	Verteile die Arbeitsbelastung (10 Sekunden für 10 Minuten).
6.	Mobilisiere alle verfügbaren Ressourcen (Personen und Technik).
7.	Kommuniziere sicher und effektiv – sag was Dich bewegt.
8.	Beachte und verwende alle vorhandenen Informationen.
9.	Verhindere und erkenne Fixierungsfehler.
10.	Habe Zweifel und überprüfe genau („double check“, nie etwas annehmen).
11.	Verwende Merkhilfen und schlage nach.
12.	Reevaluiere die Situation immer wieder (wende das 10-Sekunden-für-10-Minuten-Prinzip an).
13.	Achte auf gute Teamarbeit – andere unterstützen und sich koordinieren.
14.	Lenke Deine Aufmerksamkeit bewusst.
15.	Setze Prioritäten dynamisch.

Abbildung 1-2

Leitsätze aus einem CRM-Trainingsprogramm, nach Rall/Gaba [37]

können und lehrt Verhaltensprinzipien, welche die Sicherheit durch Prävention und strukturierte teamorientierte Bewältigung von kritischen Situationen erhöhen sollen [37]. Dabei geht es um die Aspekte Kommunikation, Teamarbeit, Ressourcen Management, Planung, Aufmerksamkeitsverteilung, das Treffen von Absprachen und ein rechtzeitiges Anfordern von Hilfe (**Abbildung 1-2**) [28].

Schwierigkeiten entstehen allerdings häufig erst bei der Umsetzung des Wissens unter den Bedingungen der Realität. Gerade komplexe, aber auch unerwartete Situationen machen die Umsetzung des theoretisch Gelernten am realen Zwischenfall schwierig. Daher ist es wichtig, die Handhabung solcher Situationen unter möglichst realen Bedingungen praktisch zu trainieren [28]. Fast alle CRM-Prinzipien können effektiv während realitätsnaher Patientensimulationen analysiert und aufgezeigt werden [37]. Daher empfiehlt es sich, die theoretischen Schulungen durch Teamtrainings mittels moderner Patienten-Simulator-Systeme zu ergänzen [39].

Die bestehenden Trainingsmöglichkeiten sind hierbei sehr vielfältig. Schon seit langem nutzt man Simulationspuppen zur Erlernung technischer Fertigkeiten. Ein Reanimationstraining ohne solch einen Fertigkeitstrainer ist heute nicht mehr vorstellbar. Die aktuellen Simulator-Systeme reichen von denkbar simpel (Venenpunktionsarm, Atemwegstrainer) bis hoch komplex (Patientensimulationszentrum, Simulations-OP) und dienen neben dem Erlernen von Fertigkeiten auch zur Schulung der Anwendung der CRM-Kriterien, sowie zur Verdeutlichung derer Prinzipien und Ziele [28].

1.4 Checklisten

1.4.1 Einsatz von Checklisten

In anderen Hoch-Risiko-Bereichen („High-Reliability-Organizations“; HRO), wie der nuklearen Energiegewinnung, der Industrieschifffahrt oder der Verkehrsfluffahrt, werden Checklisten bereits seit mehr als 40 Jahren routinemäßig für kritische Prozeduren eingesetzt und sind nachweislich in der Lage, die mit diesen Bereichen assoziierten Risiken zu reduzieren [40-42]. Sie sind in der Lage die Anzahl an vergessenen Teilschritten zu reduzieren, sowie einen Prozess zu standardisieren [41]. Hierbei profitieren Checklisten unter anderem von dem Effekt, dass das Gruppieren von Informationen, sowie deren Darstellung in Listenform einen positiven Einfluss auf die Gedächtnisleistung hat [43, 44]. Als weitere positive Effekte von Checklisten werden eine verbesserte Teamkommunikation, eine erhöhte Sicherheit durch doppelte Kontrolle der

verschiedenen Crewmitglieder (sogenanntes „4-Augen-Prinzip“; „cross-check“), sowie die Möglichkeit zur Qualitätskontrolle genannt [42].

In der Luftfahrt ist der konsequente Einsatz von Checklisten für diverse Prozeduren vor, während und nach dem Flug für jeden Piloten verpflichtend [41]. Bereits das Kompletieren einer Checkliste aus dem Gedächtnis gilt hierbei als Fehler des Piloten und als Verstoß gegen das Protokoll [45]. Neben den routinemäßigen Abläufen finden Checklisten in der Luftfahrt auch in Notfallsituationen Anwendung und sollen den Piloten als Hilfestellung zur systematischen Problemlösung dienen, sowie einen strukturierten Ansatz zum Entschärfen der Situation sicherstellen [41].

Auch wenn das „Institute of Medicine“ nicht die erste Organisation war, die eine stärkere Orientierung der Medizin an anderen Hoch-Risiko-Bereichen forderte, so rückte die Patientensicherheit und damit auch der Gebrauch von Checklisten erst durch den Bericht „To err is human“ in den Vordergrund. Dennoch sind die einfachen Sicherheitsstrategien anderer HRO, wie z.B. Checklisten bis heute nicht fest in den klinischen Alltag integriert [17, 41, 45-47].

1.4.2 Typen von Checklisten

Es gibt im Wesentlichen zwei Arten, eine Checkliste zu benutzen. Die erste ist die parallele Anwendung („Do-list“), bei der die Checkliste in der Art eines Kochrezepts Schritt für Schritt abgearbeitet wird. Diese Methode kann auch von einem einzelnen Anwender ausgeführt werden, wobei in diesem Falle die doppelte Kontrolle, die einen wesentlichen Aspekt des Checklistenkonzeptes darstellt, entfällt. Auch das Risiko des versehentlichen Überspringens einzelner Items ist bei dieser Art der Anwendung größer. Im Allgemeinen bietet sich eine statisch parallele Checklistenutzung bei Prozeduren eines einzelnen Anwenders, zum Beispiel bei Gerätechecks, an [42, 48].

Die zweite Möglichkeit der Checklistenutzung ist die sequentielle Anwendung („challenge-verification-response“), bei welcher die Schritte erst aus dem Gedächtnis abgearbeitet und zu günstigen Zeitpunkten mit Hilfe der Checkliste auf Vollständigkeit überprüft werden. Diese Art der Verwendung erfordert in der Regel mindestens zwei Anwender. Während eine Person die Items der Checkliste vorliest, überprüft der jeweils Zuständige dessen korrekte Ausführung beziehungsweise das Liegen der Werte im Referenzbereich und gibt der Person mit der Checkliste eine entsprechende Rückmeldung. Die Kontrolle hierbei erfolgt zusätzlich durch alle anderen Anwesenden, auch durch die Person, welche die Checkliste vorliest. Durch diese doppelte Redundanz

(1. Kontrolle durch die Checkliste und 2. Überprüfung durch den zweiten Anwender) wird ein hoher Sicherheitsstandard erreicht. Diese Art der Checklistenutzung ist die derzeit gängigste und vor allem in der Luftfahrt am weitesten verbreitet [42, 48].

Beide Methoden lassen sich sowohl mit einer gedruckten papierbasierten, als auch mit einer elektronischen Checkliste ausführen. Obwohl der Nutzen und die Effekte von elektronischen Checklisten bereits seit Anfang der 80er Jahre untersucht werden [49, 50], ist der Großteil der heute in der Luftfahrt genutzten Checklisten papierbasiert [42]. Auch in der Medizin stellen elektronische Checklisten die Ausnahme dar. Es gibt bisher nur einzelne Untersuchungen, die sich mit diesem Thema befassen [51, 52].

Ursprünglich sollten durch den Einsatz von elektronischen Checklisten Fehler, die bei der Benutzung der herkömmlichen Papierchecklisten beobachtet wurden, verhindert werden. Bei diesen handelte es sich unter anderem um das versehentliche oder auch bewusste Überspringen einzelner Punkte und die Versäumnis diese zu einem späteren Zeitpunkt nachzuholen. Des Weiteren zeigten die Beobachtungen, dass die Anwender der papierbasierten Checklisten durch Unterbrechung oder Ablenkung vergaßen an welcher Position auf der Checkliste sie sich gerade befanden. Auch das falsch positive bestätigen einzelner Items, welches noch nicht abgearbeitet wurde beobachtet [50]. Die Meinungen und Daten über die Überlegenheit in der Fehlerreduktion durch eines der beiden Formate gehen bis heute stark auseinander [49, 50, 53]. Es ist bisher ungeklärt, welche Checklistenenergonomie die geeignetste im intensivmedizinischen Setting und bei Notfallprozeduren ist.

1.4.3 Checklisten in der Intensivmedizin

An jedem Intensivpatienten werden täglich ca. 180 Maßnahmen durchgeführt [48]. Beim Umgang mit kritisch Kranken ist die Fehlertoleranz besonders gering und falsche Handlungen können für den Patienten schwere Folgen nach sich ziehen [28]. So erscheint der Einsatz von Gedächtnishilfen, wie der Checkliste, in diesem Bereich sinnvoll.

In diversen bisherigen Untersuchungen, die den Einsatz von Checklisten am kritisch kranken Patienten untersuchten, konnten durchweg positive Effekte nachgewiesen werden [41]. Sie können zum Beispiel die Identifikation von Patienten, die ein Delir entwickeln werden, vereinfachen [54], die Hirntoddiagnostik unterstützen [55] und die Verlegung eines Patienten von der Intensivstation effizienter gestalten [56]. Es konnte

gezeigt werden, dass durch ihren Einsatz Patienten schneller von der maschinellen Beatmung entwöhnt werden können [57]. Die Liegezeit der Patienten auf der Intensivstation war in einer Studie durch Checklisten-gestütztes Festlegen von patientenbezogenen Tageszielen („daily goals“) um 50% reduzierbar [58]. Das Vorkommen von Katheter-assoziierten Infektionen kann durch konsequenten Gebrauch einer Checkliste mit 5 evidenzbasierten Maßnahmen sogar nahezu komplett verhindert werden [59].

Im komplexen intensivmedizinischen Setting mit diversen verschiedenen Prozeduren und Eingriffen muss andererseits darauf geachtet werden, nur eine begrenzte Anzahl an Checklisten-gestützten Prozeduren zu definieren, um einer Checklistenmüdigkeit vorzubeugen [41]. Trotzdem besteht für die Anwendung dieses Instruments derzeit noch viel Verbesserungspotential. Es ist von Bedeutung eine sinnvolle Auswahl zu treffen, welche Prozeduren besonders von einer Checkliste profitieren können. Eine gute Einsatzmöglichkeit scheint hierbei die Intubation als ein auf Intensivstationen häufig durchgeführter, risikobehafteter Eingriff darzustellen [3].

1.5 Konzept und Fragestellung

Wir untersuchten, inwieweit die Anwendung einer halbautomatischen elektronischen Checkliste in einem simulierten Szenario einer dringlichen Intubation auf der Intensivstation den Ablauf der Intubation beeinflusst. Die Entwicklung der Checkliste wurde auf der Basis einer Literaturrecherche der Faktoren, die nach dem aktuellen Stand der Wissenschaft mit einem Sicherheitsgewinn für eine Intubation einhergehen, den Empfehlungen der aktuellen S3-Leitlinie zum Atemwegsmanagement und allgemein sicherheitsrelevanten Aspekten gemäß der CRM- Forschung entwickelt. Wir stellten die primäre Hypothese auf, dass durch den Einsatz der Checkliste die Anzahl an potenziell sicherheitsrelevanten Handlungen, welche bei einer Intubation durchgeführt werden, erhöht werden kann. Sekundäre Hypothesen waren, dass durch den Einsatz einer solchen Checkliste, die Dauer der Intubation nicht verlängert werden würde und dass sich das Teamverhalten hinsichtlich der nicht-technischen Fertigkeiten gemessen mit dem ANTS-Score verbessern lässt.

2 Material und Methoden

2.1 Studienort und Studiendesign

Die Studie fand in einem Patientenzimmer der Post-Anaesthesia Care Unit (PACU) der Klinik für Anästhesiologie mit Schwerpunkt operative Intensivmedizin des Campus Benjamin Franklin der Charité (CBF), Hindenburgdamm 30 in 12203 Berlin statt. Es handelte sich um eine prospektive Probandenstudie in einem simulierten Szenario.

Zehn Anästhesisten/-innen wurden über insgesamt fünf Monate bei Intubationen eines Atemwegstrainers beobachtet und gefilmt. Bei jeder Intubation wurden die Ärzte von jeweils zwei Intensivpflegekräften unterstützt. In der etwa einen Monat dauernden Kontrollphase durchlief jeder Anästhesist das Szenario genau zwei Mal. Anschließend wurden dieselben zehn Mitarbeiter erneut jeweils genau zwei Mal dabei beobachtet und gefilmt, wie sie ein zur Kontrollphase identisches Szenario durchliefen, diesmal jedoch unter Zuhilfenahme der audiovisuellen Checkliste. Die Checkliste umfasste 20 Punkte, die sowohl auf dem Display der Checkliste erschienen, als auch per Sprachausgabe hörbar gemacht wurden. Die einzelnen Schritte sollten den Anwender strukturiert durch eine sichere Intubation leiten. Vor der ersten Intubation jedes Probanden, in dem ihm die Checkliste zum ersten Mal zur Verfügung stand, erhielt er eine kurze Einweisung in deren Funktion und Handhabung.

Insgesamt durchlief jeder Arzt somit vier Durchgänge. Die jeweils erste Intubation in der Kontroll- und in der Interventionsphase (Durchgang 1 und Durchgang 3), sollte zur Eingewöhnung der Probanden in das Szenario dienen. Zur statistischen Auswertung wurde die jeweils zweite Intubation jeder Phase (Durchgang 2 und Durchgang 4) herangezogen. Die Datenbasis liegt damit bei 20 Einzelbeobachtungen. Die Reihenfolge der die Intubationen durchführenden Ärzte orientierte sich, sowohl in der Kontroll-, als auch in der Interventionsphase, zufällig am Dienstplan der teilnehmenden Mitarbeiter. Alle Intubationen wurden vom gleichen Beobachter gefilmt und begleitet. Es erfolgte eine Auswertung anhand eines vorher entworfenen voll standardisierten Beobachtungsprotokolls, des ANTS-Systems und der Videoaufzeichnungen. Abschließend fand eine schriftliche Anwenderbefragung zur Benutzung der Checkliste statt.

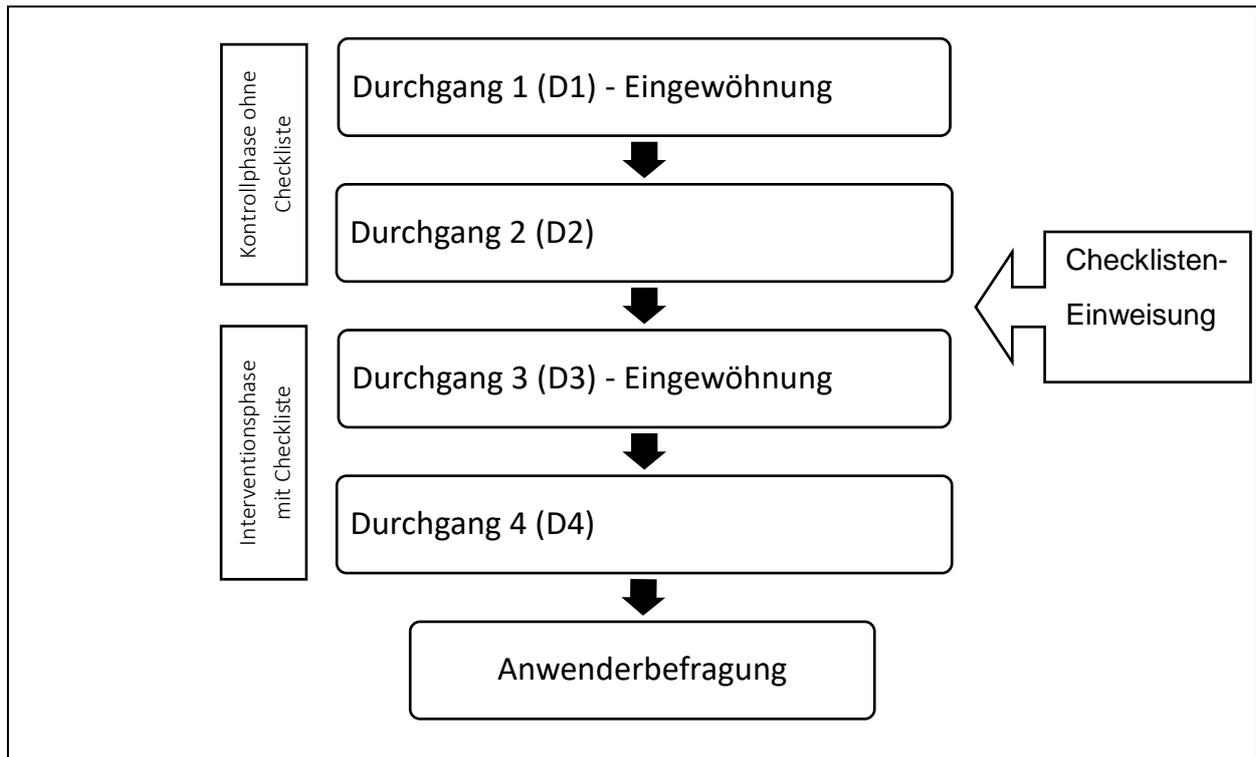


Abbildung 2-1 Studienablauf

2.2 Probanden, Ein- und Ausschlusskriterien

Die Probanden waren Ärzte und Pflegekräfte der Klinik für Anästhesiologie mit Schwerpunkt operative Intensivmedizin des CBF. Bei den Ärzten wurden Assistenz- und Fachärzte der Klinik, die ihre Einarbeitungszeit auf der Intensivstation bereits abgeschlossen hatten und ihre Zustimmung zur Teilnahme gaben, eingeschlossen. Oberärzte wurden von der Studie ausgeschlossen. Außerdem wurden die Mitarbeiter ausgeschlossen, die an der Entwicklung der Checkliste oder des Szenarios beteiligt waren. Von den Pflegekräften wurden alle auf der operativen Intensivstation des CBF tätigen Mitarbeiter eingeschlossen, die einer Teilnahme zustimmten. Neben den Namen der Probanden wurde außerdem ihre Intensiverfahrung dokumentiert. Ärzte und Pflegekräfte wurden unabhängig voneinander zu den festgelegten Terminen eingeteilt. Auf diese Weise entstanden 40 zufällig kombinierte Teams (je 20 vor und 20 nach der Intervention), die jeweils einen Arzt und 2 Pflegekräfte beinhalteten. Jeder Anästhesist kam sowohl vor als auch nach der Intervention genau zweimal zum Einsatz. Unabhängig von den Ärzten wurden zu jeder Intubation zwei Pflegekräfte aus dem Pool der teilnehmenden Intensivpflegekräfte, von der Pflegedienstleitung eingeteilt. Die Pflegekräfte kamen vor und nach der Intervention jeweils maximal dreimal zum Einsatz, wurden dabei jedoch nie demselben Arzt mehr als einmal zugeteilt.

Tabelle 2-1 Checklisten-Items mit Erwartungshorizont

Checklisten-Item (Sprachausgabe)	Mindestvoraussetzung zur Erfüllung
1. „Hinzuziehen eines Erfahrenen – Aktencheck vorheriger Intubationen – Erwäge Notkoniomobereitschaft“	Verbalisierung ob ein zweiter Arzt hinzugezogen werden sollte, Aktencheck bzgl. Vorheriger Intubationen, Verbalisierung ob Notkoniomobereitschaft nötig
2. „Kreisteil vorbereiten, maximaler Sauerstoffflow, Dichtigkeit prüfen“	Sauerstoffflow min. 10L/min, grobe Dichtigkeitsprüfung, Bestückung mit geeigneter Maske
3. „Kapnometrie etablieren und auf Funktionsfähigkeit prüfen“	Aktives Überprüfen des Vorhandenseins, grober Test mittels Atemluft (Ausschlag?)
4. „Absaugung an und Funktionsfähig? – Absaugen des Magens“	Funktionscheck der Absaugung Absaugen des Magens via Magensonde
5. „Bettgalgen entfernen – Lagerung des Patienten optimieren“	Galgen vom Bett entfernt verbesserte Jackson-Position
6. „Präoxygenierung über dichtsitzende Maske für mindestens 3 Minuten“	Dichter Maskensitz über mindestens 3 Minuten
7. „Rasche Infusion einer Vollelektrolytlösung“	Anhängen von 500ml Vollelektrolytlösung, rasch Infundieren
8. „Hypnotikum, Opiat und Relaxans vorbereiten“	- nicht bewertet!-
9. „Notfallmedikamente vorhanden?“	Atropin und Noradrenalin von Ort
10. „Monitoring komplett? QRS-Ton hörbar?“	Überprüfen der regelrechten Funktion von EKG, Sauerstoffsättigung, Blutdruck-messung; hörbarer QRS-Ton
11. „Laryngoskop einsatzbereit? – Tubus mit Führungsstab versehen?“	(paralleler Check oder Nachfrage), Lichtstärke ausreichend?, Tubuscuff ok?, Tubus mit Führungsstab versehen
12. „Geeigneter Guedeltubus verfügbar?“	Check ob Oropharyngealtubus in korrekter Größe vorhanden
13. „Videolaryngoskop vor Ort?“	Unmittelbare Verfügbarkeit muss aktiv überprüft werden
14. „Larynxmaske in geeigneter Größe verfügbar?“	Unmittelbare Verfügbarkeit muss aktiv überprüft werden
15. „Teamabsprache über geplantes Vorgehen, Strategie bei Intubationsproblemen festlegen“	Kurze Absprache über Procedere, Besonderheiten, Plan B bei Intubationsproblemen muss erfolgen
16. „Narkoseeinleitung und Intubation. Anschließend Tubusblockung – Beatmung über Kreisteil“	Alle Medikamente über 3-Wegehahn in laufende Infusion applizieren oder alternativ Nachspülen von Kochsalzlösung
17. „Verifikation der korrekten Tubuslage durch positive Kapnographiekurve“	Aktiver Sichtcheck über mehrere Atemzüge
18. „Ventilation seitengleich? Tubus sorgfältig fixieren“	Auskultation beider Lungenanteile, Tubusfixierung
19. „Lungenprotektive Beatmung am Respiator einstellen, Konnektion, Check der Vitalparameter“	Check aller Vitalparameter inklusive Kapnographiekurve Tidalvolumen 6ml/kg KG, PEEP>5 mmHg
20. „Dokumentation der Intubation“	- nicht bewertet!-

2.3 Werkzeuge der Datenerhebung

2.3.1 Entwicklung der Checkliste

Die einzelnen zu erfüllenden Schritte/Items der Intubationscheckliste, wurden durch verschiedene Verfahren ermittelt, zusammengetragen und angepasst. Durch eine Recherche der Literatur (z.B. [3]), wurden bereits beschriebene und validierte sicherheitsrelevante Schritte einer erfolgreichen Intubation herausgearbeitet. Diese wurden um allgemeine sicherheitsrelevante Aspekte und CRM-Leitsätze (z.B. dem 4-Augen Prinzip), wie sie auch in der Luftfahrt Anwendung finden, ergänzt. In einer Art Delphi-Verfahren [60], in das insgesamt 5 Fach- und Oberärzte der Abteilung einbezogen wurden, wurde unter Anpassung an die lokalen Begebenheiten der Station, stufenweise ein Erwartungshorizont entwickelt. Auf diesem basierend entstand eine Checkliste zur dringlichen Intubation auf der Intensivstation, die 20 Items umfasste (**Tabelle 2-1**).

