

Aus der Kinderklinik im Dr. von Haunerschen Kinderspital

Klinik der Ludwig-Maximilians-Universität München

Direktor: Prof. Dr. Dr. Christoph Klein



# Atemwegsmanagement in der Kinderanästhesie

Dissertation

zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin

an der Medizinischen Fakultät der

Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Melanie Kemper

aus Düren

2022

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der  
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

Erster Gutachter: *Prof. Dr. med. Thomas Nicolai*

Zweiter Gutachter: *PD Dr. Sandra Frank*

Dritter Gutachter: *PD Dr. Claudia Staab-Weijnitz*

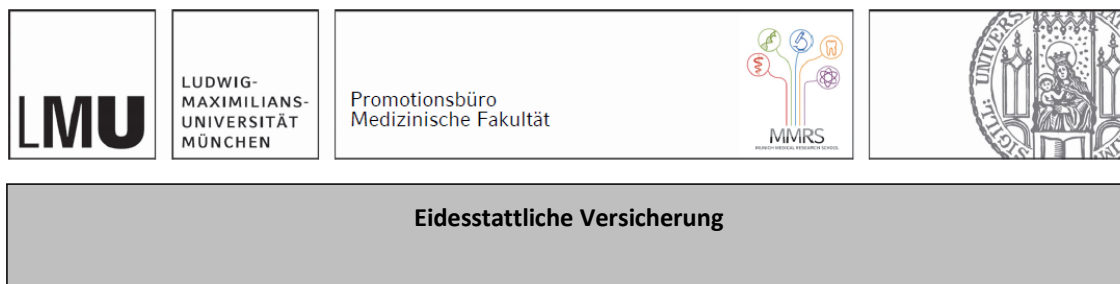
Mitbetreuung durch den

promovierten Mitarbeiter: Prof. Dr. Markus Weiss

Dekan: Prof. Dr. med. Thomas Gudermann

Tag der mündlichen Prüfung: 29.09.2022

## Affidavit



Kemper, Melanie

---

Name, Vorname

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Titel:

### **Atemwegsmanagement in der Kinderanästhesie**

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

Bohmte, den 05.12.2021

Ort, Datum

Melanie Kemper

Unterschrift Doktorandin

*Für*

*Michael*

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>Affidavit.....</b>	<b>3</b>
<b>Widmung.....</b>	<b>4</b>
<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>5</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>6</b>
<b>Publikationsliste .....</b>	<b>7</b>
<b>1. Beitrag zu den Veröffentlichungen .....</b>	<b>8</b>
<b>1.1 Beitrag zu Originalartikel I.....</b>	<b>8</b>
<b>1.2 Beitrag zu Originalartikel II .....</b>	<b>8</b>
<b>1.3 Begründung für die geteilte Erstautorenschaft.....</b>	<b>8</b>
<b>2. Einleitung.....</b>	<b>10</b>
<b>2.1 Besonderheiten des pädiatrischen Atemweges.....</b>	<b>10</b>
<b>2.2 Klassische vs. Kontrollierte Rapid Sequence Induction.....</b>	<b>11</b>
<b>2.3 Starre Ventilationsbronchoskopie.....</b>	<b>13</b>
<b>2.4 Ziele der Arbeit.....</b>	<b>14</b>
<b>2.4.1 Übergeordnete Studienziele.....</b>	<b>14</b>
<b>2.4.2 Atemwegsmanagement bei Tonsillennachblutung.....</b>	<b>14</b>
<b>2.4.3 Starre Ventilationsbronchoskopie.....</b>	<b>15</b>
<b>3. Zusammenfassung .....</b>	<b>17</b>
<b>4. Abstract .....</b>	<b>19</b>
<b>5. Literaturverzeichnis .....</b>	<b>21</b>
<b>Danksagung.....</b>	<b>23</b>
<b>Anhang</b>	

## Abkürzungsverzeichnis

**APRICOT-Studie:** Anesthesia Practice in Children Observational Trial - Studie

**cRSI:** controlled („kontrollierte“) Rapid Sequence Induction

**ID:** Internal Diameter

**IPS:** Intensivpflegestation

**NECTARINE-Studie:** NEonate and Children audiT of Anaesthesia pRactice IN  
Europe - Studie

**OD:** Outer Diameter

**RSI:** Rapid Sequence Induction

**SOP:** Standard Operating Procedure

**SPO2:** periphere kapillare Sauerstoffsättigung im Blut

**VB:** Ventilationsbronchoskope

## Publikationsliste

### Originalarbeiten

Kemper M, Buehler PK, Schmitz A, Gysin C, Nicolai T, and Weiss M. "Classical versus controlled rapid sequence induction and intubation in children with bleeding tonsils (a retrospective audit)." *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*. (2020; 64): 41-47. Print.

<https://doi.org/10.1111/aas.13473>

Kemper M\*, Kemper M\*, Nicolai T, Dave MH, Henze G, Weiss M. "Dimensional compatibility of rigid ventilating bronchoscopes with pediatric airway anatomy using different recommendations for age-related sizing - A bench study." *Pediatric Anesthesia*. (2021;31): 1140-1149. Print.

<https://doi.org/10.1111/pan.14270>

\*geteilte Erstautorenschaft

## **Ihr Beitrag zu den Veröffentlichungen**

Beide Arbeiten sind in Zusammenarbeit der Abteilung für pädiatrische Intensivmedizin des Dr. von Haunerschen Kinderspitals in München mit der Anästhesieabteilung des Universitäts-Kinderspitals Zürich entstanden.

### **1.1 Beitrag zu Originalartikel I**

Die Idee dieser Arbeit entwickelten die Proff. Markus Weiss (Zürich) und Thomas Nicolai (München). Prof. M. Weiss hat die kontrollierte Rapid Sequence Induction (RSI) bereits 2013 in einer Arbeit an 1001 Kindern untersucht (1). Eine langjährige Zusammenarbeit verbindet Prof. M. Weiss mit Prof. T. Nicolai, einem Spezialisten auf dem Gebiet der pädiatrischen Pulmologie. Der Plan war es, die kontrollierte RSI als Form der Narkoseeinleitung auch bei Kindern mit Tonsillennachblutungen zu untersuchen, wie dies in Zürich zunehmend angewendet wurde. Melanie Kemper studierte eingehend die vorhandene Literatur, sammelte die Daten, analysierte diese und schrieb in Zusammenarbeit mit Prof. M. Weiss das Manuskript. Prof. A. Schmitz stellte die Rohdaten aus dem Anästhesie-PDMS zusammen und Dr. Philipp Bühler erstellte die Tabellen und Abbildungen. Die anderen Co-Autoren leisteten einen Beitrag zu der Arbeit durch Kontrolle der Daten und ausführliches Feedback.

### **1.2 Beitrag zu Originalartikel II**

Die Idee zu der Studie entwickelten Dr. Michael Kemper, Proff. Markus Weiss und Thomas Nicolai. Melanie Kemper studierte die vorhandene Literatur zum Thema, führte die Vermessungen der Instrumente durch und analysierte die Daten zusammen mit Prof. M. Weiss und Michael Kemper. Prof. T. Nicolai gab als Experte auf dem Gebiet der pädiatrischen Bronchoskopie kritisches Feedback und Inputs zu den ersten Auswertungen sowie zur Erstellung des Manuskriptes. Fr. PD Dr. Mital Dave half mit, die Grundlagen für die anatomischen Daten zu erarbeiten. Michael Kemper und Melanie Kemper erstellten die Grafiken und Tabellen. Prof. M. Weiss und Melanie Kemper schrieben das Manuskript. Dr. Georg Henze Dave führte zusätzliche Messungen an den Instrumenten durch. Alle Co-Autoren kontrollierten die Daten und gaben ausführliches Feedback und weitere Hinweise zur Anpassung und Fertigstellen des finalen Manuskriptes.

### **1.3 Begründung für die geteilte Erstautorenschaft**

Michael Kemper und Melanie Kemper entwickelten zusammen mit Prof. M. Weiss das Studiendesign zu dem Originalartikel. Herr M. Kemper entwarf die Tabellen und Teile der Grafiken und war an der Analyse der Daten beteiligt. Melanie Kemper führte die



Messungen und grafische Darstellung der starren Bronchoskope durch, studierte die vorhandene Literatur und analysierte die Daten. Herr Kemper und Frau Kemper verfassten in Zusammenarbeit mit Prof. M. Weiss das Manuskript.

## 2. Einleitung

Kindernarkosen sind im Vergleich zu Narkosen bei Erwachsenen risikobehafteter (2, 3), die Morbiditäts- und Mortalitätsrate ist erhöht (4,5), schwere Komplikationen haben sogar eine 10-fach höhere Mortalität (6) als in der Erwachsenenanaesthesie. Relevante Daten zeigt die 2017 veröffentlichte europäische prospektive APRICOT-Studie. Es wurden 31'127 Narkosen bei 0- bis 15-jährigen Kindern untersucht. Bei 5,2 % der Anästhesien traten kritische anästhesiologische Situationen auf – gewertet wurden neurologische, respiratorische, kardiale und allergische Ereignisse, die eine sofortige Intervention zur Folge hatten (4). Probleme beim Atemwegsmanagement sind oft Ursache von Morbidität und auch Mortalität in der Kinderanästhesie (7,8).

Sicheres Atemwegsmanagement in der Kinderanästhesie - wie in jeglicher anderen Profession – setzen Expertise beim durchführenden Personal und ein strukturiertes Vorgehen voraus. Grundlage ist ein profundes Verständnis der Sachlage - der Anatomie und Physiologie des Kindes - sowie insbesondere Strategien zur Risikominimierung und Beherrschung möglicher Komplikationen.

### 2.1 Besonderheiten des pädiatrischen Atemweges

In der Kinderanästhesie geht es um grundlegende Besonderheiten in der Anatomie und Physiologie, aber auch Psychologie und Pharmakologie. Das respiratorische System weist anatomische Unterschiede auf, welche die Atemwegssicherung im Vergleich zu älteren Patienten anspruchsvoller gestalten: Der Hinterkopf ist insbesondere beim kleinen Säugling größer, der Hals kurz, die Zunge im Verhältnis zum Mund groß, der Larynx steht höher und weiter ventral (9). Das Krikoid ist zum einen mit einer besonders vulnerablen Mukosa ausgestattet und zum anderen die anatomisch engste Stelle des pädiatrischen Atemweges – diese zwei Fakten prädestinieren das Krikoid für traumatische Schäden bei der Intubation (8). Zudem neigen Larynx und Trachea aufgrund der fragilen Mukosa bei Manipulation zur Ödembildung. Eine zirkuläre Schwellung von nur 1 mm verengt die Luftwege um bis zu 70 Prozent (10). Kenntnis dieser Anatomie ist unerlässlich, um bei Interventionen die Größe des einzuführenden Instrumentes zu kennen, um das Krikoid atraumatisch passieren zu können.