2.3.2 Anpassung des Anesthetists' Non-Technical Skills (ANTS) - Systems

Um CRM assoziierte Verhaltensweisen im Simulator und auch in der Realität besser beobachten, diskutieren und objektivierbar machen zu können, entwickelten Fletcher et al. den ANTS Score [61]. Bei diesem handelt es sich um eine Adaption von non-technical

Behavioural markers for non-technical skills

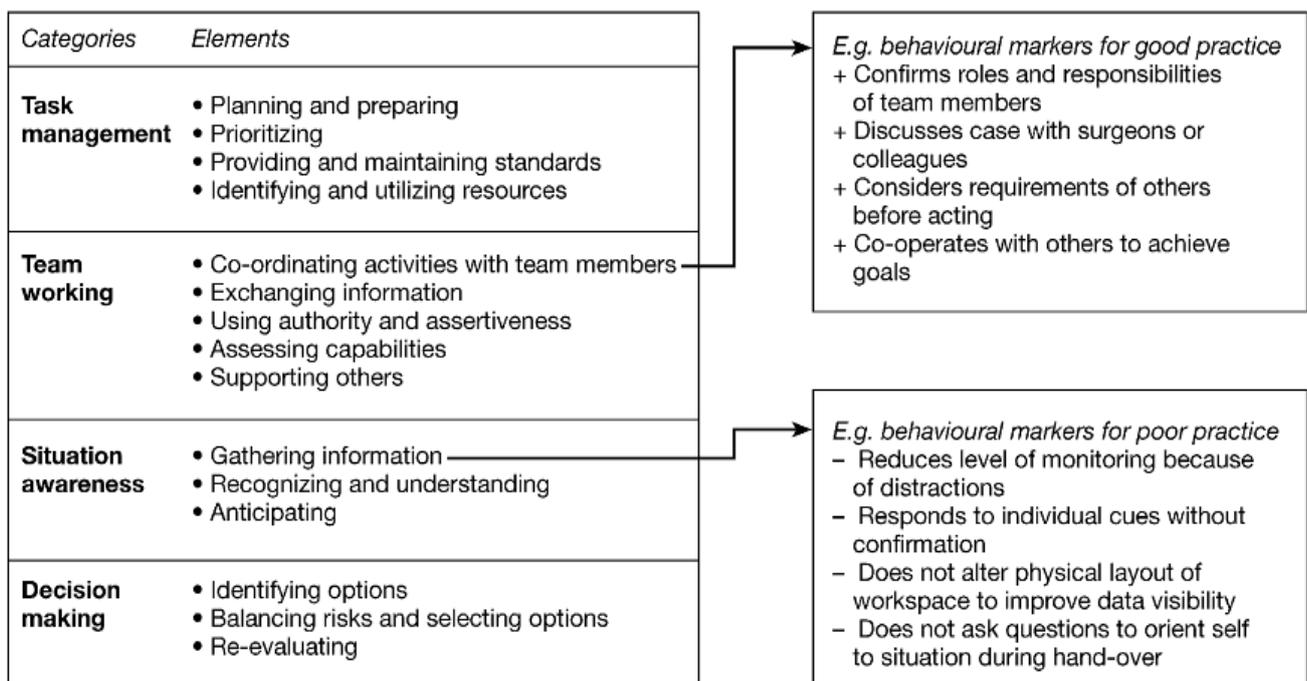


Abbildung 2-2

Das ANTS-System nach Fletcher [64]

skills Bewertungssystemen aus Luft- und Raumfahrt und deren Anpassung speziell auf die Belange der Anästhesie [37]. Das Ziel hierbei war es, eine robuste Maßeinheit zu erstellen, die möglichst wenig der subjektiven Interpretation der Beobachter unterliegt [61]. Im Unterschied zu älteren „behavioural marker“ Systemen (z.B.: [62], [63]) liegt beim ANTS der Fokus nicht auf dem gesamten Team, sondern nur auf dem Anästhesisten als Einzelperson. Die Entwicklung des ANTS Bewertungssystems stützte sich zum einen auf die Literaturrecherche und Analyse bestehender CRM-Programme (z.B. ACRM) und „behavioural marker“ Systeme und zum anderen auf mit 29 Anästhesisten geführte Interviews [61]. Anhand der so gewonnenen Daten wurde ein Bewertungssystem entwickelt, das die für die Anästhesie wichtigen, beobachtbaren, nicht-technischen Fertigkeiten umfasst, dabei leicht zu handhaben und für alle Beteiligten nachvollziehbar ist. Das originale ANTS-System umfasst die vier Hauptkategorien „*Task management*“, „*Team working*“, „*Situation awareness*“ und „*Decision making*“, die alle wiederum in jeweils drei bis fünf Unterkategorien eingeteilt sind (**Abbildung 2-2**). Für jedes dieser Elemente geben die Autoren einen Erwartungshorizont für besonders gutes und noch zu verbesserndes Verhalten, mit deren Hilfe der oder die Bewertenden das beobachtete Verhalten in eine von vier Bewertungsstufen einordnen können. Die sich ergebende Punktzahl von „1-Poor“, „2-Marginal“, „3-Acceptable“ oder „4-Good“ wird für jede der 15 Unterkategorien vergeben. Hieraus ergibt sich ein interindividuell vergleichbarer Wert, aber auch die Möglichkeit intraindividuelle Fortschritte objektiv vergleichen zu können. Weiterführende Untersuchungen bescheinigen dem ANTS System Validität, Reliabilität, sowie eine hohe Benutzerfreundlichkeit [37, 64].

Für die Untersuchung wurde der ANTS-Score leicht angepasst. Da es sich um ein klares Setting handelte, in dem der Anästhesist angehalten war den Patienten zu intubieren, wurde der Punkt „*Decision making*“ komplett aus der Wertung genommen. Auch die Unterpunkte „*Recognizing and understanding*“, sowie „*Anticipating*“ wurden nicht bewertet, da es sich um eine komplikationslose Intubation handelte und in das Szenario keinerlei unerwartete Ereignisse eingebaut waren. Schließlich wurde der Punkt „*Supporting others*“, der nur teilweise in dem Szenario zu beobachten war, da die Beobachtung nur auf den Vorgang der Intubation und der direkten Vorbereitung gerichtet war, in den Punkt „*Assessing capabilities*“ integriert. Es ergab sich ein angepasstes ANTS-System mit einer Maximalpunktzahl von 36 Punkten.

2.4 Aufbau und Durchführung

2.4.1 Versuchsaufbau

Die Intubationen fanden jeweils vor Beginn der Spätschicht an einem freien Behandlungsplatz in einem Zimmer der PACU statt. Es wurde ein Bett mit einem intubierbarem Atemwegtrainer vom Typ AMBU® M Megacode System W ausgestattet (**Abbildung 2-3-a**). Diese Puppe wurde mit EKG-Elektroden, einem Fingerclip zur Messung der peripheren Sauerstoffsättigung und einer abgeleiteten Magensonde versehen. Zusätzlich hatte das Megacode System bereits eine 18G Kanüle am rechten Unterarm.

Der Überwachungsmonitor wurde in den Demomodus umgestellt. Er zeigte eine konstante Sauerstoffsättigung von 95%, eine Atemfrequenz von 15 Zügen pro Minute, einen invasiv gemessenen arteriellen Blutdruck von 120/70 mmHg und eine Temperatur von 37°C an (**Abbildung 2-3-c**). Die Lautstärke des QRS-Tons wurde auf 0 (aus) gestellt. Die Anzeige konnte jederzeit um eine Kapnographiekurve ergänzt werden.

Das Kreisteil (Sulla 808V Narkosegerät Fa Dräger) und der Notfallwagen der Station wurden in das Patientenzimmer gestellt. In dem Notfallwagen befanden sich ein Laryngoskop mit verschiedenen Spateln, Guedeltuben, Larynxmasken und Tuben in diversen Größen, Führungsstäbe, ein Stethoskop und Atemmasken. Auch das Beatmungsgerät wurde bereits vor Beginn der Messung im Zimmer positioniert und in den Stand-by-Modus genommen. Durch das Öffnen des Deckels des Auffangbehälters der Absaugung wurde das System so präpariert, dass es undicht wurde und sich kein Sog aufbauen konnte.

Es wurden zwei Kameras zur Beobachtung vorbereitet, die die Szene aus verschiedenen Perspektiven festhielten. Die Erste fing das Kopfteil des Bettes und den darin befindlichen Atemwegtrainer ein. Außerdem befanden sich der Monitor, die Absaugung und das Beatmungsgerät in ihrem Sichtbereich. Die zweite Kamera filmte den Bereich um das Fußende des Bettes herum und bot außerdem Sicht auf den Notfallwagen und das im Hintergrund befindliche Kreisteil (**Abbildung 2-3-b**).

Weitere Materialien wurden vorbereitet, aber außerhalb der Sichtweite der Probanden gelagert. Es handelte sich hierbei um Spritzen mit den Aufschriften „Propofol“, „Esmeron“, „Fentanyl“, „Etomidat“, „Adrenalin“, „Noradrenalin“ und „Atropin“, eine Ringerlösung mit Heidelberger Verlängerung und angeschlossenem Dreiwegehahn, die Akte des

Patienten mit Informationen zu vorherigen Intubationen, Steckklaken zur Lagerung des Kopfes, sowie die Kapnographiecuvette.

In der Interventionsphase wurde der Versuchsaufbau noch um die audiovisuelle Checkliste ergänzt, die neben dem Monitor platziert wurde. Der Fußschalter zur Bedienung der Checkliste wurde auf dem Boden am Kopfende des Bettes positioniert.

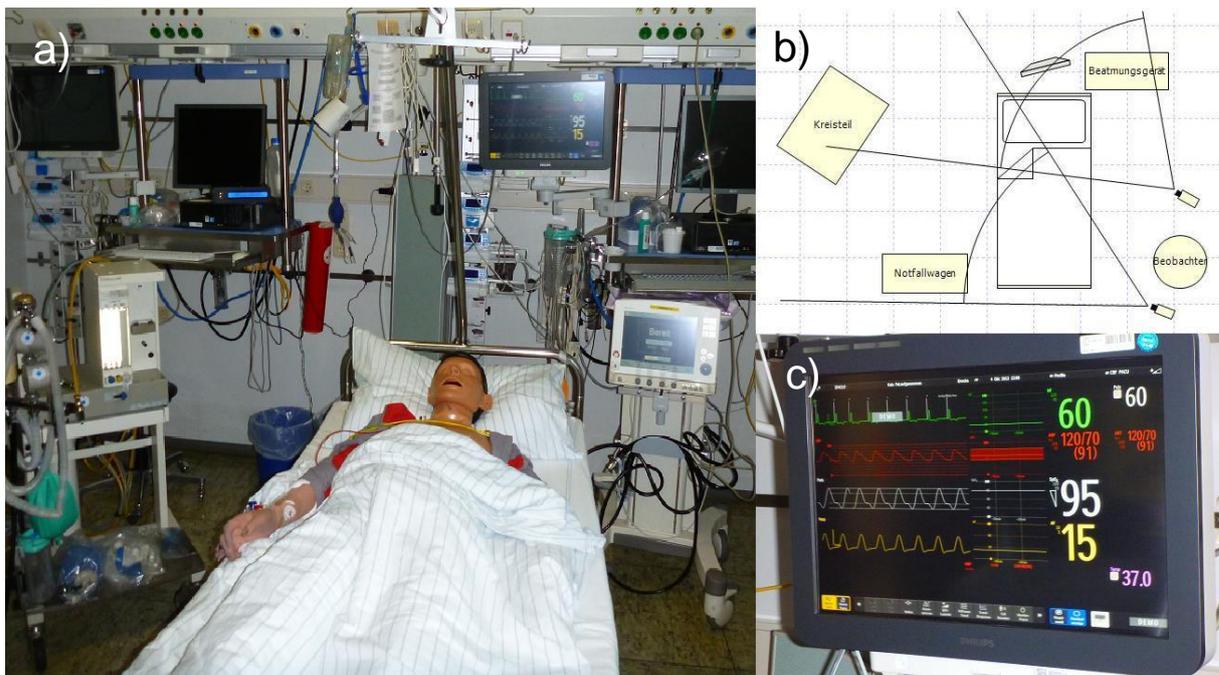


Abbildung 2-3

a): Versuchsaufbau; b): Kamerawinkel c): Monitor im Demomodus

2.4.2 Versuchsdurchführung

2.4.2.1 Kontrollphase

Die Beobachtungen fanden immer an einem Werktag zwischen 13.00 Uhr und 15.00 Uhr statt. Die Probanden trafen sich mit dem Beobachter auf der PACU und betraten gemeinsam das Zimmer, wo sie unmittelbar vor Beginn der Durchführung schriftlich die Information erhielten, dass es sich um einen 62-jährigen Patienten handle, der aufgrund einer respiratorischen Verschlechterung nun intubationspflichtig geworden sei. Es handle sich um eine dringliche, nicht aber um eine Notfallintubation. Als Zeitrahmen wurden maximal 15 Minuten angesetzt. Außerdem wurden alle Gruppen angehalten die anstehende Intubation genauso durchzuführen, wie sie es auf der Intensivstation in solch einem Fall tun würden. Hierzu wurden sie darauf hingewiesen, dass sie alle Ressourcen, die sie auch auf ihrer Intensivstation (44i des CBF) zur Verfügung hätten, anfordern könnten. Des Weiteren wurden sie informiert, dass sie keine Medikamente aufziehen

müssten, sondern dass sie auf Nachfrage beschriftete Spritzen zur Simulation erhalten würden. Nach dem sich der Beobachter versichert hatte, dass es keine weiteren Unklarheiten bei den Teilnehmern gab, startete er die Videoaufzeichnung und wies die Probanden an mit der Intubation zu beginnen.

Von hier an wurde nicht mehr in den Ablauf der Intubation eingegriffen. Die zielführende Gestaltung des Vorgangs wurde allein den Teams überlassen. Die Beobachtung endete mit dem Einstellen der Parameter des Beatmungsgerätes durch den intubierenden Arzt. Der gesamte Durchgang der Intubation, wurde immer von der gleichen Person gefilmt und beobachtet. Diese gab den Probanden außerdem die Einweisung, bediente die Kameras, verwaltete die Materialien, die sie erst auf Nachfrage an die Probanden aushändigte und füllte parallel das Beobachtungsprotokoll aus.

2.4.2.2 Interventionsphase

Der zweite Teil der Studie erfolgte in der Durchführung dann parallel zum ersten, wobei die Teilnehmer vor der Intubation in die Funktion und Handhabung der elektronischen Checkliste eingewiesen wurden. Es wurde den Probanden freigestellt wie sie die Checkliste bei der Durchführung ihrer Intubation einsetzten, sie wurden jedoch angehalten vor dem Abschluss der Intubation einmal alle Punkte der Checkliste angehört zu haben.

2.4.3 Anwenderbefragung

Nach Abschluss der Messungen wurden alle teilnehmenden Ärzte gebeten einen die Checkliste betreffenden Onlinefragebogen auszufüllen. Dieser umfasste insgesamt neun Fragen und Hypothesen, von denen acht voll standardisiert waren und eine die Möglichkeit für Freitext bot. Die ersten acht Punkte hatten als Antwortmöglichkeit jeweils eine Likert-Skala mit fünf ordinalskalierten Wahlmöglichkeiten. Bei den sechs Hypothesen *„Die Benutzung der Checkliste war hilfreich“*, *„Eine gedruckte Checkliste würde ich bevorzugen“*, *„Ich würde eine solche Checkliste routinemäßig in der Klinik anwenden wollen“*, *„Ich würde eine solche Checkliste im Rahmen von simulierten Szenarien verwenden wollen“*, *„Durch die Anwendung der Checkliste habe ich mich sicherer bei der Intubation gefühlt“* und *„Die Verwendung der Checkliste die Dauer der Intubation verlängert“* reichte die Skala von *„trifft voll zu“* bis *„trifft gar nicht zu“*. Auf die Frage *„Wie beurteilen Sie die Länge der Checkliste (Anzahl der Items)?“* konnten die Anwender zwischen fünf Punkten von *„zu kurz“* über *„genau richtig“* bis zu *„zu lang“* wählen. Die Handhabbarkeit der Checkliste konnte von *„sehr gut“* bis *„sehr schlecht“*

eingeorordnet werden und die Frage „*Welche wichtigen Items fehlen?*“ bot schließlich Raum für Freitext.

2.5 Auswertung

2.5.1 Auswertung der erfüllten sicherheitsrelevanten Schritte und der Zeiten

Die Auswertung erfolgte anhand des durch den Beobachter parallel zur Intubation ausgefüllten Protokolls und der Videoaufzeichnungen. Es handelte sich um ein vollstrukturiertes Protokoll, in dem die einzelnen Punkte nur als erfüllt oder nicht erfüllt markiert werden konnten. Die Ergebnisse der Live-Beobachtung konnten später unter Zuhilfenahme der Videoaufzeichnungen ergänzt beziehungsweise verbessert werden. Das Beobachtungsprotokoll enthielt 18 der 20 im Erwartungshorizont genannten Items (**Tabelle 2-1**), die zur Auswertung herangezogen wurden. Lediglich die Punkte 8 („*Einleitungsmedikamente vorbereiten*“) und 20 („*Dokumentation der Intubation*“) wurden nicht als eigene Punkte berücksichtigt. Punkt 8 wurde in der Auswertung mit der Narkoseeinleitung kombiniert. Hierbei wurde überprüft, ob das Hypnotikum und das Muskelrelaxans über den Dreiwegehahn bei laufender Infusion oder alternativ mit Nachspülen verabreicht wurden, was eine Vorbereitung der Medikamente voraussetzte. Aus diesem Grund wurde diese nicht noch einmal gesondert in die Auswertung einbezogen. Da es sich um einen fiktiven Patienten handelte, der nicht im Computersystem aufgenommen war, wurde die Dokumentation der Intubation in dem Szenario und folglich auch in der Auswertung nicht berücksichtigt. Die Intubation endete mit dem Einstellen des Beatmungsgerätes.

Zusätzlich wurde die Dauer des Vorgangs vom Startkommando bis zum Einstellen des Beatmungsgerätes und gesondert die für den Patienten kritische Zeit von der Gabe des Hypnotikums bis zur Tubusblockung gemessen. Hierzu wurden die Videoaufnahmen herangezogen, um die Zeit möglichst genau zu bestimmen. Die erfüllten Items, die Dauer der Intubation, so wie die Probandendaten in verschlüsselter Form, wurden für jeden Versuch dokumentiert und statistisch ausgewertet.

2.5.2 Auswertung der „non-technical skills“

Eine Auswertung der sogenannten „non-technical skills“ des Anästhesisten erfolgte anhand des ANTS-Score (vgl. **2.3.2**). Hierzu wurden zwei Medizinstudenten in der Benutzung des ANTS geschult und erarbeiteten unter der Anleitung eines Oberarztes der

Klinik für Anästhesiologie mit Schwerpunkt operative Intensivmedizin des Campus Benjamin Franklin der Charité anhand von Beispielvideos einen persönlichen Bewertungsmaßstab. Durch die weitere gemeinsame Sichtung von Filmaufnahmen simulierter Intubationen, die nicht Teil der Studie waren, sollte die Punktevariabilität der einzelnen Beobachter minimiert und aufeinander abgestimmt werden. Anschließend sichteten die zwei Beobachter die Videos der Studienintubationen unabhängig voneinander und vergaben Punkte in den einzelnen Kategorien. Danach setzten sie sich zusammen und glichen die Punktzahlen ab. Stimmt Werte in den einzelnen Kategorien nicht überein, so konnte in allen Fällen durch Diskussion und gegebenenfalls erneute gemeinsame Sichtung des Videomaterials ein eindeutiger Punktwert ermittelt werden.