Auch die Physiologie stellt besondere Anforderungen an den Anästhesisten. Die Resistance, ein Maß für die viskösen Strömungswiderstände in den Luftwegen, ist erhöht, die Compliance, also die Dehnbarkeit des Respirationstraktes erniedrigt. Die alveoläre Ventilation ist mehr als doppelt so hoch wie beim Erwachsenen. Eine logische Konsequenz für die Kinder ist, dass Ventilationsstörungen wesentlich schneller in einer Hyperkapnie resultieren als beim Erwachsenen (8,9). Bei Kindern ist die

funktionelle Residualkapazität absolut betrachtet klein. In Kombination mit dem erhöhten Sauerstoffverbrauch resultiert daraus eine geringe Apnoetoleranz (21). Ein weiteres Phänomen ist die bei Kindern erhöhte pulmonale Verschlusskapazität – ein früher Verschluss von terminalen Atemwegen, wodurch Atelektasen begünstigt werden (9,24). Vermehrter Sauerstoffverbrauch, Atelektasenneigung, ungenügende Präoxygenierung sowie verminderte Sauerstoffreserven resultieren in einer kurzen Apnoetoleranz mit rasch eintretender Hypoxämie bei der Narkoseeinleitung (24).

In Anbetracht dieser physiologischen Gegebenheiten ist nachvollziehbar, dass Neugeborene ohne Präoxygenierung mit dem  $\text{PaO}_2$  schon nach 7 Sekunden Apnoe auf unter 75 mmHg fallen, Erwachsene nach 32 Sekunden (11). Präoxygenierung verlängert die Apnoetoleranz bis zum Sättigungsabfall bei Erwachsenen auf bis zu 8 Minuten (11). Bei einem präoxygenierten 5-jährigen Kind kommt es nach ca. 2 Minuten Apnoe zu einem Abfall der Sauerstoffsättigung unter 90 %, bei einem 2 Jahre alten Kind nach 1,5 Minuten und bei einem 1-monatigen Säugling nach unter 100 Sekunden (12). Kinder tolerieren eine dicht aufgedrückte Maske selten, sodass eine Präoxygenierung nicht den gewünschten Erfolg verspricht (9).

Die 2021 publizierte europaweite Multicenter Studie NECTARINE zeigt bei den 6542 untersuchten Prozeduren mit 5,8 % eine hohe Inzidenz schwieriger Intubationen bei Kindern, welche bis zu einem Alter von 60 Wochen häufig in einer schwerwiegenden Hypoxämie resultierte (13). Eine weitere Erkenntnis dieser Studie ist, dass der Abfall der Sauerstoffsättigung in Zusammenhang mit schwieriger Intubation steht. Das Fehlen identifizierbarer Risikofaktoren für den Sättigungsabfall wird als Beweis interpretiert, dass die beschriebenen physiologischen Besonderheiten (erhöhter Sauerstoffbedarf, verminderte Sauerstoffreserven, erhöhte Kohlendioxid Produktion) des kindlichen Atemweges die ursächlichen Faktoren sind (11,13). Empfohlen werden neue und aktualisierte Algorithmen für das Atemwegsmanagement, die eine korrekte Auswahl des richtigen Instrumentariums beinhalten (13).

## **2.2 Klassische vs. Kontrollierte Rapid Sequence Induction**

Eine sogenannte „Ileuseinleitung“ oder „Rapid Sequence Induction“ (RSI) wird bei nicht-nüchternen Patienten durchgeführt. Dieses anästhesiologische Vorgehen der Narkoseeinleitung weist einige Besonderheiten auf, um das Aspirationsrisiko möglichst gering zu halten. Bei der „klassischen“ RSI erfolgt zwischen Narkoseeinleitung und Intubation keine Zwischenbeatmung mit der Gesichtsmaske. Es wird in rascher Abfolge das Hypnotikum, dann ein Muskelrelaxans mit schneller Anschlagszeit verabreicht, während ein Assistent einen Krikoiddruck zum Abdichten des oberen Ösophagus durchführt, um einer Aspiration von Mageninhalt aus der Speiseröhre in die Atemwege vorzubeugen. Nach ungefähr einer Minute unter apnoischer Oxygenierung folgt die Intubation (14). Bei Kindern führt dieses Vorgehen zu Zeitdruck, hektischer

Intubation beim vielleicht noch nicht genügend relaxierten Patienten, rasch einstellender Entsättigung aufgrund der Apnoephase bei geringer Hypoxietoleranz (9, 20).

Eine erste retrospektive Kohortenanalyse zur Inzidenz von respiratorischen und hämodynamischen Komplikationen bei der klassischen RSI wurde von Gencorelli et al an 1070 Kindern zwischen 2001 und 2006 durchgeführt. Bei 3,6% der Kinder zeigte sich eine Hypoxämie, wobei Kinder unter 20 Kilogramm häufiger eine schwere Hypoxämie ( $\text{SPO}_2 < 80\%$ ) demonstrierten. Als weitere Komplikationen zeigten sich Bradykardie (0,5% - Herzfrequenz  $< 60/\text{min}$ ), Hypotension (0,8% - Systole  $< 70\text{mmHg}$ ) und erschwerte Intubation (1,7%) (14). Fields et al empfehlen Strategien zu berücksichtigen, welche die Inzidenz von Hypoxämien während der Narkoseeinleitung reduzieren, wie z.B. Zwischenbeatmung bei der RSI (15).

In der Diskussion der „kontrollierten“ vs. „klassische“ RSI geht es um die Risikoabschätzung zwischen gastral-er Regurgitation mit pulmonaler Aspiration (meist Folge einer nicht ausreichenden Anästhesietiefe und Muskelrelaxation (16)) durch eine Zwischenbeatmung gegen das vorherrschende Risiko der Hypoxämie (17). Schreiber bestätigt: „Kleine Kinder sind durch eine Hypoxie viel stärker gefährdet als durch eine Aspiration“ (21). Aspiration von Mageninhalt stellt eine Komplikation dar, kann allerdings ausreichend mit hohem  $\text{FiO}_2$  und PEEP kompensiert werden, sodass seit 25 Jahren keine Todesfälle aufgrund von anästhesie-bedingter pulmonaler Aspiration von gastralen Flüssigkeiten bei Kindern beschrieben sind. Hauptursache der perioperativen Morbidität ist die Hypoxie (21).

Aufgrund dieser Erkenntnis und um gefährliche Situationen möglichst zu vermeiden, wird eine „kontrollierte“ RSI mit sanfter Maskenbeatmung, ohne Krikoiddruck und unter Verwendung eines nichtdepolarisierenden Muskelrelaxans für pädiatrische Patienten empfohlen (10, 20, 24). Dabei wird das Kind zwischen Narkoseinduktion und suffizienter Muskelrelaxation mit einer Maskenbeatmung bei einem maximalen inspiratorischen Druck von 12 mmHg (reguliert durch ein Druckventil oder den PCV Modus am Beatmungsgerät) ventiliert, sodass der untere Ösophagussphinkter geschlossen bleibt, der Magen nicht überbläht wird, die kleinen Atemwege offengehalten werden und eine ausreichende Oxygenierung erreicht wird (17).

Am Universitäts-Kinderspital in Zürich wurden erstmals Benefits und Komplikationen der „kontrollierten“ RSI in einer retrospektiven Kohortenanalyse an 1001 Kindern untersucht. Seit 2007 ist die cRSI dort standardisiert für alle Patienten. Eine Hypoxämie ereignete sich in 0,8%, erschwerte Intubation in 0,5% der Patienten. Keiner der Patienten entwickelte eine Hypotension oder Bradykardie. Es gab keine pulmonale Aspiration. Im Vergleich zu der Studie zur klassischen RSI von Gencorelli et al (Hypoxämie 3,6%, erschwerte Intubation 1,7%) zeigt die Untersuchung aus Zürich eine signifikante Reduktion von Komplikationen (14, 25). Sanfte Zwischenbeatmung beugt Hypoxämie und Hyperkapnie vor – die Zeit bis zur Intubation ist somit nicht

mehr zeitkritisch. Mit weniger Hektik und mit idealen respiratorischen, hämodynamischen und anästhesiologischen Intubationsbedingungen ist dem Anästhesisten ein unerlässlich optimales Arbeitsumfeld geschaffen, sogar für den Fall unerwarteter Intubationsschwierigkeiten. Unter diesen sorgfältig „kontrollierten“ Bedingungen mit sanfter Maskenbeatmung können diese Kinder sicher intubiert werden ohne Stress einer drohenden Hypoxie und daraus resultierender Hektik mit traumatischer Intubation (20).

Ein besonderes Patientengut sind Kinder mit postoperativer Blutung nach Tonsillektomie. Sie sind aus anästhesiologischer Sicht Hochrisikopatienten. Mit Anämie, Hypovolämie, vollem Magen, dem Risiko eines schwierigen Atemweges und erschwerten Venenzuganges ist zu rechnen. Eine erste Untersuchung der hämodynamischen und Atemwegskomplikationen während der Narkoseeinleitung mittels klassischer RSI bei Kindern mit postoperativer Tonsillennachblutung wurde von Fields zwischen 1998 und 2005 an 475 Patienten in einer retrospektiven Kohortenanalyse durchgeführt. Bei dieser spezifischen Patientengruppe ergab sich bei der Narkoseeinleitung eine Hypoxämie Inzidenz von 9,9% und eine erschwerte Intubation von 2,7%. Im Vergleich zu der Studie von Gencorelli et al zeigt sich somit bei Kindern mit postoperativer Tonsillennachblutung ein dreifach erhöhtes Risiko für eine Hypoxämie (3,6 vs. 9,9 %) (14,15).

## **2.3 Starre Ventilationsbronchoskopie**

Besondere Aufmerksamkeit wird der kindlichen Anatomie bei der starren Ventilationsbronchoskopie gewidmet. Im Vergleich zur flexiblen Bronchoskopie bietet es die Möglichkeit zur sicheren Ventilation und Oxygenation eines anästhesierten und relaxierten Kindes, als auch den Vorteil der Einführung von verschiedenen Instrumenten durch das verhältnismäßig weite Lumen, um interventionelle Eingriffe zu ermöglichen (9). Es ist das Mittel der Wahl zur Darstellung subglottischer Pathologien, Fremdkörperentfernung, Setzen von Stents oder für die Laserchirurgie (18,22). Starre Bronchoskope für Diagnostik und Intervention in der Pädiatrie existieren in unterschiedlichen Größen und Längen, entsprechend dem heranwachsenden Atemweg. Das Design pädiatrischer Ventilationsbronchoskope ist oft eine Verkleinerung von starren Erwachsenen-Bronchoskopen.