2.6 Statistik

2.6.1 Fallzahlschätzung

Die Fallzahlschätzung für die Vorlage bei der lokalen Ethikkommission geschah durch das Institut für Biometrie und klinische Epidemiologie der Charité: Mit einer Fallzahl von $n = 10$ kann ein Mittelwertunterschied von 10 (Standardprocedere) vs. 16 (Checkliste) erfüllten Items auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ mit 80%iger Power nachgewiesen werden. Dabei wird von einer Standardabweichung der Differenzen von 6,0 ausgegangen. Die Fallzahlschätzung wurde mit der Software nQuery 6.0 durchgeführt. Die Zahlen für den angenommenen Mittelwertunterschied ergaben sich aus einer vorangegangenen Untersuchung von bisher unveröffentlichten Daten, welche den Einfluss einer ähnlichen audiovisuellen Checkliste für die Narkoseeinleitung einer elektiven Operation untersuchte. Hier kam es durch den Einsatz der Checkliste zu einer Zunahme der erfüllten sicherheitsrelevanten Schritte von 52% auf 92%, was umgerechnet auf die mögliche Gesamtanzahl erfüllter Items in dieser Arbeit, konservativ geschätzt, in etwa $n=10$ von insgesamt 18 Items (55%) beziehungsweise $n=16$ von 18 Items (88%) entspricht.

2.6.2 Statistische Analysen

Die statistische Auswertung erfolgte, nach Beratung durch das Institut für Biometrie und klinische Epidemiologie der Charité, mit Hilfe des Programm IBM SPSS Statistics 20. Die statistische Auswertung erfolgte dabei nur für die Durchgänge 2 und 4, da die jeweils ersten Intubationen mit und ohne Checkliste als Eingewöhnung in das Szenario dienen

sollten. Die Datenbasis sind somit 20 Einzelbeobachtungen von 10 Teilnehmern, als abhängige Variablen in einem Vorher-Nachher Setting.

Deskriptionen beinhalten absolute und relative Häufigkeiten für kategorielle, sowie Mediane, Quartile und ggf. Spannweite (Minimum, Maximum) für quantitative Merkmale.

2.6.2.1 Analyse der erfüllten Itemanzahl

Für die insgesamt erfüllten Items, wurde auf Grund der graphisch ermittelten überwiegend schiefen Verteilung der Daten, sowohl in Durchgang 2 als auch in Durchgang 4, der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test verbundener Stichproben verwendet. Als Signifikanz-Niveau wurde ein $p \leq 0,05$ festgelegt. Die Darstellung erfolgte für alle vier Durchgänge in Form von Box-Plot Diagrammen mit Darstellung von Median und Interquartilsabstand.

Für jeden einzelnen Teilnehmer, wurde der Verlauf der erfüllten Items über alle vier Intubationen hinweg, zusätzlich deskriptiv als farbcodiertes Kurvendiagramm dargestellt.

Die Erfüllungsrate für jedes einzelne beobachtete Item wurde als Prozentangabe in tabellarischer Form abgebildet.

2.6.2.2 Analyse der Intubationsdauer und des „kritischen Zeitintervalls“

Für die ermittelten Werte für die Gesamtdauer der Intubation und das kritische Zeitintervall (von Gabe des Hypnotikums bis zur Blockung des Tubus), ergaben die graphischen Analysen für die Durchgänge 2 und 4 ebenfalls keine Normalverteilung, so dass hier trotz der absoluten Skalenniveaus, ebenfalls der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test verbundener Stichproben mit einem Signifikanz-Niveau von $p \leq 0,05$ eingesetzt wurde.

Die graphische Darstellung erfolgte sowohl für die Gesamtdauer, als auch das kritische Zeitintervall, analog zur Analyse der erfüllten Itemzahl, als Boxplotdiagramm für das Kollektiv, beziehungsweise farbcodiertes Kurvendiagramm für die individuellen Teilnehmer.

2.6.2.3 Analyse der im ANTS erreichten Punktzahlen

Die erreichte Gesamtpunktzahl des ANTS kommt zwar aus dem Bereich der natürlichen Zahlen, welche sich jedoch aus verschiedenen Unterkategorien zusammensetzt. Die Anzahl der vergebenen Punkte unterscheidet sich deutlich innerhalb der einzelnen Unterkategorien. Da in diesem Zusammenhang eine zum Beispiel doppelt so hohe

Punktzahl, nicht automatisch ein doppelt so gutes Ergebnis bedeutet, klassifizierten wir die Gesamtpunktzahl im ANTS in Rücksprache mit dem Institut für Biometrie und klinische Epidemiologie der Charité als nicht metrische, sondern ordinalskalierte Skala. Demzufolge wurde für die Berechnung hier ebenfalls der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test verbundener Stichproben mit einem Signifikanz-Niveau von $p \leq 0,05$ eingesetzt.

Die graphische Darstellung erfolgte in diesem Fall nur für die Durchgänge zwei und vier als Boxplotdiagramme zum einen für die Gesamtpunktzahl, und zusätzlich noch einmal aufgeschlüsselt für die einzelnen Unterkategorien des ANTS.

2.6.2.4 Darstellung der Abschlussumfrage

Zur besseren Veranschaulichung wurden die Antworten für die einzelnen ordinalskalierten Fragen der Abschlussumfrage als horizontaler Boxplot mit Median und Interquartilsabstand dargestellt.

2.7 Material

2.7.1 Die elektronische Checkliste

Der Prototyp der elektronischen Checkliste ist ein Eigenbau (Kooperation mit TU Berlin Fachbereich „Elektronik und medizinische Signalverarbeitung“, Leiter Prof. Orglmeister).



Abbildung 2-4

die elektronische audio-visuelle Checkliste

Das Gerät bietet die Möglichkeit Sounddateien in einer sequentiellen Reihenfolge abzuspielen und gleichzeitig einen zugehörigen Text auf dem Display auszugeben. An der Geräteoberseite befindet sich ein Lautsprecher zur Ausgabe, die Lautstärke kann an der Rückseite reguliert werden. In die Front ist ein 2 x 40 Zeilen LC-Display integriert, über das der Text des jeweils aktuellen Items angezeigt wird. Über einen Fußschalter, der per Kabel an der Rückseite angeschlossen wird, kann zum nächsten Item gesprungen werden. Alternativ ist das Vor- und Zurückspringen zum nächsten/vorherigen Audioitem mit den Tasten neben dem Display möglich. Sowohl bei Bedienung per Fußschalter, als auch bei Benutzung der Tasten, erlaubt die Checkliste erst das nächste Item aufzurufen, nachdem das vorherige komplett abgespielt wurde. Die Stromversorgung wird über ein Netzteil gewährleistet (**Abbildung 2-4**).

2.7.2 Material und Software

Tabelle 2-2 Geräte

1. Kamera: Lumix DMC-FT3	Panasonic, Osaka, Japan
SDHC Card 16GB	SanDisk, Milpitas(CA), USA
2. Kamera: Handycam DCR-HC47	SONY Corporation, Tokyo, Japan
Premium Digital Videocassette DVM60	SONY Corporation, Tokyo, Japan
Laptop: HP Pavilion dv5	Hewlett-Packard Company, Palo Alto(CA), USA
AMBU® Mega Code System W	AMBU A/S, Ballerup, Dänemark
Sulla 808V Narkosegerät	Drägerwerk AG&Co KGaA, Lübeck, Deutschland
Servo-i® Ventilator	Maquet GmbH & Co. KG, Rattstadt, Deutschland
IntelliVue MX 800 Patientenmonitor	Royal Philips Electronics, Amsterdam, Niederlande
CAPNOSTAT® Mainstream CO2Senso	Royal Philips Electronics, Amsterdam, Niederlande
Medap Sekreterauger	Maquet GmbH & Co. KG, Rattstadt, Deutschland
L&C Arnold Krankenbett	Hill-Rom, Batesville(IN), USA
HEINE Standard F.O. NT Ladegriff 3,5V	HEINE Optotechnik, Herrsching, Deutschland
Classic + Mac, 3FO Spatel	HEINE Optotechnik, Herrsching, Deutschland

Tabelle 2-3 Software

Adobe Reader 8.0	Adobe Systems, Inc., San Jose(CA), USA
EndNote X5 für Windows Vista™	Thomson Reuters, Philadelphia(PA), USA
IBM SPSS Statistics 20 für Windows Vista™	IBM, Armonk(NY), USA
Microsoft Office 2007 für Windows Vista™	Microsoft Corporation, Redmond(WA), USA
Room Arranger 6	Room Arranger, Prag, Tschechische Republik
SPU Tapelimporter	SONY Corporation, Tokyo, Japan

Tabelle 2-4 Material

Mallinckrodt Hi-Lo oral/nasal Trachealtubus 7,5	Covidien plc, Dublin, Irland
LMA Unique Larynxmaske Gr. 3,4,5	The Laryngeal Mask Company, St. Helier, Jersey
Rüsch PVC Guedeltubus Gr. 3,4,5	Teleflex Medical GmbH, Kernen, Deutschland
Atemmaske LiteStar® Gr. 5	Drägerwerk AG&Co KGaA, Lübeck, Deutschland
Silomed Silikon-Spray	Megro Gbmg&Co KG, Wesel, Deutschland
Steridian Absaugkatheter Gerade 60cm	Pfm medical AG, Köln, Deutschland
500ml Jonosteril® Infusionslösung	Fresenius Kabi, Bad Homburg, Deutschland
Infudrop® Infusionssystem	Fresenius Kabi, Bad Homburg, Deutschland
Discofix® C3SC 3-Wege-Hahn	B. Braun Melsungen AG, Melsungen, Deutschland
10ml Spritze BD Discardit II	Becton Dickinson, Franklin Lakes(NJ), USA
20ml Spritze Braun Injekt Luer Solo	B. Braun Melsungen AG, Melsungen, Deutschland

2.8 Ethik

Die Untersuchung wurde von der Ethikkommission des CBF genehmigt. Es erfolgten schriftliche Einwilligungen aller Probanden zur Teilnahme an der Studie und zur begleitenden Videoaufzeichnung, wie es von der Kommission gefordert wurde. (Ethikantrag Nummer: EA4/045/12)

3 Ergebnisse

3.1 Das Probandenkollektiv

Unter Berücksichtigung der Einschlusskriterien konnten zehn Anästhesisten/-innen für die Beobachtungen gewonnen werden. Sechs von ihnen waren männlich, vier waren weiblich. Die Intensivverfahren der Teilnehmer/-innen zum Zeitpunkt der ersten Studienintubation lag zwischen 2 und 36 Monaten. Bei zwei Mitarbeitern handelte es sich um Fachärzte (1m 1w), die restlichen 8 waren Assistenzärzte in der Weiterbildung.

Tabelle 3-1 Kollektiv der ärztlichen Teilnehmer

Bezeichnung:	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
Farbcode:										
Intensivverfahren in Monaten:	36	24	18	4	18	6	2	18	4	6

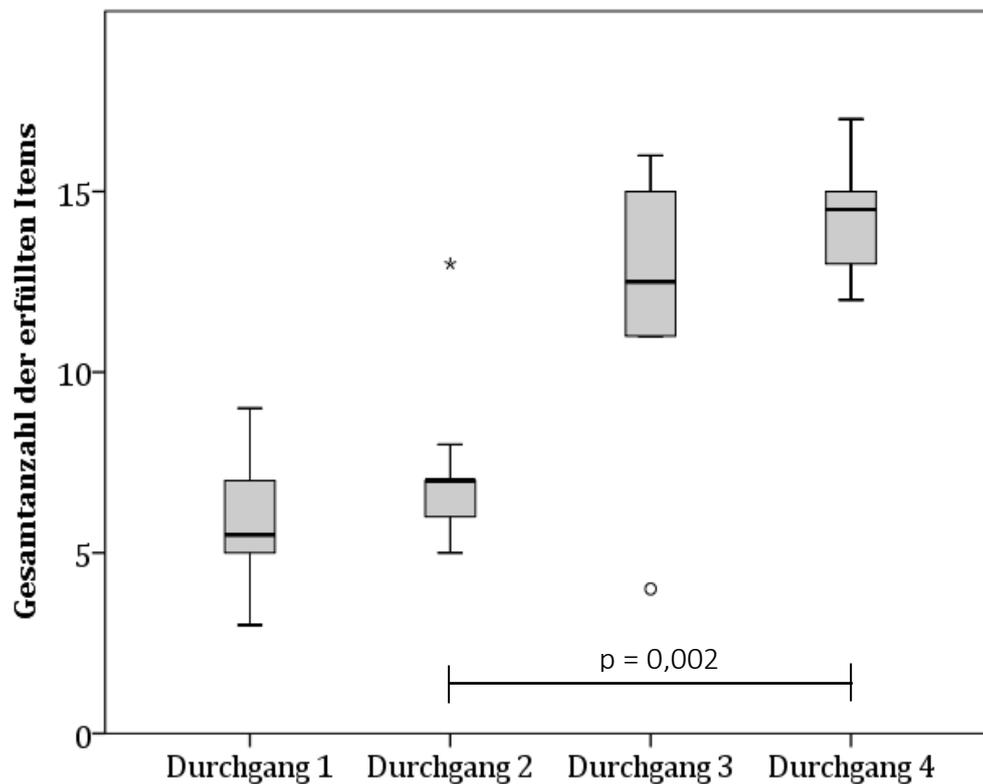
Von den Intensivpflegekräften der Station erklärten sich 45 Mitarbeiter/-innen der Klinik zur Teilnahme an der Untersuchung bereit. Sieben von ihnen waren männlich, der Großteil mit 38 Teilnehmerinnen war weiblich. Die Intensivverfahren der Teilnehmer/-innen lag in einer Spanne zwischen einem Monat und 30 Jahren.

Die durchgeführten Beobachtungen fanden in einem Zeitraum von fünf Monaten statt, wobei die Interventionsphase erst begann, nachdem alle ärztlichen Probanden beide Durchgänge der Kontrollphase durchlaufen hatten.

3.2 Durchgeführte sicherheitsrelevante Schritte

3.2.1 Gesamtanzahl

Die Auswertung der sicherheitsrelevanten Schritte erfolgte durch einfache Summierung der im Beobachtungsprotokoll als erfüllt markierten Punkte. Hierbei wurden alle Items identisch gewichtet. Eine Analyse erfolgte über alle vier Intubationen. Eine statistische



Erläuterung:

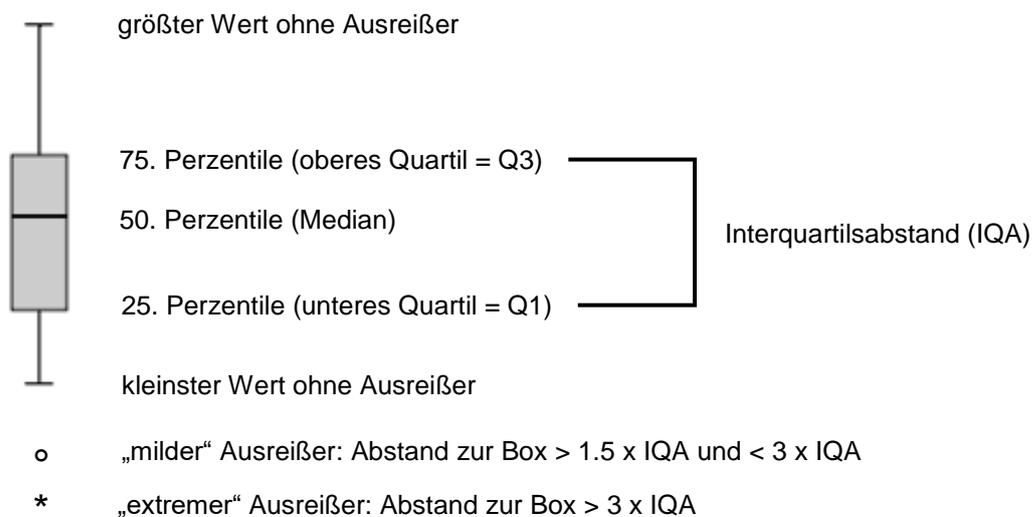


Abbildung 3-1 Gesamtanzahl der erfüllten sicherheitsrelevanten Schritte

Auswertung mittels Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test verbundener Stichproben zum Vergleich der Kontroll- und Interventionsphase erfolgten jeweils für die zweite Intubation (Durchgang 2 und Durchgang 4) Die jeweils ersten Intubationen eines Abschnitts (Durchgang 1 und Durchgang 3) dienten zur Eingewöhnung der Probanden in das Szenario, beziehungsweise in die Handhabung der elektronischen Checkliste.

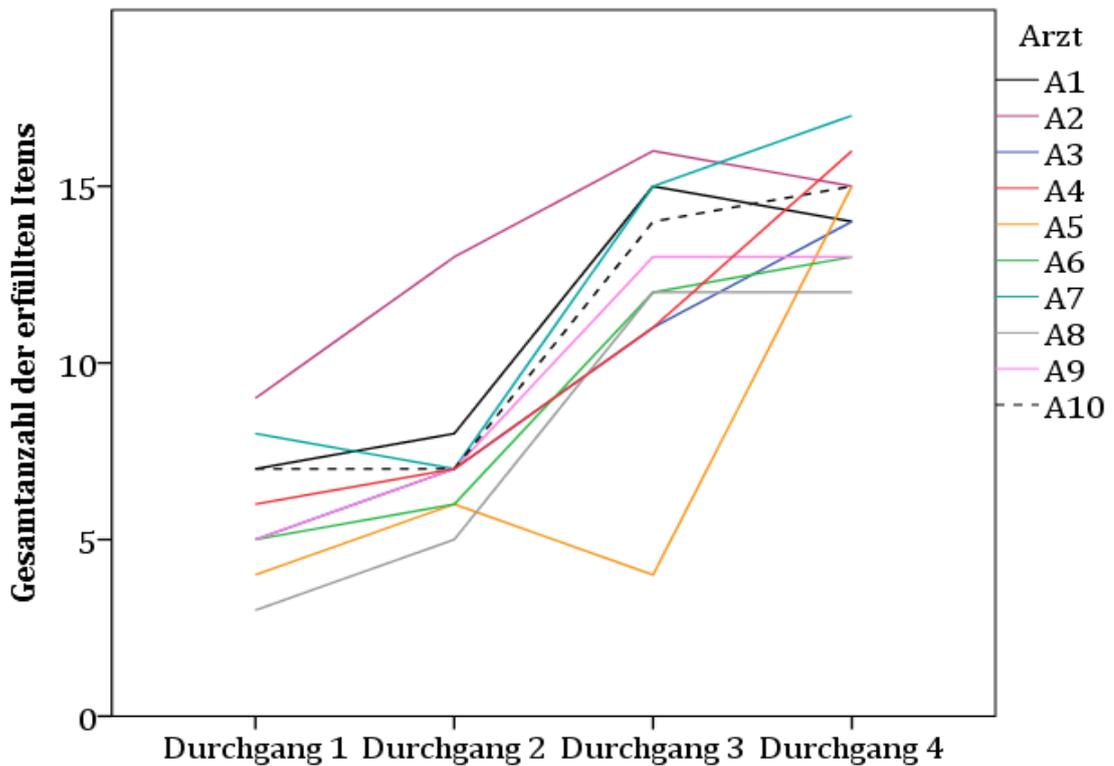


Abbildung 3-2 Gesamtanzahl an erfüllten sicherheitsrelevanten Schritten je Arzt im Verlauf über die vier Intubationen

Von den insgesamt 18 beobachteten sicherheitsrelevanten Schritten, wurden im Durchgang 2 der Kontrollphase im Median sieben so ausgeführt, dass der Erwartungshorizont erfüllt wurde ($Q1 = 6,0$; $Q3 = 7,25$). Die Spanne hierbei lag zwischen fünf und dreizehn erfüllten Punkten. In der Interventionsphase stieg die Gesamtzahl der komplettierten Schritte signifikant auf einen Median von 14,5 ($Q1 = 13$; $Q3 = 15,25$; $p = 0,002$) in Durchgang 4. Der kleinste gemessene Wert betrug hier 12, der größte 17 durchgeführte Maßnahmen. Auch innerhalb der Kontrollphase (Durchgang 1 zu Durchgang 2) stieg die Zahl der erfüllten sicherheitsrelevanten Schritte sichtbar an. Innerhalb der zwei Intubationen der Interventionsphase (Durchgang 3 und Durchgang 4) ist die beobachtete Veränderung nicht sehr stark ausgeprägt und zeigt allenfalls eine Tendenz der weiteren Zunahme.

Betrachtet man die Anzahl der erfüllten sicherheitsrelevanten Schritte für jeden Teilnehmer im Verlauf über die vier durchgeführten Intubationen gesondert, zeigt sich mit wenigen Ausnahmen eine kontinuierliche Zunahme in der Zahl der durchgeführten Maßnahmen über den Beobachtungszeitraum. Jeder einzelne Teilnehmer erfüllte im vierten Durchgang mehr der Checklistenitems als in der Kontrollphase ohne das Hinzuziehen der Checkliste (**Abbildung 3-2**). Nicht alle Probanden profitierten von der durchgeführten Eingewöhnung in der jeweiligen Phase. Sowohl in der Kontroll- als auch in der Interventionsphase, erreichten manche Teilnehmer höhere Punktzahlen im Eingewöhnungszeitraum, als in der späteren tatsächlichen Beobachtung.

3.2.2 Erfüllungsraten der einzelnen Items

Eine Einzelbetrachtung der ausgewerteten sicherheitsrelevanten Schritte zeigt für 16 der 18 ausgewerteten Items eine Zunahme in der Erfüllungsrate bei Benutzung der Checkliste. Ein Unterpunkt wurde bereits in der Kontrollphase zu einhundert Prozent erfüllt, so dass keine Steigerung mehr möglich war. Lediglich das Überprüfen der regelrechten Funktion der Absaugpumpe wurde in der Interventionsphase seltener durchgeführt als ohne Benutzung der Checkliste (**Tabelle 3-2**).