Schramm et al führten zwischen 2012 und 2014 eine europaweite Studie zur Verfügbarkeit und praktischen Anwendung von flexiblen und starren Bronchoskopen bei Kindern durch. Im Vergleich zu einer Studie von Barbato aus dem Jahre 1997 (19) zeigt sich eine deutlich zunehmende Anzahl durchgeführter Bronchoskopien, u.a. aufgrund steigender Inzidenz maligner Atemwegserkrankungen, und wird mehr und mehr als diagnostisches und interventionelles Verfahren etabliert (18). 1997 wurden von Barbato et al 7446 Bronchoskopien in 51 Zentren untersucht, bei Schramm et

al waren es 57145 Bronchoskopien an 198 Zentren. Aufgrund dieses enormen Zuwachses an Prozeduren und Unterschieden im Handling fordern Schramm et al weitere Studien und eine Standardisierung bronchoskopischer Untersuchungen (19,23).

Die häufigsten Komplikationen in der Studie von Schramm et al waren Hypoxämie (67,2%), Atemwegsprobleme (65,7%) und Atemwegsblutungen (42,4%) (23). Um die beschriebenen Komplikationen zu minimieren ist ein atraumatisches Passieren und Gewährleistung der Ventilation des kindlichen Atemweges unerlässlich. Dafür müssen die Dimensionen der verwendeten starren Bronchoskope mit der kindlichen Atemwegsanatomie übereinstimmen.

## **2.4 Ziele der Arbeit**

Aktuell sind Größenempfehlungen für die Verwendung von pädiatrischen starren Ventilationsbronchoskopen rar und nur marginal mit anatomischen Daten verknüpft. Ebenso ist die Datenlage zur cRSI bei Kindern mit postoperativer Blutung nach Tonsillektomien spärlich. Beide anästhesiologischen Verfahren sind nicht allein durch ihre Seltenheit, sondern auch aufgrund der akuten Situation des gefährdeten kindlichen Atemweges eine besondere Herausforderung für den Anästhesisten.

Wir haben uns diesen zwei spezifischen Fragestellungen aus dem Gebiet des Atemwegmanagements in der Kinderanästhesie gewidmet und Schlussfolgerungen für die Praxis gezogen.

### **2.4.1 Übergeordnete Studienziele**

Beide Studien untersuchen spezifische pädiatrische Besonderheiten des Atemwegmanagements auf deren Basis klinische Handlungsempfehlungen publiziert wurden.

### **2.4.2. Atemwegsmanagement bei Tonsillennachblutung**

Seit 2007 wird die cRSI in der Anästhesieabteilung des Universitäts - Kinderspitals Zürich als standardisierte Vorgehensweise durchgeführt (1), zunehmend auch bei Kindern mit Tonsillennachblutungen. In dieser Studie wird das Atemwegsmanagement von 116 pädiatrischen Patienten zwischen 2005 und 2017, die eine Allgemeinanästhesie mit endotrachealer Intubation bei Tonsillennachblutung erhalten haben, untersucht. Das Ziel der wissenschaftlichen Arbeit ist eine Risiko- Nutzenanalyse des Atemwegsmanagements für diese Patienten zu erstellen. Das Management der "klassischen" wird der "kontrollierten" RSI gegenübergestellt und untersucht ob sanfte Beatmung zwischen Narkoseinduktion und Intubation bei Kindern mit Tonsillennachblutung die Inzidenz von Hypoxämie und schwieriger Intubation reduziert, ohne die perioperative respiratorische Komplikationsrate zu erhöhen.

Mit Hilfe elektronischer Patientendatenbanken werden Prämedikationsberichte, Narkoseprotokolle, OP- und IPS- Berichte sowie Vitalzeichen-Daten im 1-Minuten Intervall ausgewertet. Die Art der RSI (klassisch oder kontrolliert) wird dabei erfasst.

Als primäre Ergebnisparameter definierten wir moderate ( $\text{SpO}_2$  89–80%) und schwere Hypoxämie ( $\text{SpO}_2 < 80\%$ ), Grad der direkt-laryngoskopisch erfassten Sichtbarkeit der Stimmbänder sowie Intubationsschwierigkeiten. Unmittelbare hämodynamische Veränderungen während der RSI und perioperative unerwünschte Ereignisse wie pulmonale Aspiration, Regurgitation von Mageninhalt und pulmonale Morbidität wurden ebenfalls berücksichtigt.

Bei der Narkoseeinleitung mittels kontrollierter RSI zeigten sich signifikant weniger schwere Hypoxämien, weniger Hypertensionen und eine bessere Sicht auf die Stimmbänder bei der direkten Laryngoskopie im Vergleich zur klassischen RSI. Sanfte Maskenbeatmung zwischen Narkoseinduktion und Laryngoskopie bei der cRSI führten nicht zu pulmonaler Morbidität. Die kontrollierte RSI hat somit Vorteile gegenüber der klassischen Variante und kann eine strategische Option bei Kindern mit postoperativer Tonsillennachblutung werden um Hypoxämie, Hypertensionen und schwierige Intubationen zu minimieren.

### **2.4.3 Starre Ventilationsbronchoskopie**

In der Literatur sind die Angaben zur Größenwahl der starren Ventilationsbronchoskope (VB) nicht einheitlich. Dies resultiert unter anderem aus der Tatsache, dass die Dimensionen der starren Bronchoskope sich von Hersteller zu Hersteller unterscheiden. Starre Bronchoskopie ist eine eher selten durchgeführte Maßnahme und somit besonders herausfordernd für den Operateur und den Anästhesisten. Umso wichtiger ist es ideales Atemwegsinstrumentarium in der richtigen Größe zur Verfügung zu haben.

Es wurden starre Bronchoskope der Firma Storz (Tuttlingen, Deutschland) in den pädiatrischen Größen 2.5, 3, 3.5, 3.7, 4, 4.5, 5, und 6 einbezogen. Mittels Literaturrecherche wurden sechs aktuell gültige Größenempfehlungen für den altersentsprechenden Einsatz von starren Ventilationsbronchoskopen bei Kindern gefunden und für die weitere Analyse verwendet.

Der Außendurchmesser der Bronchoskope entsprechend den Herstellerangaben wurde mit publizierten computertomografisch ermittelten Innendurchmessern des kindlichen Krikoids, der Trachea, des linken und rechten Hauptbronchus sowie der Länge der Trachea verglichen. Die Größenverhältnisse zwischen den jeweiligen ID und OD wurde berechnet und als Prozentwert für die oberen und unteren Altersgrenzen bestimmt. Die VB haben Seitenschlitze, um die Ventilation der Gegenseite während einseitiger (=endobronchialer) Intubation zu gewährleisten. Überprüft wurde,

ob diese unterhalb der Stimmritze zu liegen kommen, wenn die Bronchoskopspitze auf Ebene der Carina ist, um eine ausreichende Ventilation zu gewährleisten.

In drei der sechs Empfehlungen war der Außendurchmesser (OD) des Bronchoskopes größer als der Innendurchmesser (ID) des Krikoids in der oberen Altersgrenzenempfehlung. In einer Empfehlung war der OD des VB sogar größer als der Trachealdurchmesser. Passt das VB ideal durch das Krikoid hat es dennoch meist einen größeren Durchmesser als die Hauptbronchien, insbesondere der linke. Jede Insertion des VB auf dieser Ebene erfordert vorsichtigstes Einführen, um Verletzungen zu vermeiden. Die Abweichungen zwischen OD des VB und dem ID des rechten und linken Hauptbronchus reichten zwischen 70 und 146% für die obere und 78 bis 156% für die untere Altersgrenzen Empfehlung. Wenn die Spitze des VB sich auf Ebene der Karina befindet, kam das proximale Ende des obersten Seitenschlitzes nahezu in jeder Konstellation unterhalb der Stimmritze zu liegen. Nur in der Empfehlung von Bluestone traf dies für das 3.7er VB bei Kindern zwischen 6 Monaten und 1 Jahr nicht zu.

Ziel bei der Untersuchung ist es die Instrumentengröße so zu wählen, dass die Passage durch den kindlichen Kehlkopf atraumatisch gelingt, dieser aber auch ausreichend abgedichtet ist, um eine suffiziente Ventilation zu gewährleisten. Es wurde eine der kindlichen Anatomie angepasste Größenempfehlung für die verschiedenen Bronchoskopgrößen entwickelt, sodass das Verhältnis OD des VB und ID des Krikoids zwischen 80 und 100% liegt. Da die Hauptbronchien ein kleineres Lumen aufweisen als das Krikoid, muss das Einführen des Instrumentes auf dieser Ebene unter vorsichtiger visueller Kontrolle erfolgen.



### 3. Zusammenfassung:

Das Atemwegsmanagement ist das Basishandwerk des Anästhesisten sowohl der Erwachsenen- als auch der Kinderanästhesie. Das Management des kindlichen Atemweges in der Kinderanästhesie gehört unweigerlich zu den herausforderndsten Aufgaben des Anästhesisten. In der vorliegenden Arbeit erfolgte die intensive und vor allem klinisch relevante Untersuchung von zwei herausfordernden Prozeduren des pädiatrischen Atemwegmanagements.

In einer ersten Arbeit wird mittels einer retrospektiven Datenanalyse das Atemwegsmanagement, insbesondere die Einleitung und endotracheale Intubation von Kindern, die zwischen 2005 und 2017 im Universitäts-Kinderspital Zürich mit einer Tonsillennachblutung eine Allgemeinanästhesie mit Intubation erhalten haben, analysiert. Das Management der "klassischen" wird derjenigen der „kontrollierten“ RSI (cRSI) gegenübergestellt. Die cRSI bei nicht nüchternen Kindern wurde bereits 2013 untersucht und zeigt, dass sanfte Maskenbeatmung eine Hypoxie und damit verbundene kardiorespiratorische Komplikationen reduziert, ohne dass das Risiko für eine perioperative pulmonale Aspiration zunimmt (1). In dieser Studie waren Patienten mit Tonsillennachblutungen allerdings ausgenommen. Unsere Studie erweitert die Indikation für den erfolgversprechenden Ansatz der cRSI und zeigt, dass auch diese Patientengruppe – verglichen mit der klassischen RSI (Apnoe) - von der sanften Zwischenbeatmung profitiert. Es sind signifikant weniger Komplikationen in Form von schweren Hypoxien, Hypertensionen, sowie eine bessere direkt-laryngoskopische Sicht bei der Intubation auf die Stimmbänder, zu verzeichnen – Ereignisse, die ein Prädiktor für Morbidität und ggf. auch Mortalität sind. Die pulmonale oder andere Morbidität erhöhten sich nicht. Es besteht ein signifikanter klinischer Vorteil, wenn bei diesen aspirationsgefährdeten Hochrisikopatienten eine cRSI mit sanfter Zwischenbeatmung nach Induktion der Anästhesie bis zur direkten Laryngoskopie durchgeführt wird.