Tabelle 3-2 Erfüllungsraten der einzelnen Items für den jeweils zweiten Durchgang aus Kontroll- und Interventionsphase in Prozent

Checklisten Item	Erfüllungsrate in %	
	Kontrollphase (D2)	Interventionsphase (D4)
Vorbereitung *	0	50
- Hinzuziehen eines Erfahrenen	0	90
- Aktencheck vorheriger Intubationen	20	70
- Erwäge Notkoniotomie	0	70
Kreisteil *	30	50
- Maximaler Sauerstoffflow	100	100
- Dichtigkeit prüfen	30	50
- mit Maske bestücken	100	100
Kapnometrie *	0	40
- Kapnometrie anschließen	80	100
- Funktionstest mittels Atemluft	0	40
Absaugung *	50	40
- laufende Absaugung	100	100
- Funktionstest	50	40
- Magensonde abgesaugt	90	100
Positionierung *	50	70
- Lagerung des Kopfes optimiert	50	70
- Patientenaufrichter vom Bett entfernt	100	100
Präoxygenierung (>3 Min)	20	60
Vollelektrolytlösung	70	100
Notfallmedikamente bereit	30	100
komplettes Monitoring	80	100
Laryngoskop *	50	80
- paralleler Check oder Nachfrage	70	90
- Lichtstärke ausreichend	100	90
- Tubuscuff geprüft	60	100
- Tubus mit Führungsstab versehen	100	100
Guedeltubus in korrekter Größe	0	100
Videolaryngoskop vor Ort	30	100
Larynxmaske verfügbar	20	100
Strategie bei Intubationsproblemen festlegen	0	90
Einleitungsmedikamente über Dreiwegehahn oder mit Nachspülen	70	100
Verifikation der Tubuslage durch positive Kapnographiekurve	70	90
Seitengleiche Ventilation *	100	100
- Auskultation beider Lungenanteile	100	100
- Tubusfixierung	100	100
Beatmung *	60	70
- Lungenprotektive Beatmung	100	100
- Abschließender Vitalparametercheck	60	70
* gilt nur bei Durchführung aller Unterpunkte als erfüllt		

3.3 Gesamtdauer und „kritisches Zeitintervall“

3.3.1 Gesamtdauer des Szenarios

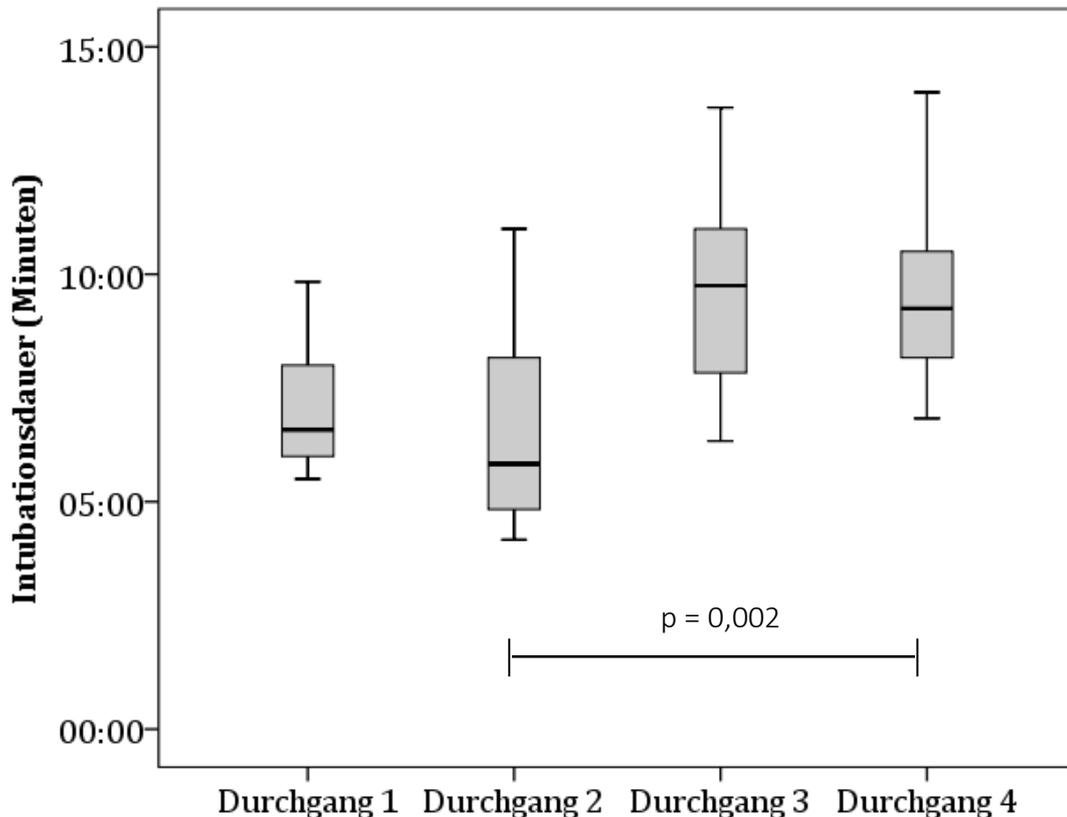


Abbildung 3-3 Gesamtdauer der Intubation in Minuten

Die Gesamtdauer des Intubationsszenarios vom Startkommando bis zur Einstellung des Beatmungsgerätes wurde für alle Durchgänge bestimmt.

Während die Intubationsdauer innerhalb der Kontrollphase (Durchgang 1 zu Durchgang 2) und innerhalb der Interventionsphase (Durchgang 3 zu Durchgang 4) keine relevanten Unterschiede aufzuweisen scheint, dauerten die Intubationen mit Benutzung der Checkliste signifikant länger als ohne (Durchgang 2 zu Durchgang 4 $p=0,002$). Die Gesamtdauer verlängerte sich von einem Median von 5:50 Minuten (Q1 = 4:50 Minuten; Q3 = 8:15 Minuten) in Durchgang 2 auf 9:15 Minuten (Q1 = 8:07 Minuten; Q3 = 10:52 Minuten) in Durchgang 4. Die längste Intubation der Interventionsphase dauerte 14:00 Minuten, die kürzeste 6:20 Minuten (**Abbildung 3-3**).

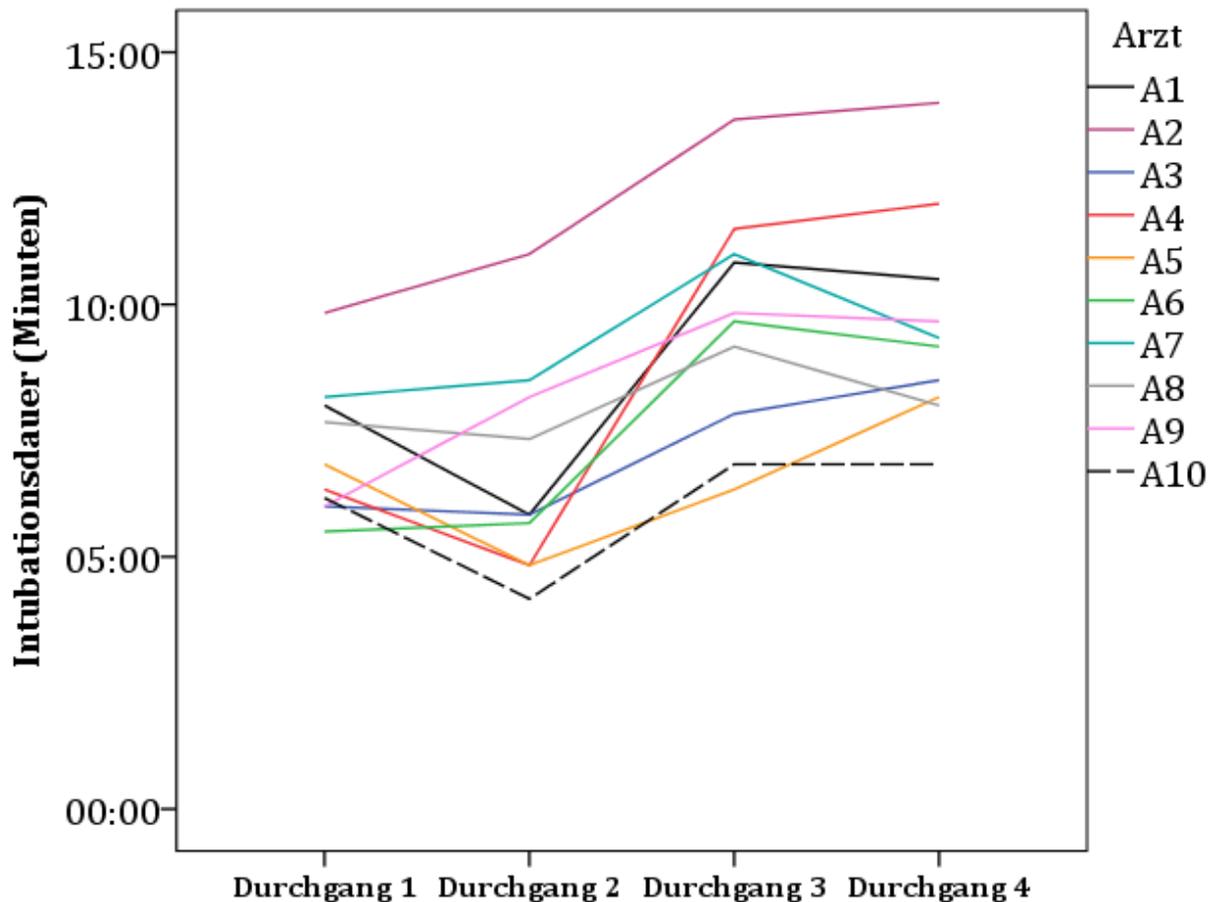


Abbildung 3-4 Verlauf der individuellen Intubationsdauer über alle vier Intubationen in Minuten

Betrachtet man die Zeitverläufe für jeden Arzt individuell, so brauchte jeder einzelne bei Benutzung der Checkliste mehr Zeit zum durchlaufen des gesamten Szenarios, als dies in der Kontrollphase der Fall war.

Innerhalb von Kontroll- und Interventionsphase lässt sich für die Gesamtzahl der Ärzte kein eindeutiger Auf- oder Abwärtstrend der Intubationsdauer erkennen.

3.3.2 „kritisches Zeitintervall“

Die Zeit zwischen Gabe des Hypnotikums und Blockung des Tubus wurde, da sie für den Patienten durch Erlöschen seiner Schutzreflexe die potentiell höchste Bedrohung während einer Intubation darstellt, als kritisches Zeitintervall definiert.

Der Median der kritischen Zeiten nahm über den Verlauf der vier Intubationen kontinuierlich ab. Von der jeweils ersten zur zweiten Intubation innerhalb der zwei Phasen ist eine Reduktion der Wertestreuung zu erkennen. Die Spannweite der kritischen

Zeitspanne nimmt in der Kontrollphase von 02:31 Minuten in Durchgang 1 auf 00:58 Minuten in Durchgang 2 ab. In der Interventionsphase (Durchgang 3 und Durchgang 4) reduziert sich die Spannweite von 03:18 auf 00:35 Minuten.

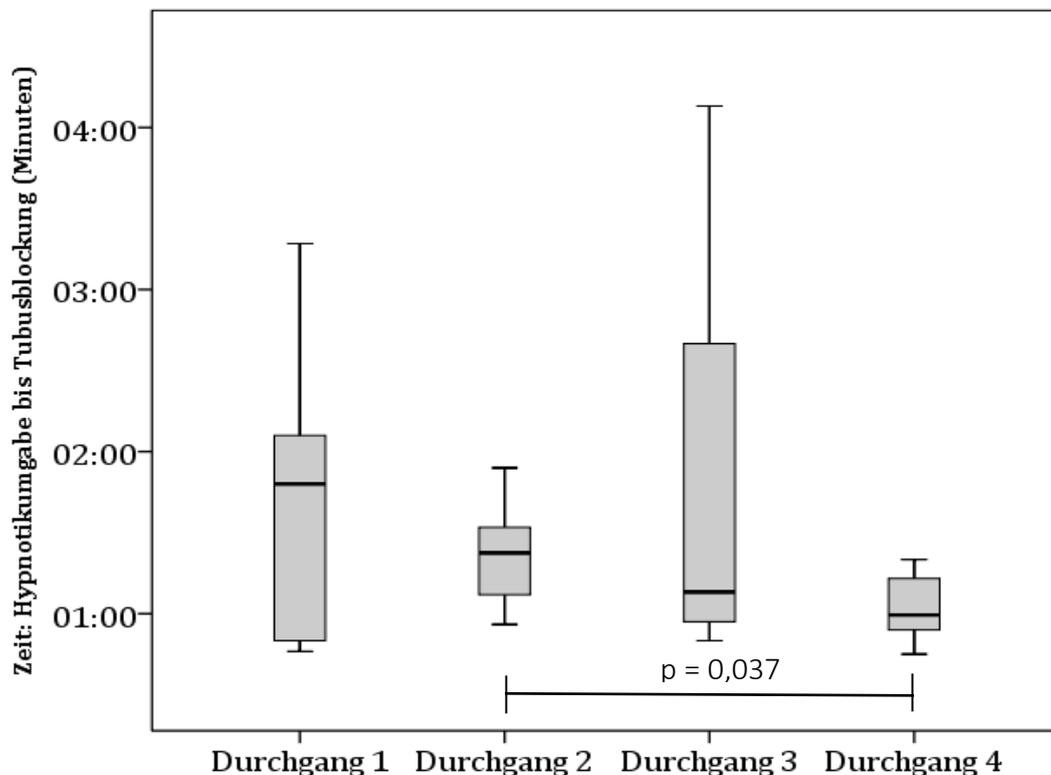


Abbildung 3-5 Kritische Zeiten, definiert als Zeit zwischen Gabe des Hypnotikums und Blockung des Tubus in Minuten

Vergleicht man die jeweils zweite Intubation von Kontroll- und Interventionsphase (Durchgang 2 und Durchgang 4), so nimmt das kritische Zeitintervall unter Benutzung der Checkliste signifikant ab ($p = 0,037$). Die kritischen Zeiten in Durchgang 2 liegen zwischen 00:56 und 01:54 Minuten bei einem Median von 01:22 Minuten (Q1 = 01:04 Minuten; Q3 = 01:32 Minuten), die in Durchgang 4 zwischen 00:45 und 01:20 Minuten, der Median beträgt hier 00:59 Minuten (Q1 = 00:53 Minuten; Q3 = 01:14 Minuten). Die über alle Intubationen beobachtete für den Patienten längste kritische Zeitspanne findet man mit 04:08 Minuten in Durchgang 3, die kürzeste mit 00:45 Minuten in Durchgang 4. Eine individuelle Auswertung der Ärzte und Ärztinnen zeigt, dass die kritische Zeit von der zweiten Intubation der Kontrollphase, hin zur zweiten

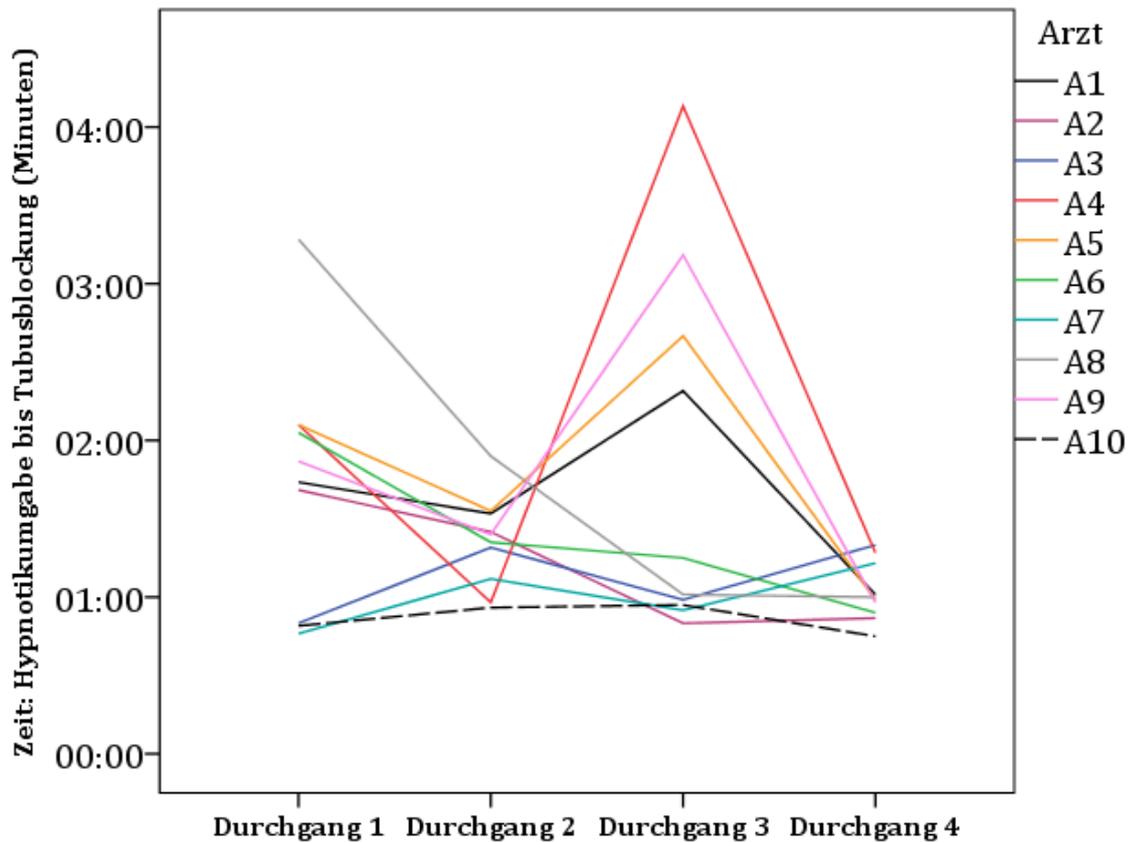


Abbildung 3-6 Verläufe der kritischen Zeiten über alle vier Intubationen je Arzt in Minuten

Intubation mit Checkliste (Durchgang 2 zu Durchgang 4) in sieben der zehn Fälle abnimmt. In einem Fall bleibt die kritische Zeit nahezu konstant ($\Delta t = 2s$) und lediglich in zwei Fällen kommt es zu einer Verlängerung der kritischen Zeitspanne ($\Delta t = 6s$ bzw. $19s$).

3.4 ANTS

Die Auswertung der „non-technical skills“ mittels ANTS-System wurde für die jeweils zweite Beobachtung aus Kontroll- und Interventionsphase durchgeführt. Von den maximal 36 erreichbaren Punkten wurden von den Beobachtern im zweiten Durchgang der Kontrollphase im Median 18,50 Punkte (Q1 = 13,00 Punkte; Q3 = 23,00 Punkte) vergeben. Die Spanne lag zwischen 11 und 24 Punkten. In der Interventionsphase wurden minimal 26 Punkte vergeben.

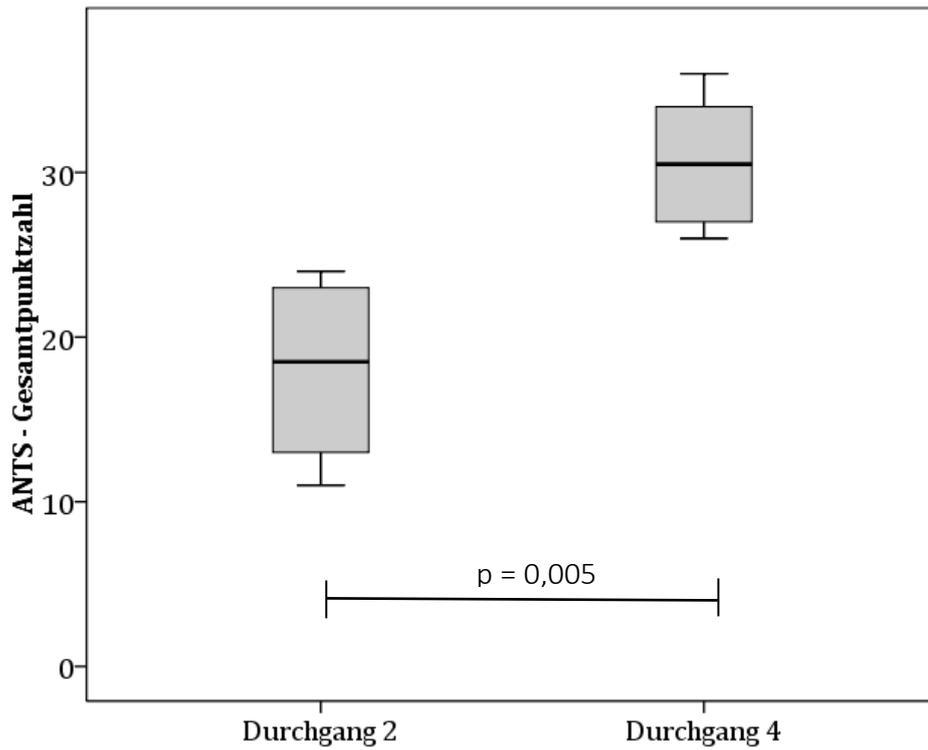


Abbildung 3-7 Anzahl der erreichten Punkte (von 36 maximal möglichen) für die jeweils zweite Intubation in Kontroll- und Interventionsphase.