In einem weiteren Projekt wurden anhand von Literaturrecherche und in-vitro Vergleich ideale Größenempfehlungen für starre Ventilationsbronchoskope bei Kindern publiziert. Die Studie schließt eine Lücke in der Literatur indem starre VB mit der kindlichen Atemwegsanatomie in Bezug gesetzt werden. Die starre Bronchoskopie bietet die Möglichkeit der Diagnostik und Intervention pathologischer Veränderungen unterhalb der Stimmbandebene und gewährleistet gleichzeitig die Beatmung. Für die Durchführung einer atraumatischen Intervention mit suffizienter Ventilation ist die Größenwahl des starren Bronchoskops entsprechend der altersabhängigen anatomischen Dimensionen essenziell. Es wurden die gebräuchlichen starren VB der Firma Storz (Tuttlingen) mit den für den Einsatz bei pädiatrischen Patienten relevanten Dimensionen (ID, OD, Position der Ventilationsschlitze) verschiedener VB-Größen vermessen und mit den entsprechenden altersbezogenen Größenverhältnissen des

kindlichen Larynx, Trachea und Bronchien, zusammengestellt aus der Literaturrecherche, verglichen. In der Analyse zeigt sich, dass bei bereits publizierten Größenempfehlungen der OD der starren VB sogar für die obere Altersgrenzenempfehlung größer war als der ID des Krikoids. Bei der Passage der noch kleineren Hauptbronchien sind traumatische Schäden wahrscheinlich. Für ein atraumatisches Atemwegsmanagement in der Kinderanästhesie mittels starren VB ist es unerlässlich die richtige Größe des Instrumentes für das spezifische Patientenalter vorzuhalten. Es wurde eine modifizierte Größenempfehlung aufgrund anatomischer Daten für den Einsatz von starren Bronchoskopen bei Kindern entwickelt und publiziert.

Die beiden publizierten Studien geben nützliche Handlungsanweisungen für zwei definierte Prozeduren in der Kinderanästhesie, die Morbidität und Mortalität reduzieren können und somit die Patientensicherheit im pädiatrischen Atemwegsmanagement verbessern mögen.

## 4. Abstract (English):

Airway management is the core part of anesthesiology for both - adults and children. Subsequently, the field of pediatric anesthesia is a major challenge for anesthesiologists. The present study considers a thorough and clinically relevant investigation of two challenging procedures concerning pediatric airway management.

Using a retrospective data analysis, the airway management of pediatric patients undergoing general anesthesia with tracheal intubation for tonsillar bleeding at the University Children's Hospital Zurich between 2005 and 2017 was analyzed. The Management of "classical" RSI was compared with "controlled" RSI (cRSI). CRSI in patients with a full stomach was already examined in 2013 demonstrating that gentle face mask ventilation after induction of anesthesia until tracheal intubation reduces hypoxemia and associated cardiorespiratory adverse events without increasing the risk of pulmonary aspiration (1). However, in this study patients with hemorrhage after tonsillectomy were excluded. Since the cRSI appears to be a promising approach, our study broadens this perspective and clearly reveals that this group of patients - compared with classical RSI (apnea) - profits from gentle mask ventilation. There were significantly less complications such as severe hypoxemia and hypertension - events that are associated with morbidity and possibly mortality. Moreover, a better direct laryngoscopic view during intubation was recorded. There were no increased pulmonary adverse events compared with the classical RSI group. Significant clinical advantages exist - for these patients that are at high-risk for aspiration - when a cRSI with gentle mask ventilation is performed between induction of anesthesia and until tracheal intubation.

In a second study, ideal age-related recommendations for the selection of rigid ventilating bronchoscopes were published using literature search and an in-vitro relation. This research work closes a literature gap by profoundly comparing the dimensions of rigid bronchoscopes with the pediatric airway anatomy. Rigid bronchoscopy allows diagnostic as well as intervention of pathologies below the level of the vocal cords, simultaneously ensuring ventilation. In order to perform the intervention non-traumatically including sufficient ventilation it is crucial to choose the size of the rigid bronchoscope in relation to age-specific anatomical dimensions. Common VB with its relevant dimensions (ID, OD, position of the proximal ventilating side port) for the use in pediatric patients were measured and related to the age-related proportions of the pediatric larynx, trachea and bronchi as found in the relevant literature. The analysis of existing age recommendations demonstrated that the OD of the rigid VB even in the recommended upper age range was larger than the ID of the cricoid. Considering this fact, during passage through the even narrower main bronchi traumatic injuries are likely. In favor of atraumatic airway management in pediatric anesthesia during rigid VB it is inevitable to have the right instrument size for the

specific patient's age available. A modified size recommendation for the use of VB in children was developed and published.

Both published research studies present encouraging guidelines for two designated and challenging procedures in pediatric airway management that can help to reduce morbidity as well as mortality. This promises an improved outcome for patient safety in pediatric airway management.

## 5. Literaturverzeichnis

1. Neuhaus D, Schmitz A, Gerber A, Weiss M. Controlled rapid sequence induction and intubation—an analysis of 1001 children. *Pediatric Anesthesia*. 2013;23(8):734-40.
2. Ziegler B, Becke K, Weiss M. Risikominimierung in der Kinderanästhesie—was sollten wir wissen—was sollten wir tun. *Wiener Medizinische Wochenschrift*. 2019;169(3):56-60.
3. Morray JP. Cardiac arrest in anesthetized children: recent advances and challenges for the future. *Pediatric Anesthesia*. 2011;21(7):722-9.
4. Habre W, Disma N, Virag K, Becke K, Hansen TG, Jöhr M, et al. Incidence of severe critical events in paediatric anaesthesia (APRICOT): a prospective multi-centre observational study in 261 hospitals in Europe. *The Lancet Respiratory Medicine*. 2017;5(5):412-25.
5. Flick Randall P, Sprung J, Harrison Tracy E, Gleich Stephen J, Schroeder Darrell R, Hanson Andrew C, et al. Perioperative Cardiac Arrests in Children between 1988 and 2005 at a Tertiary Referral Center: A Study of 92,881 Patients. *Anesthesiology*. 2007;106(2):226-37.
6. Morray JP, Geiduschek JM, Caplan RA, Posner KL, Gild WM, Cheney FW. A Comparison of Pediatric and Adult Anesthesia Closed Malpractice Claims. *Anesthesiology*. 1993;78(3):461-7.
7. Weiss M, Walker RW, Eason HA, Engelhardt T. Cannot oxygenate, cannot intubate in small children: urgent need for better data! *European Journal of Anaesthesiology| EJA*. 2018;35(8):556-7.
8. Schmidt AR, Weiss M, Engelhardt T. The paediatric airway: basic principles and current developments. *European Journal of Anaesthesiology| EJA*. 2014;31(6):293-9.
9. Striebel HW. *Anästhesie bei Kindern: Sicherheit in der klinischen Praxis; mit 57 Tabellen*: Schattauer; 2012.
10. Eckenhoff JE. Some anatomic considerations of the infant larynx influencing endotracheal anesthesia. *The Journal of the American Society of Anesthesiologists*; 1951: The American Society of Anesthesiologists.
11. Hardman J, Wills J. The development of hypoxaemia during apnoea in children: a computational modelling investigation. *British Journal of Anaesthesia*. 2006;97(4):564-70.
12. Patel R, Lenczyk M, Hannallah RS, McGill WA. Age and the onset of desaturation in apnoeic children. *Canadian journal of anaesthesia*. 1994;41(9):771
13. Disma N, Virag K, Riva T, Kaufmann J, Engelhardt T, Habre W, et al. Difficult tracheal intubation in neonates and infants. *NEonate and Children audiT of Anesthesia pRactice IN Europe (NECTARINE): a prospective European multicentre observational study*. *British journal of anaesthesia*. 2021;126(6):1173-81.

14. Gencorelli FJ, Fields RG, Litman RS. Complications during rapid sequence induction of general anesthesia in children: a benchmark study. *Pediatric Anesthesia*. 2010;20(5):421-4.
15. Fields RG, Gencorelli FJ, Litman RS. Anesthetic management of the pediatric bleeding tonsil. *Pediatric Anesthesia*. 2010;20(11):982-6.
16. Warner MA, Warner ME, Warner DO, Warner LO, Warner JE. Perioperative pulmonary aspiration in infants and children. *The Journal of the American Society of Anesthesiologists*. 1999;90(1):66-71.
17. Eich C, Weiss M, Neuhaus D, Strauß J, Jöhr M, Becke K. Incidence of complications associated with rapid sequence induction (RSI) in children-it is a matter of age and technique. *Paediatric anaesthesia*. 2010;20(9):898-9; author reply 9.
18. Batra H, Yarmus L. Indications and complications of rigid bronchoscopy. *Expert review of respiratory medicine*. 2018;12(6):509-20.
19. Barbato A, Magarotto M, Crivellaro M, Novello A, Cracco A, De Blic J, et al. Use of the paediatric bronchoscope, flexible and rigid, in 51 European centres. *European Respiratory Journal*. 1997;10(8):1761-6.
20. Weiss M, Gerber AC. Rapid sequence induction in children—it's not a matter of time! *Pediatric Anesthesia*. 2008;18(2):97-9.
21. Schreiber M. Rapid-Sequence-Induction des nicht nüchternen Kindes-warum brauchen wir eine neue Handlungsempfehlung? *Anästhesiologie und Intensivmedizin*. 2007;48(P):86-7.
22. Nicolai T. Pediatric bronchoscopy. *Pediatric pulmonology*. 2001;31(2):150-64.
23. Schramm D, Yu Y, Wiemers A, Vossen C, Snijders D, Krivec U, et al. Pediatric flexible and rigid bronchoscopy in European centers—Availability and current practice. *Pediatric pulmonology*. 2017;52(11):1502-8.
24. Weiss M, Gerber A. Induction of anaesthesia and intubation in children with a full stomach. Time to rethink! *Der Anaesthesist*. 2007;56(12):1210-6.
25. Engelhardt T. Rapid sequence induction has no use in pediatric anesthesia. *Pediatric Anesthesia*. 2015;25(1):5-8.

## **Danksagung**

Ich möchte mich herzlichst bei meinem Doktorvater, Herrn Professor Thomas Nicolai, für die Überlassung der Arbeit sowie für die langjährige Förderung bedanken.

Insbesondere möchte ich mich für die hervorragende Betreuung und das entgegengebrachte Vertrauen bei Herrn Prof. Markus Weiss bedanken. Von ganzem Herzen bedanke ich mich für die inspirierende und wertvolle Zusammenarbeit.

Außergewöhnlicher Dank gilt meinem Bruder Michael Kemper für die bedingungslose Unterstützung bei der Erstellung der beiden wissenschaftlichen Arbeiten in den vergangenen Jahren.

Ein besonderer Dank gilt Heide Küpker für ihre wertvollen Gedanken und motivierenden Worte.

Zu guter Letzt möchte ich meiner Familie für die Unterstützung während meiner Doktorarbeit danken – meinen Eltern, Geschwistern und von tiefstem Herzen – Benet, Florian, Nelly, Isabelle, Leon und Jona!