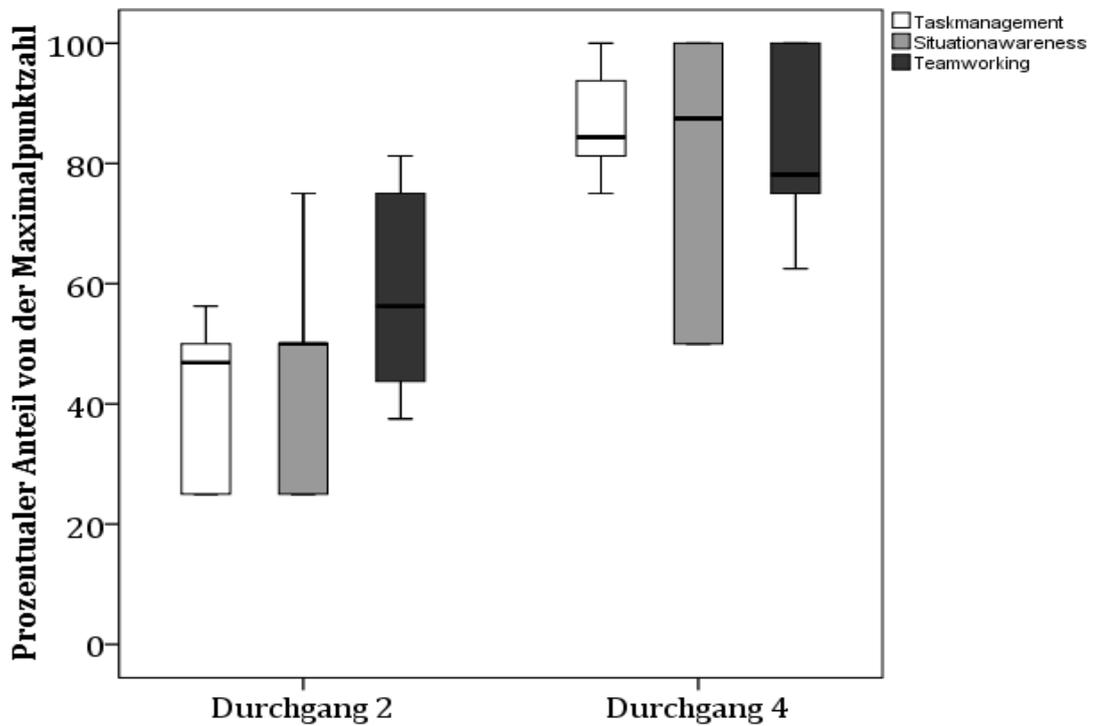


Abbildung 3-8 Prozentualer Anteil der vergebenen Punkte von der Gesamtpunktzahl für die verschiedenen Fertigkeiten-Kategorien des ANTS-Systems.

Der Median in Durchgang 4 betrug 30,50 Punkte (Q1 = 27,00 Punkte; Q3 = 34,25 Punkte). In einem Fall wurde die Maximalpunktzahl von 36 Punkten erreicht. Eine Analyse mit dem Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test verbundener Stichproben, ergab einen hoch signifikanten Unterschied der beiden Gruppen ($p < 0,005$). Eine gesonderte Betrachtung der einzelnen Fertigkeiten-Kategorien des ANTS-Systems ist in **Abbildung 3-8** dargestellt.

In den verschiedenen Kategorien konnten unterschiedliche Maximalpunktzahlen erreicht werden (vgl. **2.3.2**). In den Bereichen Taskmanagement und Teamworking betrug die maximal erreichbare Punktzahl jeweils 16, in der Kategorie Situationawareness lag sie bei 4 Punkten.

3.5 Umfrageergebnis

Tabelle 3-3 zeigt die Ergebnisse der abschließenden Online-Umfrage, die von allen zehn ärztlichen Teilnehmern bearbeitet wurde. Die Anwender bewerten die Checkliste im Allgemeinen als hilfreiches Werkzeug, dessen Anwendung für die Benutzer in der Klinik, vor allem aber in Trainingsszenarien gut vorstellbar ist. Hierbei gehen die Meinungen stark auseinander ob die elektronische Checkliste einer papierbasierten vorzuziehen ist. Verbesserungspotential besteht laut dem Umfrageergebnis noch in der Handhabung der Checkliste, wobei in den abgegebenen Kommentaren vor allem die mäßige Audioqualität angesprochen wurde und in der Länge der Checkliste bzw. der dadurch verlängerten Gesamtdauer der Intubation. Ein Vorschlag hierzu war eine stichpunktartigere Ausgabe der Items.

Auf die Frage welche wichtigen Items fehlen würden, kam der Vorschlag das Vorhandensein eines Beatmungsbeutel zu überprüfen.

Tabelle 3-3 Abschlussbefragung

Frage	Graphik	Antwortenschlüssel	Ø
1. Wie beurteilen Sie die Länge der Checkliste? (Anzahl der Items)		1 "zu kurz" 2 3 "genau richtig" 4 5 "zu lang"	3,7
2. Die Benutzung der Checkliste war hilfreich		1 "trifft voll zu" 2 3 4 5 "trifft gar nicht"	1,5
3. Eine gedruckte Checkliste würde ich bevorzugen		1 "trifft voll zu" 2 3 4 5 "trifft gar nicht"	3,0
4. Ich würde eine solche Checkliste routinemäßig in der Klinik anwenden wollen		1 "trifft voll zu" 2 3 4 5 "trifft gar nicht"	2,2
5. Ich würde eine solche Checkliste im Rahmen von simulierten Szenarien verwenden wollen		1 "trifft voll zu" 2 3 4 5 "trifft gar nicht"	1,8
6. Durch die Anwendung der Checkliste habe ich mich sicherer bei der Intubation gefühlt		1 "trifft voll zu" 2 3 4 5 "trifft gar nicht"	2,2
7. Wie beurteilen Sie die Handhabung der Checkliste?		1 "sehr gut" 2 3 4 5 "sehr schlecht"	2,5
8. Die Verwendung der Checkliste hat die Dauer der Intubation verlängert		1 "trifft voll zu" 2 3 4 5 "trifft gar nicht"	2,3

4 Diskussion

4.1 Einfluss der Checkliste

4.1.1 Erfüllte sicherheitsrelevante Schritte

Die von uns postulierte Hypothese eine Checkliste könne die Anzahl durchgeführter definierter Arbeitsschritte erhöhen und damit die Prozess-Komplettierung steigern, konnte bestätigt werden (**Abbildung 3-1**). Durch den Einsatz der Checkliste konnte die Rate an vollständig erfüllten sicherheitsrelevanten Schritten von 30% in der Kontrollphase auf etwa 80% gesteigert werden. Eine Übersichtsarbeit von Borchard et al. aus dem Jahr 2012 ermittelte eine allgemeine mittlere Checklisten-Erfüllungsrate von 75%. Hierzu analysierten die Autoren 22 Studien, die die Auswirkungen von Checklisten, hauptsächlich der WHO Checkliste, untersuchten [65]. Obwohl die vollständig korrekte Ausführung einer Checkliste zwar erstrebenswert wäre, ist eine zu 100% genaue Durchführung nicht zwingend erforderlich, damit positive Effekte auf die Patientensicherheit verzeichnet werden können. So erzielten Jaber et al. mit ihrem „Intubationsbundle“ eine nachweisliche Reduktion von Morbidität und Mortalität bei einer Erfüllungsrate von 75% [3].

Eine detaillierte Betrachtung der einzelnen sicherheitsrelevanten Schritte (**Tabelle 3-2**) zeigt, dass insbesondere Punkte welche die Verfügbarkeit einzelner Utensilien überprüfen, von der Checkliste profitierten, da diese in der Kontrollgruppe besonders niedrige Erfüllungsraten aufwiesen. Die Überprüfung der korrekten Funktion der verwendeten Geräte und Materialien, sowie das Kontrollieren des Bestands nicht unmittelbar benötigter Materialien wurden in der Kontrollphase kaum durchgeführt. Inwieweit die Anwender diese Überprüfungen vergaßen oder sie bewusst unterließen, weil sie sich auf die korrekte Bestückung des Notfallwagens verließen, ist nicht zu differenzieren. Jedoch wurden auch Materialien, welche sich nicht auf dem Notfallwagen befinden und im Szenario einzeln angefordert werden mussten (Notfallmedikamente, Videolaryngoskop), bei Einsatz der Checkliste deutlich häufiger vorbereitet. War über die Verfügbarkeitsprüfung hinaus noch ein Funktionstest der eingesetzten Materialien gefordert (z.B. Absaugung, Kreisteil), profitierten diese Punkte kaum oder gar nicht vom Einsatz der Checkliste. Die vor jeder Beobachtung manipulierte Absaugung, welche nicht in der Lage war einen Sog aufzubauen, fiel den Probanden auch in der

Interventionsphase nur in 40% der Fälle auf. Im Falle des Kreisteils gab ein Anwender zu, nicht zu wissen, wie man dieses auf Dichtigkeit überprüfe oder eine mögliche Undichtigkeit zu beheben. Hier wird deutlich, dass Checklisten keinesfalls in der Lage sind fehlende praktische Erfahrungen, Lücken in der Ausbildung technischer Fertigkeiten oder fehlende Geräteeinweisungen zu kompensieren. Funktionsprüfungen auch in Notfallsituationen, zum Beispiel von Narkosegeräten, können schwere Zwischenfälle verhindern (z.B.: [66]) und werden auch von der DGAI zur Gewährleistung der Patientensicherheit empfohlen [67]. Hier scheinen jedoch die Möglichkeiten der Checkliste limitiert. Vielmehr sollten ein generelles Sicherheitsbewusstsein der Anwender und konsequente Funktionsüberprüfungen der eingesetzten Materialien gefördert und geschult werden.

Der größte Zuwachs der Erfüllungsraten in Kontroll- und Interventionsphase liegt unter anderem in der Teamabsprache und Festlegung einer Strategie bei Intubationsproblemen. Während in der Kontrollphase keine Gruppe ein solches Vorgehen verbalisierte, wurde es in der Interventionsphase in 90% der Fälle durchgeführt. Die Teamabsprache und das Kommunizieren alternativer Strategien zu einem Zeitpunkt, zu dem noch keine Zeitnot besteht, haben einen hohen Stellenwert in allen CRM und Human-Factors Ansätzen [39, 68] und werden auch in der aktuellen Leitlinie zum Atemwegsmanagement [14] empfohlen. Dass solch eine Absprache in der Kontrollphase nicht ein einziges Mal initiiert wurde, zeigt den noch fehlenden Einzug dieser Empfehlung in den klinischen Alltag. Einige Mitarbeiter gehen vermutlich davon aus, dass im Falle eines unerwartet schwierigen Atemweges jeder weiß, was zu tun ist, beziehungsweise solch ein Vorgehen erst bei Eintritt eines tatsächlichen Zwischenfalls besprochen werden muss. In manchen Ausnahmefällen ist auch denkbar, dass es dem Arzt als Teamleiter unangenehm ist, diese Absprache zu initiieren, da die anderen Teilnehmer dies eventuell als Infragestellen ihrer Kompetenz interpretieren könnten. Die deutliche Zunahme auf fast 100% in der Interventionsphase legt nahe, dass solche Widerstände durch den Einsatz einer Checkliste auch ohne eine weitere Schulung oder Erläuterung überwunden werden können.

4.1.2 Gesamtdauer des Szenarios und “Kritisches Zeitintervall”

In dem von uns dargestellten Szenario ging es explizit nicht um eine absolute Notfallintubation. Die gesamte Durchführung sollte innerhalb von 15 Minuten abgeschlossen werden. Diese Viertelstunde wurde zwar bei keiner Intubation

überschritten, jedoch verlängerte sich die Gesamtdauer der Intubationsszenarien in der Interventionsphase mit Einsatz der Checkliste im Schnitt um drei Minuten (**Abbildung 3-3**). Ob eine verzögerte Intubation in diesem Szenario tatsächlich das Risiko für den Patienten erhöht, insbesondere wenn diese durch eine gewissenhaftere Vorbereitung und mehr durchgeführte sicherheitsrelevante Schritte bedingt ist, ist unklar. Da jedoch eine zeitliche Verzögerung durch Checklisten gerade in Notfallsituationen und die Angst durch sie könnte der Arbeitsablauf unterbrochen und die erfolgreiche Therapie für den Patienten verzögert werden, als ein Hauptkriterium für eine mangelnde Checklisten-Compliance identifiziert werden konnte [69-71], sollte der Faktor Zeit nicht gänzlich außer Acht gelassen werden. Auch die Abschlussbefragung der Anwender ergab, dass diese die Checkliste generell eher für zu lang befanden. Der Großteil aller bisherigen Checklisten-Studien, bezieht sich auf routinemäßig durchgeführte geplante Prozeduren, in denen der Faktor Zeit eine untergeordnete Rolle spielt (z.B. [51, 59, 72]). Degani et al. beschreiben nach Beobachtungen von Piloten zwar, dass Zeitdruck einen negativen Einfluss auf die gewissenhafte Durchführung von Checklisten haben kann [42], andersherum ist der Einfluss von Checklisten auf die Dauer eines Prozesses bisher jedoch kaum untersucht. Dass der Einsatz einer Checkliste eine Prozedur jedoch nicht zwangsläufig verlängern muss, zeigten z.B. Thomassen et al., bei denen die Vorbereitungszeit einer Intubation unter Zuhilfenahme einer Checkliste nicht verlängert war [47]. Zudem finden sich in der Interventionsgruppe unserer Untersuchung einzelne Ergebnisse mit einer zur Kontrollgruppe vergleichbaren Gesamtdauer (**Abbildung 3-3**), was nahe legt dass durch Training und Anpassung der Checkliste bezüglich Itemanzahl und Länge (vgl. 4.2.2) die Dauer des Szenarios reduziert werden kann.

Viel bedeutender als die Betrachtung der Gesamtdauer der Intubation erscheint jedoch die der kritischen Zeitspanne zwischen Gabe des Hypnotikums und Blockung des Tubus. Während dieser Periode, ist der Patient sediert, ohne Spontanatmung, mit erloschenen Schutzreflexen und ohne gesicherten Atemweg. Die separat durchgeführte Analyse dieses Intervalls konnte zeigen, dass in unserer Untersuchung durch Gebrauch der Checkliste nicht nur die Hypothese bestätigt werden konnte, dass es zu keiner Verlängerung dieser kritischen Zeitspanne kam, sondern dass durch den Gebrauch der Checkliste dieses Intervall sogar signifikant verkürzt werden konnte (**Abbildung 3-5**). Ob dadurch eine Senkung der Morbidität und Mortalität erreicht werden kann, kann daraus zwar nicht geschlussfolgert werden, aber die Verkürzung dieses für die Intubation besonders kritischen Intervalls kann für den Patienten nur Vorteile bringen. Zu erklären

sein könnte diese deutlich verkürzte Dauer der kritischen Zeitspanne durch die Verlagerung wesentlicher Arbeitsschritte in die Vorbereitung vor der Gabe des Hypnotikums. Durch die Benutzung der Checkliste kam es wesentlich seltener dazu, dass die Probanden die Vorbereitung wichtiger Utensilien (z.B. Absaugung, Notfallmedikamente, Kapnographie) vergaßen und diese dann zum Teil nach der Verabreichung des Hypnotikums nachholen mussten.

Auffällig sind die teilweise deutlich verlängerten kritischen Zeitintervalle in Durchgang 3 (**Abbildung 3-5**) bei erstmaliger Benutzung der Checkliste durch die Probanden. Diese waren durch einen zum Teil komplett veränderten persönlichen Ablauf der Intubation bedingt, in der es zu einer deutlich früheren Verabreichung des Hypnotikums ohne ausreichende Vorbereitung kam. Diese Erkenntnisse sind ein Argument dafür, dass unsere Checkliste oder neue Checklisten im Allgemeinen nicht ohne ein vorheriges adäquates Training oder zumindest eine detaillierte Schulung, in den klinischen Alltag integriert werden sollten. Bei medizinischem Personal, das mit der Checkliste gänzlich unvertraut ist, könnte es sonst zu unnötigen Zwischenfällen mit Schäden für den Patienten kommen. Solch eine Implementierungsphase wird auch von anderen Autoren beschrieben und gefordert [42]. Wie schnell die Anwender mit der Checkliste vertraut wurden, zeigt das Ergebnis aus Durchgang 4 der Untersuchung. Durch die nur einmalig wiederholte Anwendung der Checkliste ohne dass die Anwender ein Feedback oder Verbesserungsvorschläge erhielten, konnte die kritische Zeitspanne für alle Anwender auf eine ähnlich kurze Zeitspanne gesenkt werden.

4.1.3 ANTS

Auch wenn hinreichend belegt ist, dass sich Checklisten in verschiedensten Prozeduren positiv auf Morbidität und Mortalität auswirken [59, 73, 74], ist ihre genaue Wirkungsweise bisher noch ungeklärt. Zweifellos kann die Checkliste als Erinnerungsstütze und Merkhilfe dienen und gewährleistet die stumme Überwachung und doppelte Kontrolle durch Kollegen. Auch positive Auswirkungen auf Teaminteraktion und Rollenverteilung werden beschrieben. Unsere Ergebnisse legen jedoch nahe, dass es darüber hinaus auch in den anderen nicht-technischen Fertigkeiten zu einer Verbesserung durch die Implementierung einer Checkliste kommen kann.

Zumindest teilweise sind die verbesserten Punktzahlen des ANTS-Score in der Interventionsgruppe sicher auch auf einen Trainingseffekt und eine zunehmende Vertrautheit mit dem Szenario und der Checkliste zurückzuführen. Dies äußert sich zum

Beispiel durch die Beobachtung einer Veränderung des Verhaltens im vierten Durchgang, bereits vor Beginn des Einsatzes der Checkliste. Die Videoanalysen ergaben, dass die Probanden deutlich selbstbewusster auftraten und klarere Anweisungen an das Pflegepersonal gaben. Sie verteilten die Aufgaben angemessen und setzten die Teammitglieder auch vermehrt über den aktuellen Stand der Dinge und die selbst durchgeführten Maßnahmen in Kenntnis. Allerdings ist eine zusätzliche Verbesserung der beobachteten nicht-technischen Fertigkeiten durch den Einsatz der Checkliste durchaus erklärbar. Einige Punkte des ANTS wurden dabei direkt durch die Checkliste beeinflusst, bei anderen zeigten sich Effekte die indirekt auf die Checklistenutzung zurückzuführen sind. So wirkte sich die detaillierte Abfrage von allen verfügbaren Arbeitsgeräten und Informationen direkt auf die in dem ANTS-Score abgefragten Kategorien („identifying and utilizing resources“) aus. Andere Unterpunkte wie das richtige Priorisieren, das Koordinieren von Aktivitäten und der Informationsaustausch im Team, werden insofern von der Checkliste beeinflusst, als dass die Ausgabe eines Sprachitems die Aufmerksamkeit aller Beteiligten auf sich zieht. Folglich haben alle Anwesenden den gleichen Fokus und bearbeiten, beziehungsweise reevaluieren nach und nach jeden der Schritte gemeinsam, was die Punktzahlen der ANTS Bereiche „Teamworking“ und „Decision making“ beeinflusst.

Ein Kritikpunkt an das ANTS System ist ein, trotz der maximalen Bemühungen der Entwickler ein objektives Bewertungssystem zu schaffen, bleibender Grad an Subjektivität, den jedes System in dem ein Beobachter Wertungen oder Punkte vergibt zwangsläufig mit sich bringt. In ihrer Analyse des ANTS Systems auf Validität und Reliabilität bescheinigen Fletcher et al. der Score ein gutes Level an Übereinstimmung auch bei unerfahrenen Nutzern des Systems. Dieses kann durch Training und Kalibrierung noch verbessert werden, sodass empfohlen wird die Untersucher speziell in der Bewertung der nicht-technischen Skills zu schulen [64]. Aus diesem Grund kamen zwei unabhängige Beobachter zum Einsatz mit denen vor Beginn der Videoanalyse, anhand von Beispielvideos desselben Szenarios, ein Bewertungsmaßstab entwickelt wurde, in dem allgemeine aber auch speziell für die Intubation auf der Intensivstation beobachtbare Kriterien für gutes und schlechtes Verhalten für jede einzelne Kategorie des ANTS definiert wurden. Damit sollte zum einen eine grundsätzlich zu hohe bzw. zu niedrige Einstufung und zum anderen die nicht übereinstimmende Wertung der einzelnen Beobachter minimiert werden. Da es sich in unserer Untersuchung um ein Vorher Nachher Setting handelte, ist die Übereinstimmung der beiden Beobachter von größerer

Bedeutung, als möglicherweise grundsätzlich zu hohe bzw. zu geringe Einstufungen, die sich, da sie sowohl in der Kontroll- als auch in der Interventionsgruppe vorkämen, zumindest teilweise relativieren würden.

In unserer Untersuchung kamen die beiden Beobachter unabhängig voneinander in 80% der Fälle initial zu einem identischen Ergebnis in den einzelnen Unterkategorien. In den anderen 20% war die Differenz der vergebenen Punktzahlen nie größer eins. Durch Diskussion und gegebenenfalls erneute Sichtung des Videomaterials einigten sich die Beobachter in allen Fällen auf ein übereinstimmendes Ergebnis. Der ANTS diene uns nicht als absoluter Score, sondern als Verlaufsparemeter in einem Vorher-Nachher-Szenario und bietet somit keine Möglichkeit eines Vergleiches mit anderen Simulationen. Daher ist auch die Anpassung der einzelnen Punkte und das Weglassen verschiedener Unterkategorien zur Angleichung an das beobachtete Szenario zulässig und wird von den Entwicklern des ANTS sogar empfohlen [61].

4.1.4 Stellenwert der Ergebnisse

Wie auch in unserer Analyse, konnten bereits andere Autoren eine signifikant höhere Anzahl an durchgeführten sicherheitsrelevanten Schritten durch den Einsatz einer Intubationscheckliste nachweisen (z.B. Smith et al [75] und Jaber et al.[3]). In beiden Arbeiten besteht eine sehr hohe Korrelation der als sicherheitsrelevant definierten Schritte zu unserer Checkliste und eine ähnlich hohe Erfüllungsrate unter Zuhilfenahme dieser auf etwa 70%. Im Gegensatz zu unserer Arbeit konnten diese Autoren außerdem eine Reduktion von Komplikationen, insbesondere der schweren Hypoxie und Hypotonie nachweisen, welche sich auch in anderen Arbeiten zum Beispiel beim Einsatz einer Intubationscheckliste im Schockraum zeigen ließen [76]. Jaber et al. untersuchten zusätzlich den Einfluss der Checkliste auf die Intensivverweildauer und die 30 Tage Mortalität ohne jedoch eine signifikante Reduktion nachweisen zu können [3]. Bei allen drei Arbeiten handelt es sich wie in unserer Untersuchung um Kohortenstudien mit einer Kontroll- und einer Interventionsphase. Ein systematisches Review der Intubation bei kritisch kranken Patienten aus dem Jahr 2018 [77], welches positive Einflussfaktoren anhand einer systematischen Literaturanalyse identifiziert, konnte nur eine einzige randomisiert kontrollierte Studie erfassen, welche in die Auswertung einbezogen wurde. Janz et al. untersuchten den Einfluss einer präprozeduralen Checkliste auf den während einer Intubation auf der Intensivstation gemessenen niedrigsten systolischen Blutdruck und die gemessene niedrigste Sättigung. Obwohl der Einsatz der Checkliste, eine

Erhöhung der Prozessvollständigkeit zur Folge hatte, konnte kein positiver Einfluss auf die Komplikationsrate oder die „in-hospital“ Mortalität nachgewiesen werden [78]. Als Kritikpunkt an dieser Arbeit wurde in mehreren Quellen die Auswahl der Checklistenitems bemängelt. Janz et al. hätten vor allem allgemeine Expertenmeinungen in die Auswahl der Items einbezogen, welche in den von ihnen untersuchten Intensivstationen auch ohne Checkliste bereits zu über 90% erfüllt worden wären [77, 79]. Generell ist völlig unklar, welche Punkte der untersuchten Checklisten oder welche Kombination dieser, für eine Verringerung der Komplikationsrate verantwortlich sind [75]. Eine genaue Aufschlüsselung ist nach dem aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand noch ausstehend und erfordert weitergehende Untersuchungen.

Das von uns untersuchte „kritische Zeitintervall“ nach Gabe der Einleitungsmedikamente wurde noch in einer weiteren Arbeit als sekundärer Endpunkt untersucht [75]. Smith et al. definieren das Ende ihrer „Paralysis-to-intubation time“ mit dem Nachweis einer Kapnographiekurve, während wir die definitive Tubusblockung als Schlusspunkt nahmen. Dies erklärt die im Vergleich zu unserer Untersuchung etwas längere Dauer dieses Intervalls. Bei Smith et al. dauerte das Zeitintervall mit im Median 94 Sekunden in der Kontroll- und 82 Sekunden in der Interventionsphase, 12 Sekunden (Kontrollphase) beziehungsweise 24 Sekunden (Interventionsphase) länger. Dennoch ließ sich in beiden Arbeiten eine signifikante Verkürzung dieser Zeitspanne unter Zuhilfenahme der Checkliste erreichen.

Trotz für den Patienten eindeutig belegten Nutzen in verschiedenen Fachgebieten und für verschiedene Prozeduren [40, 80-82] ist die Einführung von Checklisten in der Medizin im Gegensatz zu anderen Hochrisiko-Bereichen ein Prozess der nach wie vor sehr langsam von statten geht. Viele Ärzte fühlen sich durch den Gebrauch von Checklisten in ihrer Autonomie und Entscheidungsfindung eingeschränkt und denken durch ihren Einsatz würden sie die eigene Schwäche oder fehlendes medizinischen Wissen eingestehen [41]. Unabhängig davon ist es schwerer, bestimmte Prozeduren in der Medizin zu standardisieren. Jeder Patient ist anders und reagiert variabel auf die durchgeführten Maßnahmen [41]. Hinzu kommt, dass sich in einigen neueren Untersuchungen sogar die als wegweisend geltenden Ergebnisse der „Surgical Safety Checklist“ nicht reproduzieren ließen [83]. Dennoch ist eine negative Auswirkung auf die Patientensicherheit bisher für keine Checkliste nachgewiesen.

4.2 Die Checkliste

4.2.1 Auswahl der Items

Unsere Literaturrecherche ergab einige Faktoren, die nachweislich positive Auswirkungen auf Morbidität und Mortalität von intubationspflichtigen Patienten haben, welche wir in die Checkliste aufnahmen. Ergänzend fügten wir einige auf aktuellen Leitlinien basierende Empfehlungen hinzu und vervollständigten sie durch Schritte, welche wir aus den allgemeinen CRM-Grundsätzen ableiteten.

Ein nachweislich unabhängiger protektiver Faktor für das komplikationslose Gelingen einer Intubation auf der Intensivstation stellt die Anwesenheit eines zweiten intubationserfahrenen Arztes dar, wie Jaber et al. in einer Analyse von Intubationen auf Intensivstationen zeigen konnten [12]. Hierbei ist weniger die jeweilige Fachdisziplin, sondern viel mehr die regelmäßige Durchführung von Intubationen von Bedeutung [3]. Dieselben Autoren erkannten, dass eine Hypotension bereits zu Beginn der Intubation einen Risikofaktor darstellt, der eine erhöhte Komplikationsrate nach sich zieht [12]. Basierend auf diesen Daten entwickelten die Autoren ein Intubationsprotokoll, durch dessen Einsatz sich die Komplikationsrate sowohl milder als auch schwerer Komplikationen während und unmittelbar nach der Intubation hoch signifikant reduzieren ließ [3]. Das Protokoll enthielt unter anderem die Punkte „Presence of two operators“ und „fluid loading“, welche wir für unsere Checkliste übernahmen. Auch für die suffiziente Präoxygenierung mit Erreichen eines hohen Sauerstoffanteils in der Expirationsluft, ist durch die verlängerte Zeit bis zur Desaturierung ein Sicherheitsgewinn nachgewiesen [84]. Nach aktueller Datenlage ist die bestmögliche Präoxygenierung durch eine hohe Sauerstofffraktion bei nichtinvasivem kontinuierlich positivem Druck über drei bis vier Minuten zu erreichen [3, 84, 85]. Während auf den meisten Intensivstationen hierfür der CPAP-Modus des Respirators verwendet wird, kam auf der Intensivstation des CBF zum Untersuchungszeitpunkt zur Präoxygenierung das Narkosegerät Sulla 808 (Fa. Dräger) zum Einsatz. Dieser Punkt wurde daher auf die lokalen Gegebenheiten angepasst.

Ferner konnte ein positiver Effekt für die Kapnographie, als bestmöglicher Nachweis der endotrachealen Tubuslage nachgewiesen werden. Der konsequente Einsatz der Kapnographie hat mittlerweile auch in den Leitlinien einen hohen Stellenwert und wird uneingeschränkt empfohlen [14]. Ohne direkte Auswirkung auf die Intubation, jedoch mit erheblichen Konsequenzen ist die Einstellung einer lungenprotektiven Beatmung am

Respirator nach erfolgreicher Intubation. Dieser Nutzen konnte in Studien nachgewiesen werden [3, 86]. Somit wurden auch die Kapnographie und die lungenprotektive Beatmung in die Checkliste integriert.

Da die Atemwegsmorbidität umso höher ist, je mehr Intubationsversuche unternommen werden [87], ist das rechtzeitige erwägen eines alternativen Atemweges von großer Bedeutung. In den Leitlinien der American Society of Anesthesiologists (ASA) zum unerwartet schwierigen Atemweg wird als Mittel der Wahl die Larynxmaske empfohlen [88]. Auch durch den Einsatz des Videolaryngoskopes kann die Sicht auf die Glottisebene bei einer schwierigen oder unmöglichen direkten Laryngoskopie verbessert werden [89, 90]. Außerdem werden die rechtzeitige Teamabsprache über das geplante Vorgehen im Falle von Intubationsproblemen, sowie das Bereithalten eines chirurgischen Atemweges als letzter Ausweg in den Leitlinien befürwortet [14, 88] und wurden daher in unsere Checkliste aufgenommen. Im Falle einer nötigen Zwischenbeatmung, aber auch zur bestmöglichen Präoxygenierung, sollte die Kopfposition optimiert und für den Fall der schwierigen Maskenbeatmung ein Guedeltubus bereitgehalten werden [2].

Neben den evidenzbasierten Items wurde die Checkliste basierend auf der klinischen Erfahrung und unter Berücksichtigung der Erkenntnisse aus Luftfahrt und CRM um einige weitere allgemeine Sicherheitsaspekte ergänzt. Hierbei handelte es sich um das Vorbereiten der Absaugung, das vollständige Monitoring inklusive hörbarem QRS-Ton, der Sichtung der Akte auf vorbeschriebene Intubationsschwierigkeiten, dem Bereithalten der Notfallmedikamente, insbesondere von Noradrenalin im Falle eines plötzlichen Blutdruckabfalles und dem Überprüfen der Tubuslage mittels beidseitiger Auskultation. Mit diesen Punkten wurde unter anderem den CRM-Kriterien alle verfügbaren Ressourcen zu nutzen und alle Informationen einzuholen Rechnung getragen. Basierend auf Erkenntnissen aus Luftfahrt und CRM sollten alle verwendeten Geräte vor Gebrauch auf korrekte Funktion getestet werden. Dies wurde explizit von der Checkliste abgefragt.

In der Anwenderbefragung wurde als einziger möglicherweise noch zu integrierender Punkt, das Überprüfen auf Vorhandensein eines Beatmungsbeutels vorgeschlagen. Dieser könnte als Plan B zum Kreisteil mit in die Checkliste aufgenommen werden. Bewusst verzichtet wurde auf die Aufnahme des Sellick-Handgriffes (Krikoiddruck zur Vermeidung von Regurgitation) in die Checkliste. Dieser ist zwar noch in Jaber's Intubationsprotokoll enthalten, seine Anwendung wird jedoch aufgrund der aktuellen Datenlage nicht mehr uneingeschränkt empfohlen [91].

Die gewählte Reihenfolge der Checkliste ist theoretisch noch veränderbar. Im Falle einer rein sequentiellen Checklistenutzung wäre die Abfrage der Items unabhängig von der Reihenfolge der Durchführung und dient in der Regel nur der Orientierung der Anwender, wo auf der Checkliste sie sich gerade befinden. Degani et al. schlagen in Anlehnung an die Luftfahrt vor, dass sich die Überprüfung der durchgeführten Arbeitsschritte an den lokalen Begebenheiten orientiert und einer logischen örtlichen Reihenfolge nachgehen könnte, um unnötiges hin- und herspringen zu vermeiden. Alternativ oder eventuell auch ergänzend könnten die wichtigsten Punkte an den Beginn der Checkliste gestellt werden, da im Falle einer möglichen Unterbrechung oder Unkonzentriertheit der Anwender im weiteren Verlauf der Durchführung die kritischsten Risikofaktoren bereits abgearbeitet wären [42].

4.2.2 Länge/Itemanzahl

Die von uns untersuchte Checkliste hat mit 20 implementierten Check-Steps in etwa die Länge der WHO Surgical Safety Checklist. Im Vergleich mit anderen untersuchten Checklisten für ähnliche Szenarios (z.B.: Jaber - Itemprotokoll mit 10 Punkten [3]; Hart - Checkliste mit 40 Items [51]; Smith 20 Items aufgeteilt auf 2 Checklisten [75]) liegt sie die Länge betreffend im Mittelfeld. Unsere Checkliste ist sehr ausführlich und umfasst auch verschiedene Punkte, die bei einer komplikationslosen Intubation nicht zum Tragen kämen. Es war jedoch beabsichtigt sie so zu konzipieren, dass der Anwender auf jede Eventualität vorbereitet ist. Die Diskussion, ob eine Checkliste alle Schritte einer Prozedur oder nur die wichtigsten abfragen sollte, ist auch im Bereich der Luftfahrt viel diskutiert. Eine vollständige Checkliste, die jeden einzelnen Arbeitsschritt und jede durchzuführende Maßnahme abfragt, bietet eine höhere Sicherheit. Allerdings steigt mit der Länge der Checkliste auch die Gefahr, dass einzelne Punkte übersehen oder bewusst übersprungen werden. Im Gegensatz hierzu ist eine kürzere Checkliste, die sich auf die wichtigsten Punkte beschränkt zwar anwenderfreundlicher, jedoch unvollständig. Sie verringert das Risiko, dass die Benutzer im Verlauf der Durchführung zunehmend unkonzentriert werden und geht auch auf lange Sicht mit einer erhöhten Compliance einher [42]. Bei der Gestaltung einer Checkliste ist es ebenfalls von Bedeutung, für welche Art der Nutzung sie konzipiert wird. Gerade bei einer statisch parallelen Checkliste, die nach dem „read-and-do“ Prinzip arbeitet, also die einzelnen Punkte wie bei einem Kochrezept Schritt für Schritt abarbeitet, ist die Vollständigkeit von großer Bedeutung. Bei einer sequentiellen Checkliste, mit der der Anwender zu gegebener Zeit

die Vollständigkeit seiner durchgeführten Handlungen überprüft, ist auch eine Beschränkung auf die wichtigsten Punkte möglich.

Die durchgeführte Abschlussbefragung der teilnehmenden Probanden ergab, dass diese die Checkliste im Allgemeinen eher als zu lang empfanden (**Tabelle 3-3**). Aus den erhobenen Kommentaren geht jedoch hervor, dass damit eher nicht die Anzahl der implementierten Schritte gemeint ist, sondern vielmehr die Dauer, die nötig war, um diese hintereinander abzuspielen. Um dem Wunsch einer kürzeren Checkliste gerecht zu werden, kann erwogen werden die Items anstatt als vollständige Sätze nur in Stichpunkten auszugeben, wie es auch in der Abschlussumfrage vorgeschlagen wurde. Dies würde zum einen die Anwendung beschleunigen und zum anderen das Personal nicht zusätzlich unter Stress setzen, wie es der Fall sein könnte, wenn die Anwender in einer vermeintlich zeitkritischen Situation gezwungen wären die komplette Sprachausgabe bis zum Ende anzuhören, obwohl die Itemtexte hinreichend bekannt sind. Eine Ausgabe in Stichpunkten setzt jedoch voraus, dass die Anwender die Kenntnis haben, was sich hinter dem Stichpunkt verbirgt, beziehungsweise was in dieser Situation von ihnen erwartet wird. Hierzu wäre eine vorhergehende Einweisung beziehungsweise ein Auseinandersetzen mit dem Erwartungshorizont unabdingbar und bei Benutzung der Checkliste im klinischen Alltag ein regelmäßiges Training der Mitarbeiter notwendig.

Besonders von der Checkliste profitierten in unserer Untersuchung Punkte, in denen das Vorhandensein der erst im Notfall benötigten Materialien abgefragt wurde. Ein Kritikpunkt könnte lauten, dass ein sorgfältig bestückter und regelmäßig kontrollierter Notfallwagen das Equipment für einen unerwartet schwierigen Atemweg immer vorrätig haben sollte und dass sich die Anwender auf die Vollständigkeit verlassen können müssen. Die Abfrage durch die Checkliste bietet jedoch die Möglichkeit, ein eventuelles Fehlen der Materialien zu einem Zeitpunkt aufzudecken, an dem noch kein Risiko für den Patienten besteht und zu dem noch genug Zeit bleibt, Ersatz für fehlende Teile zu beschaffen. Sie stellt damit eine zusätzliche Sicherheitsebene dar. Zudem bleibt bei einer korrekt über mindestens drei Minuten durchgeführten Präoxygenierung genug Zeit, um alle Items unserer Checkliste in voller Länge abzuspielen.

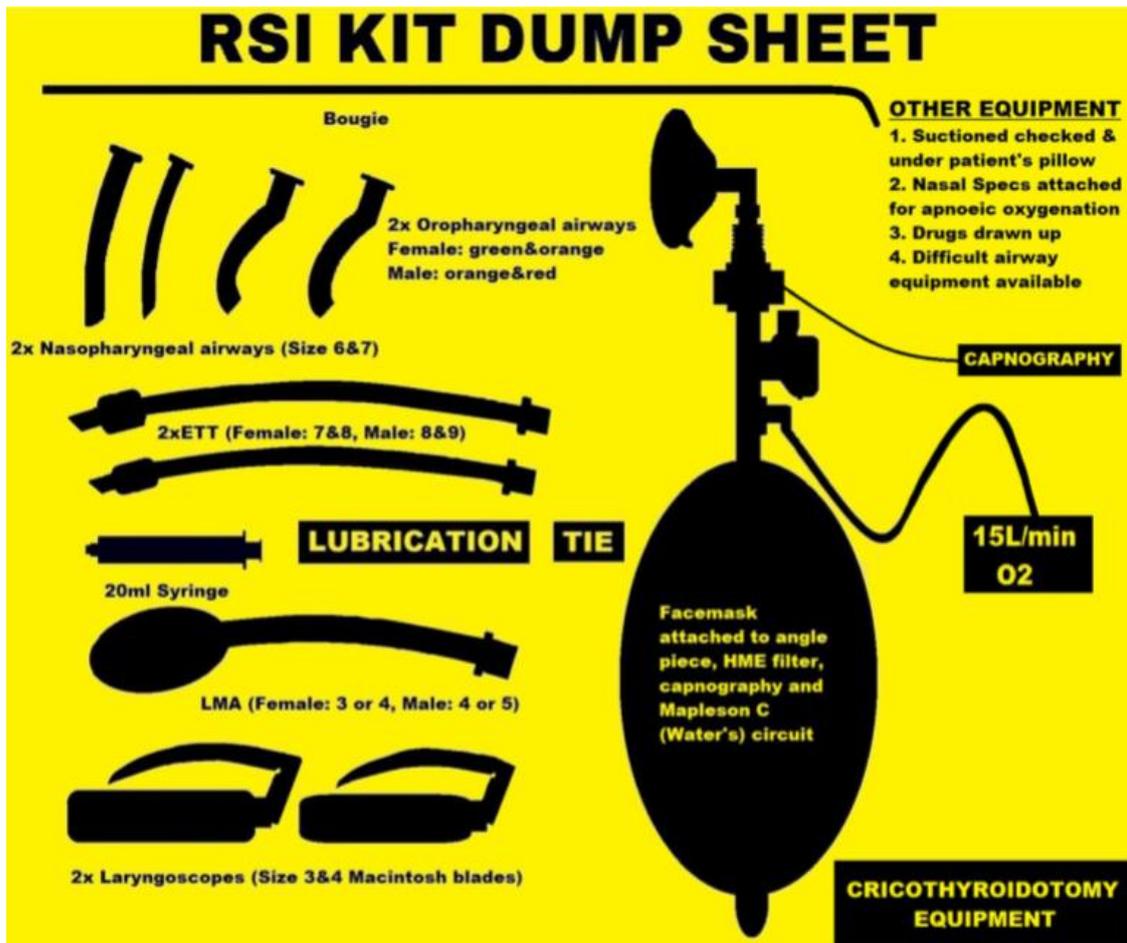


Abbildung 4-1 „Rapid sequence induction kit dump sheet“ [4]

Eine Kompromisslösung wäre auch ein Auslagern einzelner Punkte in eine zweite Checkliste, wie bei Smith et al. [75]. Diese fragt das Vorhandensein der Materialien präprozedural ab, bevor die eigentliche Intervention am Patienten beginnt und muss nicht zwangsläufig von denselben Personen durchgeführt werden. Alternativ kann auch durch den Einsatz eines sogenannten „dump sheet“, wie es in einer Arbeit von Sherren et al. [4] beschrieben wird, die Checkliste um die Abfrage der Materialien verkürzt werden, da die Vollständigkeit der Ausrüstung auf einen Blick sichtbar wird (**Abbildung 4-1**).

4.2.3 Elektronische oder papierbasierte Checkliste

Die meisten Daten über elektronische Checklisten entspringen der Luftfahrt. Die Datenlage derzeit ist jedoch so dünn, dass gegenwärtig weder die elektronische noch die papierbasierte Version einer Checkliste pauschal als der anderen überlegen eingeordnet werden kann. Rouse et al. bestätigen einen positiven Effekt der elektronischen Checkliste bezüglich der Senkung von durch Human Factors entstandenen Fehlern [49]. Boorman et al. sehen die elektronische Version einer Checkliste gegenüber der papierbasierten

sogar im Vorteil [53]. Im direkten Vergleich zur Papiercheckliste, den Palmer et al. mit Piloten in einem Flugsimulator untersuchten, lag der Vorteil bezüglich der entdeckten ins System eingebauten Fehler allerdings auf Seiten der papierbasierten Checkliste [50].

Wir entschieden uns für die Nutzung einer elektronischen fußgesteuerten Checkliste in der Annahme, dass sie den Anwender möglichst wenig in seinen Aktivitäten einschränken würde, da dieser die Hände weiterhin frei hätte und durch die akustische Ausgabe den Blick nicht vom Patienten nehmen müsste. Diese Effekte könnten alternativ auch durch eine zusätzliche Person erreicht werden, die eine Checkliste in Papierform vorliest, was jedoch eine zusätzliche Arbeitskraft erfordern würde, die nur durch die Checkliste gebunden wäre und in der Zeit nicht für andere Aufgaben zur Verfügung stünde. Ein weiterer möglicher Vorteil einer elektronischen Version ist die vollständig hörbare Ausgabe jedes einzelnen Punktes für jeden Beteiligten. So kann verhindert werden, dass ein einzelner Checklistenanwender Punkte nicht laut vorliest oder sogar komplett überspringt, weil er sie für trivial oder für bereits abgearbeitet hält. Eines der Grundprinzipien der Checklistenutzung, die doppelte Kontrolle nach dem vier Augen Prinzip [48, 92], wäre in diesem Fall nicht gegeben. Auch das versehentliche Überspringen eines Punktes beziehungsweise das Verlieren der aktuellen Checklistenposition kann durch elektronische Hilfe weitestgehend vermieden werden. Nicht außer Acht zu lassen ist auch die Tatsache, dass viele Anwender ihnen bekannte Checklisten nachweislich häufig aus dem Gedächtnis heraus abarbeiten [52]. Die Möglichkeit hierzu wird bei unserer elektronischen Checkliste dadurch eingeschränkt, dass ein schnelles Überfliegen der Liste nicht möglich ist, sondern dass jedes Item vollständig angehört werden muss bevor das nächste aufgerufen werden kann. Zudem bietet eine technische Checklistenlösung diverse Möglichkeiten zusätzliche Funktionen einzubauen. So integrierten Blike et al. in ihre elektronische Checkliste zum Beispiel kurze Videos, die die korrekte Ausführung verschiedener Schritte zeigten [52]. Vorstellbar wären auch das Markieren einzelner Items und die Funktion zu einem späteren Zeitpunkt an sie erinnert zu werden, oder das einfache Mitlaufen einer Zeitmessung beziehungsweise eines Countdowns. Auch das Integrieren der Checkliste in bestehende Geräte und die automatische Übernahme von zum Beispiel einzelnen Vitalparametern wären denkbar. Hierbei muss allerdings beachtet werden, dass eine zu hohe Automatisierung die Gefahr birgt, dass sich die Anwender zu sehr auf die Technik verlassen und auf eine eigene Überprüfung der Werte verzichten [50]. Hart et al. betonen auch den Vorteil der einfachen Modifizierbarkeit solch eines elektronischen Systems und

die einfache Möglichkeit der Anpassung auf die Bedürfnisse des Krankenhauses oder eventuell sogar die Personalisierung auf einzelne Anwender [51].

Wie die Abschlussumfrage zeigt, bestehen hinsichtlich der Form keine Präferenzen auf Seiten der Anwender (**Tabelle 3-3**). Zu einem ähnlichen Schluss kamen auch Hart et al. In ihrer Anwenderbefragung sprachen sich 60% für eine Checkliste in Papierform aus, 40% bevorzugten eine akustische Ausgabe [51]. In beiden Umfragen wurde die Audioqualität der Geräte bemängelt. Dies könnte zu einer Verschiebung des Ergebnisses zu Gunsten der papierbasierten Checkliste geführt haben. Auch hatten die Probanden nicht die Möglichkeit unsere elektronische direkt mit einer ausgeschriebenen Checkliste für dasselbe Szenario zu vergleichen.

Sowohl bei Hart et al. als auch in unserer Befragung hielten fast alle Beteiligten die Checkliste für sinnvoll und könnten sich vorstellen, sie in simulierten Szenarien zu Trainingszwecken zu verwenden. Darüber, ob die elektronische Checkliste auch im klinischen Alltag am Patienten Anwendung finden sollte, gingen die Meinungen allerdings auseinander. Einer der meist genannten Gründe für diese Ablehnung ist die Befürchtung, eine elektronische Sprachausgabe könnte den Patienten ängstigen und sein Vertrauen in die Fertigkeiten des Arztes beeinflussen [51]. Genauso gut könnte sich der Patient durch die maschinelle Kontrolle jedoch auch sicherer in Bezug auf die laufenden Vorgänge fühlen. Ähnliche Bedenken kamen auch bei der Einführung papierbasierter Checklisten auf. In einzelnen Untersuchungen konnte jedoch sogar ein beruhigender Effekt auf die Patienten nachgewiesen werden [93].

4.3 Studiendesign und Probanden

Die relativ kleine Fallzahl von 10 Anästhesisten/-innen basiert auf einer Fallzahlschätzung mit Bezug auf die Daten einer vorausgegangenen Untersuchung, die den Einfluss der audiovisuellen Checkliste auf die Narkoseeinleitung einer elektiven Operation untersuchte. Die Probandenzahl ist auf die Untersuchung der erfüllten Itemzahl und die Gesamtdauer der Intubation in Kontroll- und Interventionsphase ausgelegt. Für eine statistische Beurteilung des ANTS und die kritische Zeit von Gabe des Hypnotikums bis zur Intubation ergeben sich ebenfalls statistisch verwertbare Größen. Für die anderen Ergebnisdarstellungen ist die Probandenanzahl nicht ausgelegt, daher erfolgen diese deskriptiv und sind nur orientierend aussagekräftig.

Sowohl die Gruppe der ärztlichen Mitarbeiter als auch vor allem die der Pflegekräfte zeigte in unserer Untersuchung eine relativ breite Streuung hinsichtlich ihrer Erfahrung in der Arbeit auf Intensivstationen. Dies stellt eine realistische Situation eines Dienstilltags auf einer Intensivstation dar, in dem viele verschiedene Personen mit unterschiedlichem Ausbildungsstand zusammentreffen. Zwar ist oft ein Mitarbeiter mit größerer Erfahrung in unmittelbarer Reichweite, dennoch kommt es häufig vor, dass eine Intubation von frisch eingearbeiteten Ärzten und Pflegekräften durchgeführt oder zumindest begonnen werden muss. Es wurde bewusst eine unabhängige Einteilung von Ärzten und Pflegepersonal zu den festgesetzten Studienterminen vorgenommen. Der Dienstplan und damit auch die Personalzusammenstellung sind gerade auf großen Intensivstationen, wie der im CBF mit 30 Betten, sehr variabel. Es ergibt sich im klinischen Alltag eine große Zahl an möglichen Teamzusammenstellungen. Dass eine Intubation von Ärzten und Pflegekräften durchgeführt werden muss, die in dieser Konstellation noch nicht zusammengearbeitet haben, ist keine Seltenheit.

Das Szenario war in seinem Entwurf einer Intubation auf der Intensivstation nachempfunden. Zwar sind nicht alle in der Checkliste abgefragten Punkte spezifisch für ein intensivmedizinisches Setting und könnten für eine Intubation zur Narkoseeinleitung im Operationssaal ebenfalls angewendet werden, jedoch ergeben sich durch die Rahmenbedingungen des simulierten Ablaufs kennzeichnende Parallelen zur Atemwegssicherung auf der Intensivstation. Durch die Auswahl des pflegerischen Personals aus Angehörigen der Intensivmedizin ergibt sich eine deutlich geringere Routine beim Thema Atemwegssicherung, als dies bei pflegerischem Personal aus der Arbeitsumgebung der Anästhesie zu erwarten wäre. Ein weiteres Charakteristikum ist die schlechtere Zugänglichkeit des Patienten im Vergleich zur elektiven Narkoseeinleitung im Vorbereitungsraum. Die Intubation im Bett umgeben von verschiedenen intensivmedizinischen Geräten im oftmals beengten Patientenzimmer stellt eine zusätzliche Schwierigkeit einer Intubation auf der Intensivstation dar. Als weiterer wesentlicher Unterschied kann die unterschiedliche Ausstattung von Apparaten und Materialien angesehen werden. Während im operativen Umfeld zumeist auf einen technisch hochwertigen Anästhesie-Arbeitsplatz zurückgegriffen werden kann, ist die Präoxygenierung, das Etablieren einer Kapnographie und im Falle einer nötigen manuellen Beatmung, die Durchführung und auch die Beurteilbarkeit ihrer Qualität oft deutlich aufwändiger. Auf der untersuchten Intensivstation kam zum Zeitpunkt der Datenerhebung bei Intubationen ein extra vorgehaltenes Narkosegerät (Dräger Sulla

808) zum Einsatz, welches dann jedoch noch ins Patientenzimmer verbracht, angeschlossen und getestet werden musste. Auch bezüglich des sofort verfügbaren Materials, insbesondere im Falle eines (unerwartet) schwierigen Atemwegs (Guedeltuben, Larynxmasken, Videolaryngoskop...), ist die Ausstattung im operativen Bereich mit vielen durchgeführten Intubationen pro Tag breiter gefächert und zumeist auch ohne größere Wege unmittelbar verfügbar. Gerade in diesem Kontext erscheint ein frühzeitiges antizipierendes Vorgehen besonders wichtig, um die Verfügbarkeit der Materialien zu einem unkritischen Zeitpunkt sicherzustellen und Rückfallebenen bereit zu halten.

Da das Hauptaugenmerk der Untersuchung auf den ärztlichen Mitarbeitern liegen sollte, wurde der Studienablauf für diese konzipiert, so dass jeder von ihnen am Ende genau vier beobachtete Intubationen durchgeführt haben musste. Das Pflegepersonal wurde von der Pflegedienstleitung unabhängig von den Ärzten zu den vorgegebenen Terminen eingeteilt, womit die Zusammensetzung der Teams zufällig erfolgte. Die Leitung des Pflegedienstes achtete hierbei darauf ihr Personal nicht zu oft einzusetzen. Daraus resultierte jedoch, dass die Pflegekräfte unterschiedlich häufig an den Studienintubationen teilnahmen und teilweise nur in der Kontroll- oder nur in der Interventionsphase zum Einsatz kamen. Möglicherweise wurde der Einfluss der Pflegekräfte auf die Erfüllung der sicherheitsrelevanten Schritte unterschätzt, sodass dies einen potentiellen Confounder darstellt. Andererseits lässt sich durch die Variabilität der Zusammensetzung möglicherweise eine größere Aussagekraft über den Arzt, als fixe Komponente abgeben.

Eine häufig im Zusammenhang mit der Einführung von Checklisten in der Medizin geäußerte Vermutung ist, dass diese zwar ein sinnvolles Werkzeug für unerfahrene Ärzte darstellen, Ärzte mit einer gewissen Routine jedoch nicht mehr von diesen profitieren würden. Das Training von „Human Factors“ ist derzeit sowohl im Medizinstudium, als auch in der Krankenpflegeausbildung allenfalls rudimentär integriert und daher weitgehend unabhängig vom Wissens- und Ausbildungsstand [37]. Auch in unserer Untersuchung lässt sich durch Blick auf die Graphiken keine Korrelation zwischen Berufserfahrung und Anzahl der erfüllten Schritte erkennen. Da davon auszugehen ist, dass die Verbesserungen durch die Checkliste vor allem auf mangelnde nicht-technische Fertigkeiten und weniger auf fehlendes medizinisch fachliches Wissen zurückzuführen sind kann vermutet werden, dass jeder Mitarbeiter, egal ob er seit einem Monat oder 30

Jahren in der Intensivmedizin tätig ist, von der Benutzung einer Checkliste profitieren kann.

Wir entschieden uns bewusst für eine Untersuchung der Checkliste in einem simulierten Szenario und gegen den direkten Einsatz im klinischen Alltag. Es bestand der Wunsch eines möglichst einheitlichen standardisierten Szenarios, in dem wir bewusst eine komplikationslose Intubation ohne Zwischenfälle darstellen wollten, um für eine bessere Vergleichbarkeit, abgesehen von der eingesetzten Checkliste selbst, möglichst alle Variablen weitgehend kontrollieren zu können. Der Hauptgrund gegen einen direkten Einsatz am Patienten war jedoch, dass es sich um ein komplett neues Device handelte, dessen Auswirkungen auf die stattfindende Intubation völlig unklar waren. Im Sinne der Patientensicherheit entschieden wir uns für eine erste Analyse am Modell.

4.4 Einschränkungen

Neben den bereits erörterten Begrenzungen der Studie, wie der unterschiedlichen Erfahrung und Zuteilung der Pflegekräfte und der Restsubjektivität des ANTS-Systems, ist eine Haupteinschränkung der Ergebnisse die Tatsache, dass es sich um ein rein simuliertes Szenario handelte. Dies könnte die Einstellung und Gewissenhaftigkeit der Probanden beeinflusst haben, die in einer realen Situation in mancherlei Hinsicht möglicherweise anders vorgegangen wären. Gerade Punkte wie das Hinzuziehen eines zweiten Anästhesisten könnten bewusst ausgelassen worden sein, da mit deren Verfügbarkeit in einem simulierten Szenario nicht gerechnet wurde.

Auch ein Hawthorne-Effekt, bei dem die Probanden, im Wissen beobachtet und gefilmt zu werden, ihr natürliches Vorgehen ändern, könnte zu höheren Erfüllungsraten geführt haben. Die Standardisierung des Szenarios auf eine komplikationslose Intubation war für die Untersuchung zwar durchaus erwünscht, verhindert jedoch Aussagen zu Auswirkungen der Checkliste in kritischen unvorhersehbaren Situationen.

Neben dem Einfluss durch unsere elektronische Checkliste muss außerdem noch der mögliche Einfluss eines Lerneffekts durch Wiederholung im Verlauf der Beobachtungen diskutiert werden. Gestützt wird die Vermutung, dass ein Lerneffekt eine Rolle spielt, durch die Zunahme der erfüllten Itemzahl auch innerhalb der zwei Phasen der Kontrollgruppe. Das Studiendesign lässt jedoch nicht zu, eine valide Aussage über diesen Einfluss zu treffen. Die erste Phase sowohl in Kontroll-, als auch in der Interventionsphase, sollten zur Eingewöhnung in das unbekannte und auch unerwartete

Szenario dienen, dennoch ist ein Lerneffekt durchaus denkbar. Dieser könnte theoretisch so großen Einfluss haben, dass nach der mehrfachen Anwendung der Checkliste, diese so verinnerlicht wird, dass sie im längerfristigen Verlauf nicht mehr benötigt werden würde. Die genaue Betrachtung des Einflusses von möglichen Lerneffekten erfordert weiterführende Untersuchungen, in denen auch eine randomisierte Zuordnung der Probanden in eine Kontroll- und eine Interventionsgruppe denkbar wäre. Alternativ kann auch die Einteilung einiger Teilnehmer in umgekehrter Reihenfolge (erst Durchführung des Szenarios mit Checkliste und anschließende Kontrollphase) vorgenommen werden. In welchem Ausmaß die beobachteten Verbesserungen durch die elektronische Aufarbeitung der Checkliste erreicht wurden bleibt unbeantwortet. Ein direkter Vergleich mit einer papierbasierten Version mit identischen Items in weiterführenden Untersuchungen, ist zur Klärung erforderlich.

Selbst wenn man die erhöhten Erfüllungsraten eins zu eins auf eine reale Intubation auf einer Intensivstation übertragen und zusätzlich sogar eine Erfüllungsrate von 100% erreicht werden könnte, lässt sich die tatsächliche Auswirkung auf die Morbidität und Mortalität nicht schlussfolgern. Auch über den Einfluss der Checkliste auf intraprozedurale Komplikationen kann bei einem simulierten Szenario mit zu jeder Zeit stabilen Vitalparametern keine Aussage getroffen werden. Es erscheint nachvollziehbar, dass eine Erhöhung an Maßnahmen, die für sich oder in der Summe einen nachweislich positiven Effekt auf das Behandlungsergebnis während oder nach einer Intubation haben, ebenfalls mit einem positiven Effekt auf die Patientensicherheit einhergehen. Zusätzlich liegt die Vermutung nahe, dass durch eine nachgewiesene Verbesserung der für einen Großteil an Zwischenfällen verantwortlichen nicht technischen Fertigkeiten, wie Kommunikation, Teamführung und Situationsbewusstsein mit einem verbesserten Ergebnis zu rechnen ist. Ein entsprechender Beweis steht jedoch aus. Einen Nachweis über den tatsächlichen Einfluss unserer Checkliste auf Morbidität und Mortalität kann nur eine direkte Untersuchung am Patienten erbringen.

Diese Untersuchung mit relativ kleiner Fallzahl sollte erste Effekte und Einflüsse der elektronischen Checkliste auf die Anwender und den Ablauf einer Intubation untersuchen und grobe Sicherheitslücken und mögliche Risiken für die Patienten erkennen, sowie strukturelle Schwächen aufdecken. Zum Zeitpunkt der Datenerhebung gab es keine vergleichbaren Arbeiten, in denen solch ein Gerät zum Einsatz kam und durch die, erste Rückschlüsse hätten gezogen werden können. Weiterführende Untersuchungen mit

einer randomisierten Zuteilung am besten in einem multizentrischen Studiendesign sind erforderlich.

Schlussfolgerung

In der vorliegenden Vorher-Nachher-Interventionsstudie ließen sich positive Effekte einer elektronischen audiovisuellen Checkliste innerhalb eines simulierten intensivmedizinischen Intubationsszenarios hinsichtlich der Prozess-Komplettierung, der objektivierten Teamperformance und der Zeitspanne zwischen Narkoseinduktion und Sicherung des Atemweges zeigen. Aufgrund der fehlenden Rückschlüsse auf den Einsatz am Patienten und vor dem Hintergrund der aktuellen Studienlage kann bei scheinbarem Sicherheitsvorteil ein definitiver Einfluss auf die Patienten-Morbidität und Mortalität jedoch derzeit nur vermutet werden. Weitere Studien sind erforderlich um einen regelhaften Einsatz einer Intubationscheckliste empfehlen zu können. Bei bisher fehlendem Hinweis auf einen negativen Einfluss des Einsatzes einer Checkliste auf eine dringliche Intubation auf der Intensivstation erscheint ein versuchsweiser Einsatz nach vorheriger Schulung des Personals vertretbar. Zumindest im Rahmen von simulierten Szenarien und Teamtrainings erkannten die Teilnehmer in der elektronischen Checkliste ein sinnvolles Hilfsmittel. Um eine möglichst hohe Akzeptanz der Anwender und somit auch hohe Erfüllungsraten der Checklisten-Items zu erzielen, sollte diese regelhaft auf Funktionalität, Praktikabilität und Anwenderfreundlichkeit getestet und an die entsprechenden Ansprüche und örtliche Gegebenheiten angepasst werden.

Literaturverzeichnis

1. Rall, M. and P. Dieckmann, *Safety culture and crisis resource management in airway management: general principles to enhance patient safety in critical airway situations*. Best Pract Res Clin Anaesthesiol, 2005. **19**(4): p. 539-57.
2. Timmermann, A., [Modern airway management--current concepts for more patient safety]. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther*, 2009. **44**(4): p. 246-55; quiz 256.
3. Jaber, S., B. Jung, P. Corne, M. Sebbane, L. Muller, G. Chanques, D. Verzilli, O. Jonquet, J.J. Eledjam, and J.Y. Lefrant, *An intervention to decrease complications related to endotracheal intubation in the intensive care unit: a prospective, multiple-center study*. *Intensive Care Med*, 2010. **36**(2): p. 248-55.
4. Sherren, P., S. Tricklebank, and G. Glover, *Development of a standard operating procedure and checklist for rapid sequence induction in the critically ill*. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*, 2014. **22**(1): p. 41.
5. Gebremedhn, E.G., D. Mesele, D. Aemero, and E. Alemu, *The incidence of oxygen desaturation during rapid sequence induction and intubation*. *World J Emerg Med*, 2014. **5**(4): p. 279-85.
6. Heier, T., J.R. Feiner, J. Lin, R. Brown, and J.E. Caldwell, *Hemoglobin desaturation after succinylcholine-induced apnea: a study of the recovery of spontaneous ventilation in healthy volunteers*. *Anesthesiology*, 2001. **94**(5): p. 754-9.
7. Cormack, R.S. and J. Lehane, *Difficult tracheal intubation in obstetrics*. *Anaesthesia*, 1984. **39**(11): p. 1105-11.
8. De Jong, A., N. Molinari, N. Terzi, N. Mongardon, J.M. Arnal, C. Guitton, B. Allaouchiche, C. Paugam-Burtz, J.M. Constantin, J.Y. Lefrant, M. Leone, L. Papazian, K. Asehnoune, N. Maziers, E. Azoulay, G. Pradel, B. Jung, and S. Jaber, *Early identification of patients at risk for difficult intubation in the intensive care unit: development and validation of the MACOCHA score in a multicenter cohort study*. *Am J Respir Crit Care Med*, 2013. **187**(8): p. 832-9.
9. Gebremedhn, E.G., K.D. Gebeyehu, H.A. Ayana, K.E. Oumer, and H.N. Ayalew, *Techniques of rapid sequence induction and intubation at a university teaching hospital*. *World J Emerg Med*, 2014. **5**(2): p. 107-11.
10. Bernhard, M., S. Mohr, M.A. Weigand, E. Martin, and A. Walther, *Developing the skill of endotracheal intubation: implication for emergency medicine*. *Acta Anaesthesiol Scand*, 2012. **56**(2): p. 164-71.
11. Konrad, C., G. Schupfer, M. Wietlisbach, and H. Gerber, *Learning manual skills in anesthesiology: Is there a recommended number of cases for anesthetic procedures?* *Anesth Analg*, 1998. **86**(3): p. 635-9.
12. Jaber, S., J. Amraoui, J.Y. Lefrant, C. Arich, R. Cohendy, L. Landreau, Y. Calvet, X. Capdevila, A. Mahamat, and J.J. Eledjam, *Clinical practice and risk factors for immediate complications of endotracheal intubation in the intensive care unit: a prospective, multiple-center study*. *Crit Care Med*, 2006. **34**(9): p. 2355-61.
13. Leibowitz, A.B., *Tracheal intubation in the intensive care unit: extremely hazardous even in the best of hands*. *Crit Care Med*, 2006. **34**(9): p. 2497-8.
14. Piepho, T., E. Cavus, R. Noppens, C. Byhahn, V. Döriges, B. Zwissler, and A. Timmermann, *S1-Leitlinie Atemwegsmanagement*. *Anaesth Intensivmed*, 2015. **56**: p. 505–523.
15. Mort, T.C., *The incidence and risk factors for cardiac arrest during emergency tracheal intubation: a justification for incorporating the ASA Guidelines in the remote location*. *J Clin Anesth*, 2004. **16**(7): p. 508-16.
16. Braun, U., K. Goldmann, V. Hempel, and C. Krier, *Airway Management. Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie*. *Anaesth Intensivmed*, 2004. **45**(302.6).
17. America, C.o.Q.o.H.C.i. and I.o. Medicine, *To Err Is Human: Building a Safer Health System*, ed. L.T. Kohn, J.M. Corrigan, and M.S. Donaldson. 2000: The National Academies Press.

18. Brennan, T.A., L.L. Leape, N.M. Laird, L. Hebert, A.R. Localio, A.G. Lawthers, J.P. Newhouse, P.C. Weiler, and H.H. Hiatt, *Incidence of adverse events and negligence in hospitalized patients. Results of the Harvard Medical Practice Study I*. N Engl J Med, 1991. **324**(6): p. 370-6.
19. Gawande, A.A., E.J. Thomas, M.J. Zinner, and T.A. Brennan, *The incidence and nature of surgical adverse events in Colorado and Utah in 1992*. Surgery, 1999. **126**(1): p. 66-75.
20. Wilson, R.M., W.B. Runciman, R.W. Gibberd, B.T. Harrison, L. Newby, and J.D. Hamilton, *The Quality in Australian Health Care Study*. Med J Aust, 1995. **163**(9): p. 458-71.
21. Baker, G.R., P.G. Norton, V. Flintoft, R. Blais, A. Brown, J. Cox, E. Etchells, W.A. Ghali, P. Hebert, S.R. Majumdar, M. O'Beirne, L. Palacios-Derflingher, R.J. Reid, S. Sheps, and R. Tamblyn, *The Canadian Adverse Events Study: the incidence of adverse events among hospital patients in Canada*. CMAJ, 2004. **170**(11): p. 1678-86.
22. Schioler, T., H. Lipczak, B.L. Pedersen, T.S. Mogensen, K.B. Bech, A. Stockmarr, A.R. Svenning, and A. Frolich, *[Incidence of adverse events in hospitals. A retrospective study of medical records]*. Ugeskr Laeger, 2001. **163**(39): p. 5370-8.
23. Ollenschläger, G., *Medizinische Risiken, Fehler und Patientensicherheit* Zur Situation in Deutschland*. Schweizerische Ärztezeitung, 2001. **82**: p. 1404-1410.
24. Rall, M., T. Manser, H. Guggenberger, D.M. Gaba, and K. Unertl, *[Patient safety and errors in medicine: development, prevention and analyses of incidents]*. Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther, 2001. **36**(6): p. 321-30.
25. Reason, J., *James Reason: patient safety, human error, and Swiss cheese. Interview by Karolina Peltomaa and Duncan Neuhauser*. Qual Manag Health Care, 2012. **21**(1): p. 59-63.
26. Gaba, D.M., *Anaesthesiology as a model for patient safety in health care*. BMJ, 2000. **320**(7237): p. 785-8.
27. Reason, J., *Human error: models and management*. BMJ, 2000. **320**(7237): p. 768-70.
28. Rall, M., B. Schaedle, J. Zieger, W. Naef, and M. Weinlich, *[Innovative training for enhancing patient safety. Safety culture and integrated concepts]*. Unfallchirurg, 2002. **105**(11): p. 1033-42.
29. Landrigan, C.P., G.J. Parry, C.B. Bones, A.D. Hackbarth, D.A. Goldmann, and P.J. Sharek, *Temporal trends in rates of patient harm resulting from medical care*. N Engl J Med, 2010. **363**(22): p. 2124-34.
30. Buerschaper, S.P.H., *Notfallmanagement - Human Factors in der Akutmedizin*. 2005: Springer, Berlin.
31. Cooper, J.B., C.D. Long, R.S. Newbower, and J.H. Philip, *Critical incidents associated with intraoperative exchanges of anesthesia personnel*. Anesthesiology, 1982. **56**(6): p. 456-61.
32. Cooper, J.B., R.S. Newbower, and R.J. Kitz, *An analysis of major errors and equipment failures in anesthesia management: considerations for prevention and detection*. Anesthesiology, 1984. **60**(1): p. 34-42.
33. Gaba, D.M., *Human error in anesthetic mishaps*. Int Anesthesiol Clin, 1989. **27**(3): p. 137-47.
34. Barrett, J., C. Gifford, J. Morey, D. Risser, and M. Salisbury, *Enhancing patient safety through teamwork training*. J Healthc Risk Manag, 2001. **21**(4): p. 57-65.
35. Risser, D.T., M.M. Rice, M.L. Salisbury, R. Simon, G.D. Jay, and S.D. Berns, *The potential for improved teamwork to reduce medical errors in the emergency department. The MedTeams Research Consortium*. Ann Emerg Med, 1999. **34**(3): p. 373-83.
36. de Leval, M.R., J. Carthey, D.J. Wright, V.T. Farewell, and J.T. Reason, *Human factors and cardiac surgery: a multicenter study*. J Thorac Cardiovasc Surg, 2000. **119**(4 Pt 1): p. 661-72.
37. Rall, M. and C.K. Lackner, *Crisis Resource Management (CRM) Der Faktor Mensch in der Akutmedizin*. Notfall Rettungsmed, 2010. **13**(10): p. 359-356.
38. Cooper, J.B., R.S. Newbower, C.D. Long, and B. McPeck, *Preventable anesthesia mishaps: a study of human factors*. Qual Saf Health Care, 2002. **11**(3): p. 277-82.
39. Gaba, D.M., *Crisis resource management and teamwork training in anaesthesia*. Br J Anaesth, 2010. **105**(1): p. 3-6.
40. Avansino, J.R., P. Javid, C. Katz, G. Drugas, and A. Goldin, *Implementation of a standardized procedural checklist in a children's hospital*. Am J Surg, 2011. **201**(5): p. 660-5.

41. Hales, B.M. and P.J. Pronovost, *The checklist--a tool for error management and performance improvement*. J Crit Care, 2006. **21**(3): p. 231-5.
42. Degani, A., *COCKPIT CHECKLISTS: CONCEPTS, DESIGN, AND USE*. Human Factors. **35**(2): p. 28-43.
43. Frick, R.W., *Explanations of grouping in immediate ordered recall*. Mem Cognit, 1989. **17**(5): p. 551-62.
44. Morrow, D.G., V.O. Leirer, J.M. Andrassy, C.M. Hier, and W.E. Menard, *The influence of list format and category headers on age differences in understanding medication instructions*. Exp Aging Res, 1998. **24**(3): p. 231-56.
45. Helmreich, R.L., *On error management: lessons from aviation*. BMJ, 2000. **320**(7237): p. 781-5.
46. Sexton, J.B., E.J. Thomas, and R.L. Helmreich, *Error, stress, and teamwork in medicine and aviation: cross sectional surveys*. BMJ, 2000. **320**(7237): p. 745-9.
47. Thomassen, O., G. Brattebo, E. Softeland, H.M. Lossius, and J.K. Heltne, *The effect of a simple checklist on frequent pre-induction deficiencies*. Acta Anaesthesiol Scand, 2010. **54**(10): p. 1179-84.
48. Winters, B.D., A.P. Gurses, H. Lehmann, J.B. Sexton, C.J. Rampersad, and P.J. Pronovost, *Clinical review: checklists - translating evidence into practice*. Crit Care, 2009. **13**(6): p. 210.
49. Rouse, S.H., W.B. Rouse, and J.M. Hammer, *Design and Evaluation of an Onboard Computer-Based Information System for Aircraft Systems*, Man and Cybernetics, 1982. **12**(4): p. 451-463.
50. Palmer, E. and A. Degani, *ELECTRONIC CHECKLISTS: EVALUATION OF TWO LEVELS OF AUTOMATION*, in *Proceedings of the Sixth International Aviation Psychology Symposium*. 1991: Columbus, OH: The Ohio State University. p. 178-183.
51. Hart, E.M. and H. Owen, *Errors and omissions in anesthesia: a pilot study using a pilot's checklist*. Anesth Analg, 2005. **101**(1): p. 246-50, table of contents.
52. Blike, G. and C. Biddle, *Preanesthesia detection of equipment faults by anesthesia providers at an academic hospital: comparison of standard practice and a new electronic checklist*. AANA J, 2000. **68**(6): p. 497-505.
53. Boorman, D., *Today's electronic checklists reduce likelihood of crew errors and help prevent mishaps*. ICAO Journal, 2001. **11**(1): p. 17 - 36.
54. Bergeron, N., M.J. Dubois, M. Dumont, S. Dial, and Y. Skrobik, *Intensive Care Delirium Screening Checklist: evaluation of a new screening tool*. Intensive Care Med, 2001. **27**(5): p. 859-64.
55. Young, G.B., T. Frewen, H.W. Barr, G.G. Hinton, W.T. Blume, J.B. Kronick, C.F. Bolton, and F. Rutledge, *Checklist for diagnosis of brain death*. Can J Neurol Sci, 1991. **18**(1): p. 104.
56. Swarczynski, C. and P. Graham, *From ICU to rehabilitation: a checklist to ease the transition for the spinal cord injured*. J Neurosci Nurs, 1990. **22**(2): p. 89-91.
57. Walsh, T.S., S. Dodds, and F. McArdle, *Evaluation of simple criteria to predict successful weaning from mechanical ventilation in intensive care patients*. Br J Anaesth, 2004. **92**(6): p. 793-9.
58. Pronovost, P., S. Berenholtz, T. Dorman, P.A. Lipsett, T. Simmonds, and C. Haraden, *Improving communication in the ICU using daily goals*. J Crit Care, 2003. **18**(2): p. 71-5.
59. Berenholtz, S.M., P.J. Pronovost, P.A. Lipsett, D. Hobson, K. Earsing, J.E. Farley, S. Milanovich, E. Garrett-Mayer, B.D. Winters, H.R. Rubin, T. Dorman, and T.M. Perl, *Eliminating catheter-related bloodstream infections in the intensive care unit*. Crit Care Med, 2004. **32**(10): p. 2014-20.
60. Bowles, N., *The Delphi technique*. Nurs Stand, 1999. **13**(45): p. 32-6.
61. Fletcher, G., R. Flin, P. McGeorge, R. Glavin, N. Maran, and R. Patey, *Rating non-technical skills: developing a behavioural marker system for use in anaesthesia*. Cogn Tech Work, 2004. **6**: p. 165-171.
62. Gaba, D.M., S.K. Howard, B. Flanagan, B.E. Smith, K.J. Fish, and R. Botney, *Assessment of clinical performance during simulated crises using both technical and behavioral ratings*. Anesthesiology, 1998. **89**(1): p. 8-18.
63. Small, S.D., R.C. Wuerz, R. Simon, N. Shapiro, A. Conn, and G. Setnik, *Demonstration of high-fidelity simulation team training for emergency medicine*. Acad Emerg Med, 1999. **6**(4): p. 312-23.
64. Fletcher, G., R. Flin, P. McGeorge, R. Glavin, N. Maran, and R. Patey, *Anaesthetists' Non-Technical Skills (ANTS): evaluation of a behavioural marker system*. Br J Anaesth, 2003. **90**(5): p. 580-8.

65. Borchard, A., D.L. Schwappach, A. Barbir, and P. Bezzola, *A systematic review of the effectiveness, compliance, and critical factors for implementation of safety checklists in surgery*. *Ann Surg*, 2012. **256**(6): p. 925-33.
66. Arbous, M.S., A.E. Meursing, J.W. van Kleef, J.J. de Lange, H.H. Spoormans, P. Touw, F.M. Werner, and D.E. Grobbee, *Impact of anesthesia management characteristics on severe morbidity and mortality*. *Anesthesiology*, 2005. **102**(2): p. 257-68; quiz 491-2.
67. Prien, T., *Funktionsprüfung des Narkosegerätes zur Gewährleistung der Patientensicherheit*. *Anästhesiologie Intensivmedizin*, 2016. **57**: p. 559-565
68. Wakeman, D. and M.R. Langham, Jr., *Creating a safer operating room: Groups, team dynamics and crew resource management principles*. *Semin Pediatr Surg*, 2018. **27**(2): p. 107-113.
69. Weiser, T.G., A.B. Haynes, G. Dziekan, W.R. Berry, S.R. Lipsitz, and A.A. Gawande, *Effect of a 19-item surgical safety checklist during urgent operations in a global patient population*. *Ann Surg*, 2010. **251**(5): p. 976-80.
70. Fourcade, A., J.L. Blache, C. Grenier, J.L. Bourgain, and E. Minvielle, *Barriers to staff adoption of a surgical safety checklist*. *BMJ Qual Saf*, 2012. **21**(3): p. 191-7.
71. Finn Davis, K., N. Napolitano, S. Li, H. Buffman, K. Rehder, M. Pinto, S. Nett, J.D. Jarvis, P. Kamat, R.C. Sanders, Jr., D.A. Turner, J.E. Sullivan, K. Bysani, A. Lee, M. Parker, M. Adu-Darko, J. Giuliano, Jr., K. Biagas, V. Nadkarni, A. Nishisaki, C. National Airway Emergency for, I. Pediatric Acute Lung, and N. Sepsis Investigators, *Promoters and Barriers to Implementation of Tracheal Intubation Airway Safety Bundle: A Mixed-Method Analysis*. *Pediatr Crit Care Med*, 2017. **18**(10): p. 965-972.
72. Bohmer, A.B., F. Wappler, T. Tinschmann, P. Kindermann, D. Rixen, M. Bellendir, U. Schwanke, B. Bouillon, and M.U. Gerbershagen, *The implementation of a perioperative checklist increases patients' perioperative safety and staff satisfaction*. *Acta Anaesthesiol Scand*, 2012. **56**(3): p. 332-8.
73. Jones, S., *Your life in WHO's hands: the World Health Organization Surgical Safety Checklist: a critical review of the literature*. *J Perioper Pract*, 2011. **21**(8): p. 271-4.
74. McKee, C., I. Berkowitz, S.E. Cosgrove, K. Bradley, C. Beers, T.M. Perl, L. Winner, P.J. Pronovost, and M.R. Miller, *Reduction of catheter-associated bloodstream infections in pediatric patients: experimentation and reality*. *Pediatr Crit Care Med*, 2008. **9**(1): p. 40-6.
75. Smith, K.A., K. High, S.P. Collins, and W.H. Self, *A preprocedural checklist improves the safety of emergency department intubation of trauma patients*. *Acad Emerg Med*, 2015. **22**(8): p. 989-92.
76. Lewis, C.T., J. Brown, A.C. Inglis, D.N. Naumann, and N. Crombie, *Emergency intubation in trauma in KwaZulu-Natal Province, South Africa*. *S Afr Med J*, 2018. **108**(8): p. 660-666.
77. Cabrini, L., G. Landoni, M. Baiardo Radaelli, O. Saleh, C.D. Votta, E. Fominskiy, A. Putzu, C.D. Snak de Souza, M. Antonelli, R. Bellomo, P. Pelosi, and A. Zangrillo, *Tracheal intubation in critically ill patients: a comprehensive systematic review of randomized trials*. *Crit Care*, 2018. **22**(1): p. 6.
78. Janz, D.R., M.W. Semler, A.M. Joffe, J.D. Casey, R.J. Lentz, B.P. deBoisblanc, Y.A. Khan, J.I. Santanilla, I. Bentov, T.W. Rice, U.P.I. Check, and G. Pragmatic Critical Care Research, *A Multicenter Randomized Trial of a Checklist for Endotracheal Intubation of Critically Ill Adults*. *Chest*, 2017.
79. Doerschug, K.C. and A.S. Niven, *Checklists for Safety During ICU Intubations: The Details Matter*. *Chest*, 2018. **153**(6): p. 1505-1506.
80. Haynes, A.B., T.G. Weiser, W.R. Berry, S.R. Lipsitz, A.H. Breizat, E.P. Dellinger, T. Herbosa, S. Joseph, P.L. Kibatala, M.C. Lapitan, A.F. Merry, K. Moorthy, R.K. Reznick, B. Taylor, and A.A. Gawande, *A surgical safety checklist to reduce morbidity and mortality in a global population*. *N Engl J Med*, 2009. **360**(5): p. 491-9.
81. Pronovost, P., D. Needham, S. Berenholtz, D. Sinopoli, H. Chu, S. Cosgrove, B. Sexton, R. Hyzy, R. Welsh, G. Roth, J. Bander, J. Kepros, and C. Goeschel, *An intervention to decrease catheter-related bloodstream infections in the ICU*. *N Engl J Med*, 2006. **355**(26): p. 2725-32.
82. Harrahill, M. and E. Bartkus, *Preparing the trauma patient for transfer*. *J Emerg Nurs*, 1990. **16**(1): p. 25-8.

83. Urbach, D.R., A. Govindarajan, R. Saskin, A.S. Wilton, and N.N. Baxter, *Introduction of surgical safety checklists in Ontario, Canada*. N Engl J Med, 2014. **370**(11): p. 1029-38.
84. Baillard, C., J.P. Fosse, M. Sebbane, G. Chanques, F. Vincent, P. Courouble, Y. Cohen, J.J. Eledjam, F. Adnet, and S. Jaber, *Noninvasive ventilation improves preoxygenation before intubation of hypoxic patients*. Am J Respir Crit Care Med, 2006. **174**(2): p. 171-7.
85. Mort, T.C., B.H. Waberski, and J. Clive, *Extending the preoxygenation period from 4 to 8 mins in critically ill patients undergoing emergency intubation*. Crit Care Med, 2009. **37**(1): p. 68-71.
86. Walz, J.M., M. Zayaruzny, and S.O. Heard, *Airway management in critical illness*. Chest, 2007. **131**(2): p. 608-20.
87. Mort, T.C., *Emergency tracheal intubation: complications associated with repeated laryngoscopic attempts*. Anesth Analg, 2004. **99**(2): p. 607-13, table of contents.
88. Apfelbaum, J.L., C.A. Hagberg, R.A. Caplan, C.D. Blitt, R.T. Connis, D.G. Nickinovich, J.L. Benumof, F.A. Berry, R.H. Bode, F.W. Cheney, O.F. Guidry, and A. Ovassapian, *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.
89. Aziz, M.F., D. Healy, S. Kheterpal, R.F. Fu, D. Dillman, and A.M. Brambrink, *Routine clinical practice effectiveness of the Glidescope in difficult airway management: an analysis of 2,004 Glidescope intubations, complications, and failures from two institutions*. Anesthesiology, 2011. **114**(1): p. 34-41.
90. Piepho, T., K. Fortmueller, F.M. Heid, I. Schmidtman, C. Werner, and R.R. Noppens, *Performance of the C-MAC video laryngoscope in patients after a limited glottic view using Macintosh laryngoscopy*. Anaesthesia, 2011. **66**(12): p. 1101-5.
91. Steinmann, D. and H.J. Priebe, *[Cricoid pressure]*. Anaesthetist, 2009. **58**(7): p. 695-707.
92. Hales, B., M. Terblanche, R. Fowler, and W. Sibbald, *Development of medical checklists for improved quality of patient care*. Int J Qual Health Care, 2008. **20**(1): p. 22-30.
93. Kearns, R.J., V. Uppal, J. Bonner, J. Robertson, M. Daniel, and E.M. McGrady, *The introduction of a surgical safety checklist in a tertiary referral obstetric centre*. BMJ Qual Saf, 2011. **20**(9): p. 818-22.

Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Nicolas Coenen, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Einsatz und Nutzen einer elektronischen audiovisuellen Checkliste in einem simulierten Intubationsszenario auf der Intensivstation“ selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) werden von mir verantwortet.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem/der Betreuer/in, angegeben sind. Für sämtliche im Rahmen der Dissertation entstandenen Publikationen wurden die Richtlinien des ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors; www.icmje.org) zur Autorenschaft eingehalten. Ich erkläre ferner, dass mir die Satzung der Charité – Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis bekannt ist und ich mich zur Einhaltung dieser Satzung verpflichte.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§§156, 161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Datum

Unterschrift

Lebenslauf

"Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht."

"Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht."

Danksagung

An erster Stelle möchte ich Dr. Christian Reich und Herrn Professor Dr. Jörg Weimann meinen besonderen Dank, für die Überlassung des Themas und engmaschige Unterstützung bei dessen Umsetzung, aussprechen. Vielen Dank für die fachlichen Anregungen und die konstruktive Kritik im Rahmen der Erstellung dieser Arbeit.

Frau Andrea Stroux, aus dem Institut für Biometrie und Klinische Epidemiologie der Charité, gilt mein Dank für die Beratung bei den durchgeführten Berechnungen und die Hilfe bei allen Fragen zur Statistik.

Herzlichen Dank ebenso an Klaus Halver für die Organisation und an das gesamte weitere Pflegeteam der Station 44i des Campus Benjamin Franklin für die Teilnahme an der Untersuchung.

Danken möchte ich ebenfalls meinen Eltern und Großeltern, die mit zu jeder Zeit jeglichen Beistand haben zuteilwerden lassen und mir so unter anderem das Studium ermöglicht haben.

Mein abschließender Dank geht an meine Partnerin Bianca, welche durch die richtige Dosis der Motivation zur rechten Zeit, maßgeblich an der Fertigstellung dieser Arbeit beteiligt ist.